Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 1 : CINEMATIQUE DU POINT

Durée : 10 heures

HABILETES	CONTENUS
Connaître	les expressions : - du vecteur-position - du vecteur- vitesse d'un point dans un repère donné - du vecteur- accélération d'un point dans un repère donné - de l'accélération normale - de l'accélération tangentielle
Déterminer	les équations horaires des mouvements : - rectiligne uniforme ; - circulaire uniforme ; - rectiligne uniformément varié.
Utiliser	• les équations horaires x(t), $v_x(t)$ et θ(t) des différents mouvements. • les relations : $\Delta v_x^2 = 2a\Delta x$; $v = R\omega$; $s = R\theta$; $a_N = \frac{v^2}{R}$
Exploiter	un enregistrement.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

MRU ; MRUV ; MCU ; Accélération tangentielle ; accélération normale ; base de Frenet ;

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. REPERAGE D’UN POINT MOBILE
   1.1. Référentiel
   1.2. Repère d’espace et de temps
   1.3. Trajectoire
   1.4. Vecteur position
   1.5. Abscisse curviligne
2. VECTEURS VITESSES
   2.1. Vecteur vitesse moyenne
   2.2. Vecteur vitesse instantanée
   2.3. Expression de $\vec{V}$ à partir des coordonnées cartésiennes
   2.4. Expression de $\vec{V}$ à partir de l’abscisse curviligne
   2.5. Représentation de $\vec{V}$ sur un enregistrement
3. VECTEUR ACCELERATION
   3.1. Vecteur accélération moyenne entre
   3.2. Vecteur accélération instantané
   3.3. Expression de $\vec{a}$ en coordonnées cartésiennes
   3.4. Expression de $\vec{a}$ dans la base curviligne de Frenet :
4. ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS PARTICULIERS
   4.1. Mouvement rectiligne
   4.2. Mouvement rectiligne uniforme
      4.2.1. Définition
      4.2.2. Équations horaires du mouvement
   4.3. Mouvement rectiligne uniformément varié
   4.4. Mouvement circulaire uniforme

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**CINEMATIQUE DU POINT**
				Situation d'apprentissage A un cours d'EPS en athlétisme de la classe de Tle D au lycée moderne Bonon, un élève part sans vitesse initiale et court sur la piste constituée d'une partie rectiligne et d'une partie circulaire. Au début de la course, il maintient sa vitesse constante sur une partie de la piste rectiligne, puis il accélère. Se sentant épuisé, il aborde l'arc de cercle avec une vitesse constante. Le lendemain en classe, les élèves veulent étudier le mouvement de leur camarade. Ensemble, ils entreprennent de déterminer à partir d'enregistrements, les équations horaires des différents mouvements et les utiliser. 1. REPERAGE D'UN POINT MOBILE 1.1. Référentiel Un objet peut être en mouvement par rapport à un observateur et immobile par rapport à un autre. Pour définir le mouvement d'un objet, il est donc nécessaire de préciser **le référentiel d'étude.** *Définition* : Un référentiel est **le solide ou tout point du solide** par rapport auquel on décrit le mouvement d'un mobile. Ce solide est muni d'un **repère d'espace** et **d'un moyen pour mesurer le temps.** *Exemples :* • Le référentiel terrestre lié à la Terre ou au sol, • Le référentiel géocentrique lié au centre de la Terre, • Le référentiel héliocentrique lié et centre du soleil

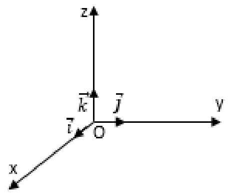
Remarque : Tout solide fixe par rapport à la Terre est un référentiel terrestre.

1.2. Repère d’espace et de temps

C’est un système d'axes muni d'une base constituée de 1, 2 ou 3 vecteurs unitaires et d'un point origine lié au référentiel.

Exemples :

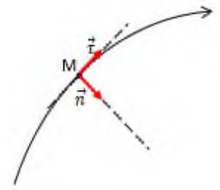
Le repère cartésien $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$



Le repère de Frenet :$(M, \vec{\tau}, \vec{n})$

$\vec{\tau}$, Tangent à la trajectoire et de même sens que le mouvement

$\vec{n}$, Normal à la trajectoire et orienté vers le centre de courbure



1.3. Repère d’espace et de temps

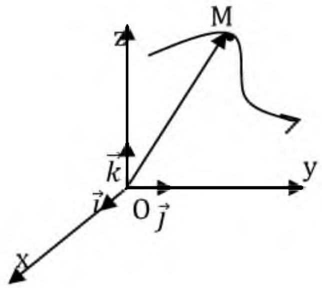
Pour définir la position d'un objet dans le temps, il est nécessaire de définir un **repère de temps**. Ce repère est constitué d'un **instant** ou d'une **date origine** t_0 (début de l'expérience par exemple) et d'une **unité de durée**. Dans le système international (S.I.), l'unité de temps est la **seconde** (s).

1.4. Trajectoire

C’est l’ensemble des positions successivement occupées par un point mobile au cours de son mouvement.

Elle peut être rectiligne (droite), circulaire (cercle) ou curviligne (quelconque)

2. Vecteur position



Dans un repère cartésien (O, $\vec{\imath}$, $\vec{\jmath}$, $\vec{k}$) la position d'un point mobile M est définie par son vecteur position :

$$\overrightarrow{\boldsymbol{OM}} = \boldsymbol{x\vec{\imath} + y\vec{\jmath} + z\vec{k}}$$

- Si le mobile M est immobile dans ce repère, ses coordonnées sont indépendantes du temps.
- Si M est en mouvement dans ce repère, ses coordonnées sont en fonction du temps. Ainsi x(t), y(t) et z(t) sont appelées **équations horaires** du mouvement.

L'équation cartésienne de la trajectoire est une relation entre x, y et z de la forme : $y = f(x)$; $z = f(x)$; $z = f(y)$ obtenue en éliminant la variable temps (t).

NB : Si l'une des composantes de $\overrightarrow{OM}$ est nulle alors le mouvement est plan et se déroule dans le plan formé par les deux autres.

La norme de $\overrightarrow{OM}$ est $\left\|\overrightarrow{OM}\right\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ en mètre (m).

Activité d'application 1

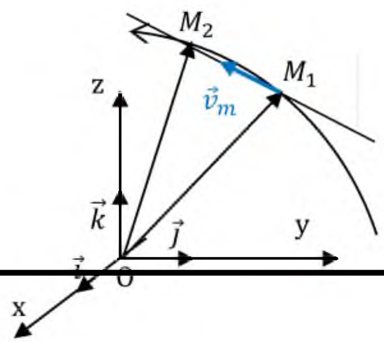
Les équations horaires du mouvement d'un mobile dans un repère orthonormé $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$ sont :

$$\begin{cases} x(t) = 3t \ , t \geq 0 \\ y(t) = 0 \\ z(t) = -5t^2 + 4t + 2 \end{cases}$$

1.
2. Donne l'expression générale du vecteur position
3. Détermine les caractéristiques du vecteur position à la date $t_0 = 0$s
4. Détermine l'équation cartésienne z = f(x) de la trajectoire. Quelle est la nature de la courbe ?

1. VECTEURS VITESSES

1.3. Vecteur vitesse moyenne



Il est défini par :

$$\overrightarrow{v_m} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1} = \frac{\overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\overrightarrow{OM}}{\Delta t}$$

1.4. Vecteur vitesse instantanée $\vec{v}$

1.4.1. Définition

Le vecteur vitesse instantanée est égale à la dérivée du vecteur position par rapport au temps :

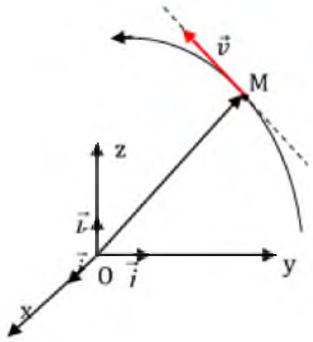
$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

1.4.2. Caractéristiques

Le vecteur vitesse instantanée a les caractéristiques suivantes :

- direction : la tangente à la trajectoire au point occupé par M à la date t
- sens : celui du mouvement à cet instant
- intensité : la valeur positive $||v(t)|| = v(t)$

Dans le système international, elle s'exprime en mètre par seconde ($m.s^{-1}$).



1.4.3. Expression de $\vec{v}$ dans le repère cartésien

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \left(\frac{dx}{dt}\right)\vec{i} + \left(\frac{dy}{dt}\right)\vec{j} + \left(\frac{dz}{dt}\right)\vec{k}$$

En posant $\frac{dx}{dt} = \dot{x}$; $\frac{dy}{dt} = \dot{y}$; $\frac{dz}{dt} = \dot{z}$

L'expression de $\vec{v}$ s'écrit :

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

Posons : $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$ on déduit alors les composantes de $\vec{v}$

$$\vec{v}\left|\begin{array}{l} v_x = \dfrac{dx}{dt} = \dot{x} \\ v_y = \dfrac{dy}{dt} = \dot{y} \\ v_z = \dfrac{dz}{dt} = \dot{z} \end{array}\right.$$

La valeur de $\vec{v}$ est :

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

NB : la direction de $\vec{v}$ peut être définie par rapport aux vecteurs $\vec{i}$; $\vec{j}$ et $\vec{k}$

Par exemple dans le plan xOy : $\tan(\vec{v},\vec{i}) = \dfrac{v_y}{v_x}$

<u>Activité d'application 2</u>

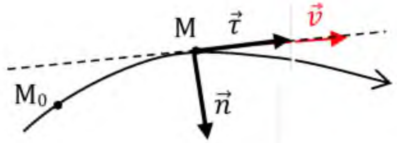
Considérons le mobile de l'activité 1 précédente :

Détermine :

1. Les composantes du vecteur vitesse du point M à la date t.
2. L'expression du vecteur vitesse.
3. Les caractéristiques du vecteur vitesse à la date $t_1 = 0,8s$.
4. Les caractéristiques du vecteur vitesse lorsque le mobile est au sommet S de sa trajectoire.

1.5. <u>Expression de $\vec{v}$ à partir de l'abscisse curviligne</u>

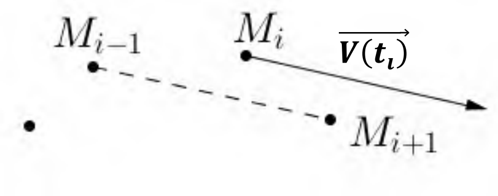
La trajectoire est orientée dans le sens du mouvement. On a : $\vec{v} = v\vec{\tau}$



1.6. Représentation de $\vec{v}$ sur un enregistrement

Sur un enregistrement, les différentes positions du point mobile sont indiquées à intervalle de temps réguliers égaux à **τ.** On obtient alors :

$$\vec{V}(t_i) = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2\tau}$$



<u>Activité d'application</u> 3

Un occupe différentes positions M_i à des dates t_i. La durée entre deux positions successives vaut τ = 200 ms. La figure est donnée à l'échelle 1/10.

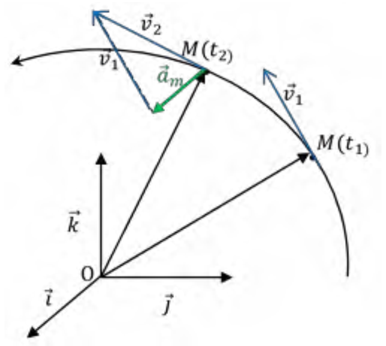
1. Calcule les vitesses instantanées du mobile aux dates t_2 et t_5
2. Représente ces vecteurs vitesses aux dates considérées. Echelles : 1 cm ↔ 0,5m/s

2. VECTEUR ACCELERATION

2.3. Vecteur accélération moyenne

Soient $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ les vecteurs vitesses d'un point mobile respectivement aux dates t_1 et t_2 ; le vecteur accélération moyenne entre t_1 et t_2 est donnée par :

$$\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$



2.4. Vecteur accélération instantané

2.4.1. Définition

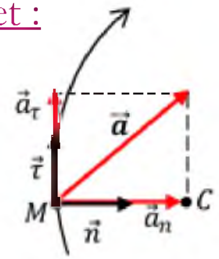
Le vecteur accélération instantanée est égale à la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps ou la dérivée seconde par rapport au temps du vecteur position.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}$$

				2.4.2. Expression de $\vec{a}$ dans le repère cartésien L'expression de $\vec{a}$: $$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$$ Posons : $\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$ on déduit alors les composantes de $\vec{a}$ $$\vec{a}\left\lvert\begin{array}{l} a_x = \dfrac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \\ a_y = \dfrac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} \\ a_z = \dfrac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z} \end{array}\right.$$ La valeur de $\vec{a}$ est : $a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}$ (m/s²) **Remarque :** Les variations du mouvement dépendent du signe de $\vec{a}.\vec{v} = a_x v_x + a_y v_y + a_z v_z$ • Si $\vec{a}.\vec{v} > 0$, le mouvement est accéléré. • Si $\vec{a}.\vec{v} < 0$, le mouvement est retardé. • Si $\vec{a}.\vec{v} = 0$, le mouvement est uniforme **Activité d'application 4** Considérons le mobile de l'activité 1 précédente : 1. Détermine les coordonnées du vecteur accélération. Conclus. 2. Déduis-en ses caractéristiques 3. Entre quels instants le mouvement du mobile est – il accéléré ? décéléré ?

2.5. Expression de $\vec{a}$ dans la base de Frénet :

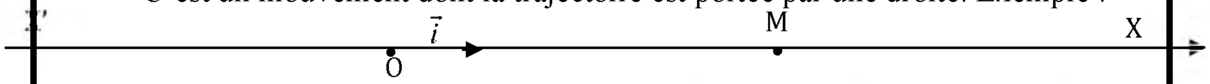
$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\vec{n} \qquad \begin{cases} a_\tau = \dfrac{dv}{dt} & \text{Accélération tangentielle} \\ a_n = \dfrac{v^2}{R} & \text{Accélération normale} \end{cases}$$



3. ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS PARTICULIERS

3.1. Mouvement rectiligne

C'est un mouvement dont la trajectoire est portée par une droite. Exemple :



Dans le repère$(0, \vec{i}\,)$ on a : $\overrightarrow{OM} = x.\vec{i}$, $\vec{v} = \dot{x}\vec{i} = v_x\vec{i}$ et $\vec{a} = \ddot{x}\vec{i} = a_x\vec{i}$.

Les vecteurs $\overrightarrow{OM}$, $\vec{v}$ et $\vec{a}$ sont colinéaires.

Remarque : Toutes les grandeurs qui apparaissent dans les équations horaires sont algébriques.

3.2. Mouvement rectiligne uniforme

3.2.1. Définition

Un point mobile est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme si :

- sa trajectoire est une droite,
- la valeur de son vecteur vitesse est constante ; $v = v_0 = cste$

3.2.2. Équations horaires du mouvement

Conditions initiales : à t = 0s on a : $x = x_0$ et $v = v_0$

Par définition : $v_x = cste = v_0$ or $v_x = \frac{dx}{dt}$; la fonction x dont la dérivée donne v_0 est : $x = v_0 t + x_0$ où x_0 est l'abscisse de M à la date $t = 0$

				En résumé, dans un mouvement rectiligne uniforme d'axe X'X, on a : $\begin{cases} \boldsymbol{x = v_0 t + x_0} \\ \boldsymbol{v_x = v_0} \\ \boldsymbol{a_x = 0} \end{cases}$ ***NB :*** On a : $v_0 = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{d}{\Delta t}$ **<u>Activité d'application 5</u>** Un mobile A se déplace à vitesse constante sur une droite orientée $(O, \vec{\imath})$; à la date t_1 = 0,5 s, il passe par le point M_1 d'abscisse x_1 = 15m, ensuite par M_2 (x_2 = 5m) à la date t_2 = 2,5s. 1. Détermine son vecteur vitesse $\overrightarrow{v_A}$ 2. Trouve la position M_0 du mobile A à la date t = 0s 3. Ecris l'équation horaire $x_A(t)$ du mobile A. 3.3. <u>Mouvement rectiligne uniformément varié</u> 3.3.1. <u>Définition</u> Un point mobile est animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié si : - sa trajectoire est une droite, - son vecteur accélération est constante, $\boldsymbol{\vec{a} = \vec{a}_0 = \overrightarrow{cte}}$ 3.3.2. <u>Équations horaires du mouvement</u> On sait que $a_x = \frac{dv_x}{dt} = a_0$. La fonction v_x dont la dérivée a donné a_0 est : $\boldsymbol{v_x = a_0 t + v_0}$ La fonction x dont la dérivée a donné v_x est : $\boldsymbol{x = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0}$ En résumé, dans un mouvement rectiligne uniformément varié d'axe X'X,

on a : $\begin{cases} x = \frac{1}{2}a_0t^2 + v_0t + x_0 \\ v_x = a_0t + v_0 \\ a_x = a_0 \end{cases}$ x , v_x , v_0 et a_x des grandeurs algébriques

Remarque :

- En éliminant t entre x et v_x on obtient la relation : $\boldsymbol{v_x^2 - v_0^2 = 2a_0(x - x_0)}$
- On a : $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta v^2}{2\Delta x} = \frac{\Delta v^2}{2d}$
- Dans le cas d'un MRUV : $\vec{a}.\vec{v} = a_x v_x$

Activité d'application 6

Un mobile B est lancé à la date t=0s sur un axe $(O,\vec{\imath})$avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_{0x}} = 5\vec{\imath}$, à partir d'un point d'abscisse $x_0 = -2\ m$. L'accélération du mouvement est $\vec{a} = -4\vec{\imath}$

1. Etablis les équations horaires $a_x(t), v_x(t)$ et $x(t)$ du mouvement.
2. Détermine la date et la position pour lesquelles la vitesse s'annule.
3. Entre quelles dates le mouvement est – il accéléré ou décéléré.
4. Détermine la (ou les) date(s) pour lesquelles le mobile passe par l'origine du repère. Déduis-en les vitesses correspondantes.

3.4. Mouvement circulaire uniforme

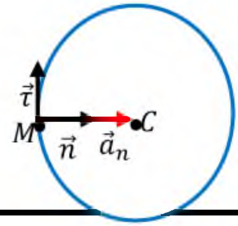
3.4.1. Définition

Un point mobile est animé d'un mouvement circulaire uniforme si :

- la trajectoire est un cercle,
- la valeur de sa vitesse est constante.

3.4.2. Expression de l'accélération dans la base de Frenet

$\vec{a} = a_\tau\vec{\tau} + a_n\vec{n}$ avec $\begin{cases} a_\tau = \frac{dv}{dt} = 0 \\ a_n = \frac{v^2}{R} \end{cases} \leftrightarrow \vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{n}$



$\vec{a}$ est constamment dirigée vers le centre du cercle. On dit qu'elle est centripète.

Situation d'évaluation 1

Ton voisin de classe découvre dans un livre l'expression ci-dessous du vecteur position d'un mobile M dans le repère orthonormé $R(O;\vec{i};\vec{j})$:

$$\overrightarrow{OM} = t(3\vec{i} + 4\vec{j}) - 3\vec{j} \quad \text{avec } t \geq 0$$

Il sollicite alors ton aide pour l'étude du mouvement de ce mobile.

1. Détermine :
   1.1. Les composantes de ce vecteur position à chaque instant.
   1.2. Les coordonnées de la position initiale M_0 du mobile.
2. Montre que la trajectoire du point mobile M est rectiligne.
3.
   3.1. Détermine les composantes du vecteur vitesse $\vec{V}$ du point mobile à chaque instant.
   3.2. Déduis-en la nature du mouvement et les caractéristiques du vecteur vitesse.
4. Soit $R'(M_0;\vec{u})$ un repère cartésien lié à la trajectoire du mobile
   4.1. Écris l'équation horaire de son mouvement dans le repère R'.
   4.2. Déduis alors la nature du mouvement du mobile dans R' puis conclus.
   4.3. Détermine la distance d parcourue après 10 s et les coordonnées du point M_1 atteint après ces 10 s.

Situation d'évaluation 2

De retour des congés de Noel et nouvel an, tu emprunte un véhicule **A** qui se déplace sur une voie rectiligne $OE = d = 850$m, munie d'un repère (O ; $\vec{i}$) ; $\vec{i}$ dans le sens de O à E. On choisit pour origine des dates t =0s l'instant de départ en O.

- Parti de O sans vitesse, le véhicule parcourt une longueur $\ell = OC$ = 100m d'un mouvement uniformément accéléré pendant une durée Δt_1 et sa vitesse atteint V_1 = 15 m/s en C (1ère phase)
- Le véhicule **A** maintient sa vitesse constante à 15 m/s sur une distance CD = 700 m (2ème phase).
- À partir de D, le véhicule **A** adopte un mouvement uniformément décéléré et s'arrête au point E (3ème phase)
- Un autre véhicule **B** se déplaçant à vitesse constante $\overrightarrow{V_B}$ de valeur V_B = 25 m/s sur la même voie que le véhicule **A**, dans le sens opposé (de E à O), passe par E à la date t = 10s.
- Les véhicules se rencontrent entre C et D.

De retour en classe, tu décides d'étudier les mouvements des deux véhicules assimilés à des points mobiles.

Etude du véhicule A

1. 1ère phase OC :
   - 1.1. Calcule l'accélération a_1 du véhicule **A** au cours du trajet OC.
   - 1.2. Calcule la durée Δt_1.
   - 1.3. Détermine l'équation horaire cartésienne $x_{1A}(t)$ au cours de cette phase.
2. 2ème phase CD :
   - 2.1. Calcule la durée Δt_2 de cette deuxième étape.
   - 2.2. Montre que l'équation horaire du véhicule pour cette phase est : $x_{2A}(t) = 15t - 100\ (m)$.
   - 2.3. Calcule la distance DE
3. 3ème phase DE :
   - 3.1. Calcule la décélération $\overline{a_3}$ du véhicule et la durée Δt_3 de cette phase.
   - 3.2. Détermine l'équation horaire $x_{3A}(t)$ du mobile

Etude du véhicule B

4. Détermine l'équation horaire $x_B(t)$ du véhicule **B**.

Etude de la rencontre entre A et B

5. Détermine l'instant T_r et le point X_r de la rencontre entre les véhicules A et B.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 2 : MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SYSTEME MATERIEL

Durée : 6 heures

HABILETES	CONTENUS
Définir	un référentiel galiléen.
Connaître	quelques référentiels galiléens (référentiel terrestre, référentiel géocentrique, référentiel héliocentrique).
Enoncer	le théorème du centre d'inertie.
Appliquer	- le théorème du centre d'inertie. - le théorème de l'énergie cinétique.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

Principe d'inertie, Théorème du centre d'inertie, Théorème de l'énergie cinétique,

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. PRINCIPE DE L'INERTIE
   1.1. Solide isolé ou pseudo – isolé
   1.2. Enoncé du principe de l'inertie
   1.3. Définition d'un référentiel galiléen
2. THEOREME DU CENTRE D'INERTIE
   1.1. Etude expérimentale
      1.1.1. Dispositif expérimental
      1.1.2. Exploitation de l'enregistrement
      1.1.3. Conclusion
   1.2. Enoncé du théorème
3. THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE
4. METHODE DE RESOLUTION D'UN PROBLEME DE MECANIQUE

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SYSTEME**

Situation d'apprentissage

Dans le car de ramassage, des élèves de la Terminale C du Lycée garçons de Bingerville observent le mouvement d'une petite poupée suspendue au rétroviseur interne, par l'intermédiaire d'un fil inextensible. Ils constatent alors que :

- le rétroviseur reste fixe lorsque le véhicule est immobile ;
- la poupée s'incline vers l'arrière quand le car accélère ;
- la poupée s'incline vers l'avant quand le car ralentit.

Pour comprendre ces observations, avec leurs camarades de classe, ils décident de définir un référentiel galiléen et d'établir un lien entre l'accélération et les forces extérieures appliquées au système.

1. PRINCIPE DE L'INERTIE

1.1. Solide isolé ou pseudo – isolé

- Un solide est mécaniquement isolé s'il n'est soumis à aucune force extérieure.
- Un solide est mécaniquement pseudo – isolé s'il est soumis à des forces extérieures qui se compensent à chaque instant c'est-à-dire $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

1.2. Enoncé du principe de l'inertie

Relativement à un référentiel galiléen, le centre d'inertie d'un solide isolé ou pseudo-isolé est soit au repos soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

1.3. Définition d’un référentiel galiléen

Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe de l’inertie est vérifié.

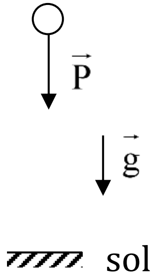
Tout référentiel animé d’un mouvement rectiligne uniforme par rapport à référentiel galiléen est lui aussi galiléen.

Exemples

- Le référentiel de Copernic (ou héliocentrique) est le référentiel galiléen par excellence.
- le référentiel géocentrique aussi galiléen.
- le référentiel terrestre peut être assimilable à un référentiel galiléen pendant une durée assez brève.

2. THEOREME DU CENTRE D’INERTIE

2.1. Chute libre d’un solide



Un solide (S) est abandonné sans vitesse initiale, vers le sol dans le repère terrestre.

Le solide (S) décrit alors un mouvement rectiligne uniformément accéléré dont l’équation horaire de la vitesse s’écrit : $\vec{V} = \vec{g}.t$.

Le vecteur quantité de mouvement de (s) est : $\vec{p} = m.\vec{V} \Rightarrow \vec{p} = m.\vec{g}.t$.

On a : $\dfrac{d\vec{p}}{dt} = \dfrac{d}{dt}(m.\vec{g}.t) = m.\vec{g}$ d’où : $\boxed{\dfrac{d\vec{p}}{dt} = \vec{P}}$

Soit un solide (S) dont le centre d’inertie se déplace avec une vitesse $\overrightarrow{V_G}$. Le **vecteur quantité de mouvement** de (S) s’écrit : $\vec{p} = m.\overrightarrow{V_G}$

On a : $\dfrac{d\vec{p}}{dt} = \dfrac{d}{dt}(m.\overrightarrow{V_G}) = m\dfrac{d}{dt}(\overrightarrow{V_G}) = m.\overrightarrow{a_G}$

				or $\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext}$ d'où : $\boxed{\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G}$ ### 2.2. Enoncé du théorème Dans un référentiel galiléen, la **somme vectorielle des forces extérieures** appliquées à un solide est égale au produit de la **masse** du solide par le **vecteur accélération** de son centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$. **Remarques** Solide pseudo – isolé $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \leftrightarrow \vec{a} = \vec{0} \leftrightarrow \vec{v}$ est constant $\rightarrow \begin{cases} \text{Si } \vec{v} \neq \vec{0} \text{ alors G est animé d'un mouvement rectiligne uniforme} \\ Si\ \vec{v} = \vec{0} \text{ alors G est au repos} \end{cases}$ ## 3. THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE Dans un référentiel galiléen, l'énergie cinétique d'un solide de masse m en mouvement de translation de vitesse $\vec{v}$, est : $E_C = \frac{1}{2}m.v^2$ La résultante des force qu'il subit est : $\vec{F} = \sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}$. La puissance instantanée de $\vec{F}$ est : $p = \vec{F}.\vec{v} = m.\vec{a}.\vec{v} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{dt}}\left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}m.v^2\right) = \frac{dE_C}{dt}$ (2) (2)$\leftrightarrow \frac{dE_C}{dt} = \frac{dw}{dt}. \leftrightarrow w = E_C + cste$ Lorsque le solide se déplace d'un point A à un point B pendant la durée Δt , $\Delta E_C = E_B - E_A = w_{AB}(\vec{F})$ ➢ **Enoncé du théorème** Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces extérieures qui s'exercent sur ce solide pendant la même durée ; $\boldsymbol{\Delta E_C = E_B - E_A = \sum w_{AB}(\vec{F})}$ (3)

				(see below)

4. METHODE DE RESOLUTION D'UN PROBLEME DE MECANIQUE

Avant tout il faut :

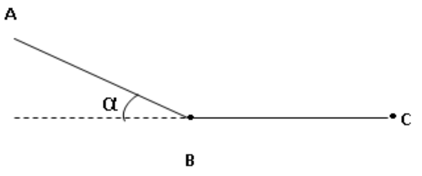
- préciser clairement le système à étudier,
- choisir un référentiel galiléen,
- choisir un repère :
  - **cartésien** pour un mouvement rectiligne
  - de **Frenet** pour un mouvement circulaire
- Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système et les représenter sur un schéma soigné.

Ensuite

Appliquer, en fonction des questions posées :

- Soit le théorème du centre d'inertie $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}$ **;** dans ce cas projeter la relation $\sum \vec{F}_{ext} = \mathrm{m}\vec{a}$ dans le repère choisi.
- Soit le théorème de l'énergie cinétique. Dans ce cas choisir deux points entre lesquels l'on désir appliquer le théorème.

Activité d'application 2



Un tremplin comporte :

- Une partie AB formant un angle α = 20° avec l'horizontale ;
- Une partie horizontale BC.

Un solide ponctuel de masse m est lâché sans vitesse initiale en A. Il glisse le long de ce tremplin.

Les forces de frottements sont équivalentes à une force f constamment parallèle au déplacement et de valeur constante sur tout le trajet ABC.

1 – Faire le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le solide. Les représenter sur chaque portion du tremplin.

2 – En appliquant le théorème du centre d'inertie, déterminer :

2 .1 – L'accélération a_1 du solide entre A et B

2 .2 - L'accélération a_2 du solide entre B et C.

3 – En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer :

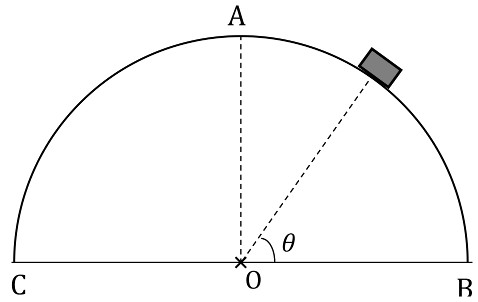
3 .1 – Sa vitesse V_B en B ;

3 .2 - Sa vitesse V_C en C ;

Données : m = 100 g ; f = 0,1 N ; α = 20°; g = 10 m/s²; AB = BC = l =50 cm

Activité d'application 3

Un petit esquimau laisse au sommet A de son igloo supposé circulaire de rayon r = 2 m un morceau de glace M supposé ponctuel et ayant une masse m = 100 g. La vitesse initiale du glaçon est nulle et la banquise BC sur laquelle est construit l'igloo est horizontale. On néglige tous les frottements.

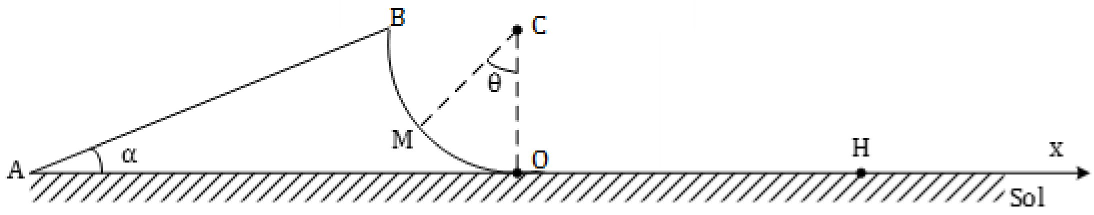


1. Pour une position M du glaçon d'angle (BOM) = Θ,
   1.1. Exprime la vitesse v du glaçon
   1.2. Exprime la réaction R de l'igloo sur le glaçon
2. En quel point D le glaçon va t – il quitter l'igloo pour réaliser une chute libre dans l'air ? On calculera l'angle (BOD) = Θ_0.

SITUATION D'EVALUATION

Un jeu d'enfant est constitué d'une piste ABOH et d'une voiturette de petite dimension, assimilable à un point matériel de masse m. La piste comporte :

- un tronçon rectiligne AB qui fait avec l'horizontale passant par A, un angle α ;
- un tronçon circulaire BO de centre C ;
- une partie rectiligne horizontale OH sur laquelle existent des frottements.



Données : m = 200 g ; α = 30°, g = 10 m.s⁻², BC = CO = r = 4 m

Le jeu consiste à lancer la voiturette à partir du point A de sorte qu'elle puisse arriver en H tout en restant en contact avec le sol. Pour réussir, la voiturette doit arriver en B avec une vitesse nulle. Entre B et O, sa position M est repérée à chaque instant par son abscisse angulaire θ = $(\widehat{CM, CO})$ (voir figure ci-dessus).

Sur la portion OH, les frottements sont équivalents à une force $\vec{f}$, parallèle à $(O; x)$ et de valeur constante f = 0,4 N.

Ayant assisté à une partie de jeu, tu décides d'exploiter cette situation afin de vérifier tes acquis.

1. Détermine :
   - 1.1. l'accélération a_1 du mouvement entre A et B et en déduire la nature se son mouvement.
   - 1.2. la vitesse minimale avec laquelle il faut lancer la voiturette en A pour qu'il arrive en B avec une vitesse nulle.
2. Etablis :
   - 2.1. l'expression de la vitesse linéaire de la voiturette en M en fonction de g, θ et r.
   - 2.2. l'expression de la valeur de la réaction de la piste sur le solide en fonction de m, g et θ.
3. Calcule la vitesse linéaire du solide au point O.
4. Détermine :
   - 4.1. l'accélération a_2 de la voiturette entre O et H
   - 4.2. la distance L = OH parcourue quand il s'arrête en H.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 2 : MOUVEMENTS DANS UN CHAMP UNIFORME

Durée : 7 heures

HABILETES	CONTENUS
Définir	un champ uniforme.
Représenter	• le vecteur champ électrostatique uniforme. • le vecteur champ de pesanteur.
Déterminer	le vecteur- accélération : - dans le champ de pesanteur uniforme ; - dans le champ électrostatique uniforme.
Déterminer	• les équations horaires du mouvement ; • l'équation cartésienne de la trajectoire ; • les expressions de la : - flèche ; - portée ; - déviation angulaire ; - déflexion électrostatique.
Utiliser	• les équations horaires des mouvements. • l'équation cartésienne de la trajectoire.
Connaître	l'intérêt du champ électrostatique.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

Mouvement parabolique ; flèche ; portée ; déviation angulaire ; déflexion électrostatique

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. Champs uniformes

2. Mouvement d’un projectile dans le champ de pesanteur uniforme

   2.1. Vecteur accélération

   2.2. Vecteur vitesse et position

   2.3. Equations horaires du mouvement

      2.3.1. Les coordonnées de a, v_0 et OG_0

      2.3.2. Equations horaires du mouvement

   2.4. Equation de la trajectoire

   2.5. Les caractéristiques de la trajectoire

      2.5.1. La portée horizontale

         • Définition

         • Expression de la portée

      2.5.2. La flèche

         • Définition et expression

         • Expression de la flèche (y_S)

   2.6. Problème de tir

3. Mouvement d’une particule chargée dans un champ électrique uniforme.

   3.1. Etude dynamique

   3.2. Equations horaire du mouvement

   3.3. Caractéristiques du faisceau

      3.3.1. Les coordonnées du point de sortie S et du vecteur vitesse v_S

      3.3.2. Déviation angulaire

      3.3.3. Déflexion électrostatique

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	**Trace écrite**
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**MOUVEMENTS DANS UN CHAMP UNIFORME**
				<u>Situation d'apprentissage</u> Au cours des journées « portes ouvertes » organisées au lycée moderne de Bongouanou, chaque conseil d'enseignement s'organise pour faire découvrir sa discipline. Au cours du match de basketball organisé en EPS, un élève de la classe de Tle C_2 placé au milieu du terrain reçoit la balle, la lance et marque un joli panier. En Physique-Chimie, un documentaire est présenté expliquant le principe de fonctionnement d'une télévision à partir du spot lumineux d'un oscilloscope qui peut être dévié verticalement ou horizontalement. De retour en classe, les élèves veulent étudier les mouvements de la balle de basketball et du faisceau d'électron à l'intérieur des plaques horizontales de l'oscilloscope. Ils entreprennent alors de déterminer les équations cartésiennes des trajectoires de la balle et du faisceau d'électron puis les différentes grandeurs caractéristiques des trajectoires. **1. <u>Champs uniformes</u>** Un champ uniforme est un espace dans lequel le vecteur champ est constant. Exemple : • **Le champ de pesanteur ($\vec{g}$)** : Au voisinage de la terre (quelques km d'altitude), le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme. Ses caractéristiques sont : $\vec{g}$ | **Direction** : verticale **Sens** : du haut vers le bas **Valeur** : g ($N.kg^{-1}$) ou ($m.s^{-1}$) 

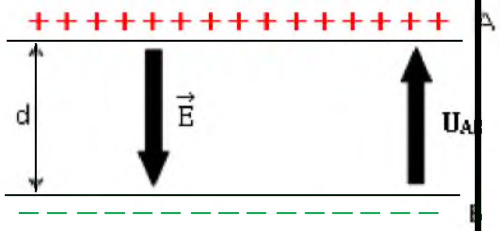
- **Le champ électrostatique ($\vec{E}$)** : Le champ électrostatique crée entre les armatures d'un condensateur plan est uniforme :

$\vec{E}$

Direction : Perpendiculaire aux armatures

Sens : Sens des potentiels décroissants

Valeur : $E = \frac{U}{d}$ (V.m⁻¹)



2. Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme

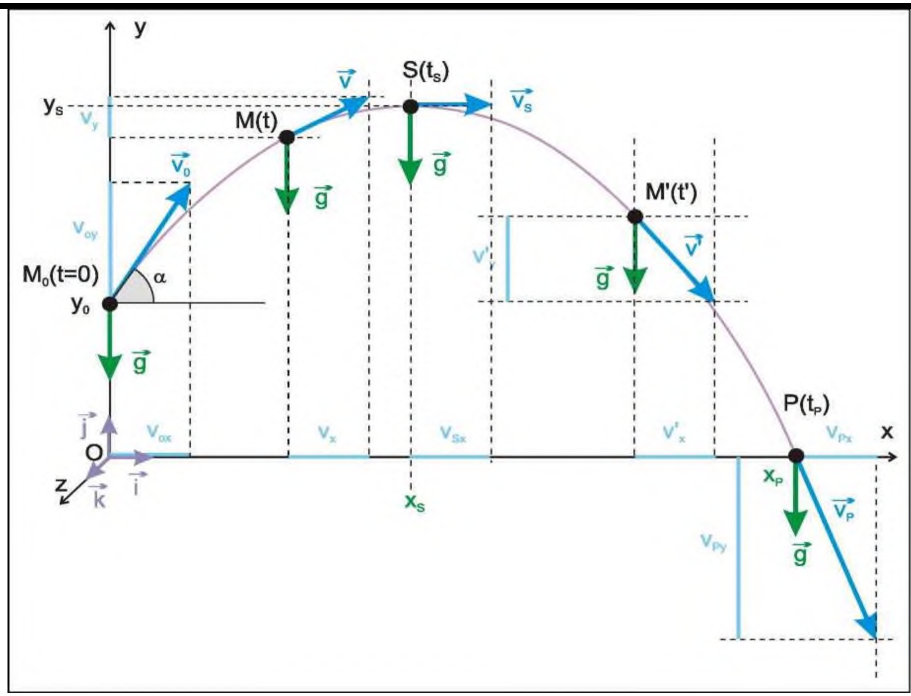
Un projectile, de masse m est lancé dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ avec une vitesse initiale de lancement $\vec{v_0}$. Ce vecteur fait avec l'horizontale un angle aigu α appelé angle de tir.

Le mouvement du projectile est étudié dans un repère cartésien $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$.

2.1. Vecteur accélération

- Système : le projectile de masse m
- Référentiel terrestre supposé galiléen ;
- Bilan des forces : le poids ;

Appliquons le théorème du centre d'inertie :



$$\sum \vec{f}_{ext} = m.\vec{a} = m.\vec{g} \leftrightarrow \boldsymbol{\vec{a} = \vec{g}}$$

$\vec{a}$ et $\vec{g}$ ont la même direction et le même sens.

2.2. <u>Vecteur vitesse et position</u>

Le mouvement étant uniformément varié, on a :

$$\boldsymbol{\vec{v}(t) = \vec{g}.t + \vec{v}_0}$$

$$\boldsymbol{\overrightarrow{OG}(t) = \frac{1}{2}\vec{g}.t^2 + \vec{v}_0.t + \overrightarrow{OG}_0}$$

2.3. Equations horaires du mouvement

2.3.1. Les coordonnées de $\vec{a}, \vec{v}_0$ et $\overrightarrow{OG_0}$

Dans le repère $(0,\vec{\imath},\vec{\jmath},\vec{k})$: A t = 0 on a

$$\vec{a} = -g\vec{\jmath} \leftrightarrow \vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{cases} ;\ \vec{v}_O \begin{cases} v_{Ox} = v_O cos\alpha \\ v_{Oy} = v_O sin\alpha \\ v_{Oz} = 0 \end{cases};\ \overrightarrow{OG_O} \begin{cases} x_O = 0 \\ y_O = h \\ z_O = 0 \end{cases}$$

2.3.2. Equations horaires du mouvement

A t≠0, on a : $\vec{v}\begin{cases} \boldsymbol{v_x = v_O cos\alpha} \\ \boldsymbol{v_y = -gt + v_0 sin\alpha} \\ \boldsymbol{v_z = 0} \end{cases}$

$$\overrightarrow{\boldsymbol{OG}}\begin{cases} \boldsymbol{x = (v_O cos\alpha)t} \\ \boldsymbol{y = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_O sin\alpha)t + h} \\ \boldsymbol{z = 0} \end{cases}$$

Remarque :

Le mouvement est rectiligne uniforme selon l'axe ox et rectiligne uniformément varié selon oy.

2.4. Equation de la trajectoire

De l'expression des équations horaires, nous déduisons

$$t = \frac{x}{v_O cos\alpha} \leftrightarrow \quad \boldsymbol{y = -\frac{g}{2v_0^2\,cos^2\alpha}.x^2 + x tan\alpha + h}$$

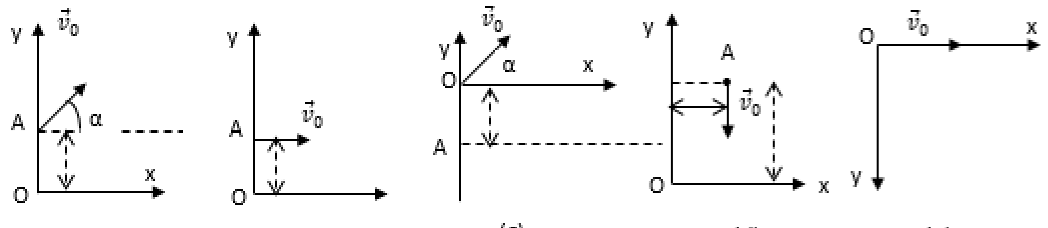
La trajectoire est **une parabole** (de concavité tournée vers le bas).

Remarque : Si le projectile part de l'origine O du repère alors $y_0 = h = 0$

				Et on a : $-\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2 + x\tan\alpha = 0$ **2.5. Les caractéristiques de la trajectoire** **2.5.1. La portée horizontale** • **Définition** Soit P le point d'impact du projectile sur le plan horizontal passant par le point de lancement O. La portée du tir est la distance OP • **Expression de la portée** En P, y = 0 $\leftrightarrow$ $-\frac{g}{2v_0^2\,cos^2\alpha}.x^2 + xtan\alpha + h = 0$ Cette équation du deuxième degré a en principe deux racines x_1 et x_2 Posons $x_1<0$ et $x_2>0 \Longrightarrow$ **OP = x_2** **Remarque :** Pour **y_0 = h = 0** on a : $-\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2 + x\tan\alpha = 0$ $x(-\frac{g}{2v_0^2\,cos^2\alpha}\;x + tan\alpha) = 0$ $\begin{cases} -\frac{g}{2v_0^2\,cos^2\alpha}\;x_p + tan\alpha\;=\;0 \\ x_o\;=x\;=0\text{ (le point de lancement)} \end{cases}$ $\leftrightarrow \boldsymbol{x_p = \frac{2v_0^2cos^2\alpha.sin\alpha}{gcos\alpha} = \frac{2v_0^2\,cos\alpha.sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2sin2\alpha}{g}}$ $\boxed{\boldsymbol{OP = x_P = \frac{v_0^2sin2\alpha}{g}}}$ Pour v_0 fixée, la portée est maximale lorsque sin2α = 1 $\leftrightarrow$ $\boldsymbol{\alpha = \frac{\pi}{4}}$ donc $\boldsymbol{OP_m = \frac{v_0^2}{g}}$

				2.5.2. La flèche • **Définition** La flèche du tir est l'altitude maximale atteinte par le projectile par rapport au point de lancement. • **Expression de la flèche (y_S)** En S $v_y = 0 \leftrightarrow -g.t_s + v_0 sin\alpha = 0 \leftrightarrow t_s = \frac{v_0 sin\alpha}{g}$ $\leftrightarrow \boldsymbol{y_s = H = -\frac{1}{2} g \frac{v_0^2.sin^2\alpha}{g^2} + \frac{v_0^2.}{g} sin^2\alpha + h = \frac{v_0^2.sin^2\alpha}{2g} + h}$ $H = y_S = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} + h$ La flèche est maximale si $sin^2\alpha = 1$ $\leftrightarrow \sin = 1 \leftrightarrow$ **α**= $\boldsymbol{\frac{\pi}{2}}$ **(tir vertical)** $\leftrightarrow \boldsymbol{h_m = \frac{v_0^2}{2g} + h}$ **Remarque** : • Pour h = 0 on a $H = y_S = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ • L'énergie mécanique du projectile soumis à son seul poids dans le champ de pesanteur uniforme se conserve **Activité d'application 1** Dans chacun des cas de figure suivant, détermine en te référant aux résultats de l'activité 1 : 1-Les équations horaires du mouvement.

2-Les équations cartésiennes de la trajectoire.



3. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme.

3.1. Mouvement de la particule chargée dans un champ électrostatique uniforme

Problème

Une particule de charge q < 0 et de masse m pénètre en O entre deux plaques métalliques horizontales chargées et parallèles avec une vitesse constante $\vec{V}_0$ parallèle aux plaques.

Étudions le mouvement des particules entres les plaques.

3.2. ETUDE DYNAMIQUE

- Système

Particule chargée ($q = -e < 0$) de masse m.

- Référentiel

du laboratoire considéré comme galiléen lié au repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$.

- Bilan des forces extérieures

$\vec{P}$: le poids de la particule

$\vec{F}$: force électrostatique

- Théorème du centre d'inertie

$\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$ **;**

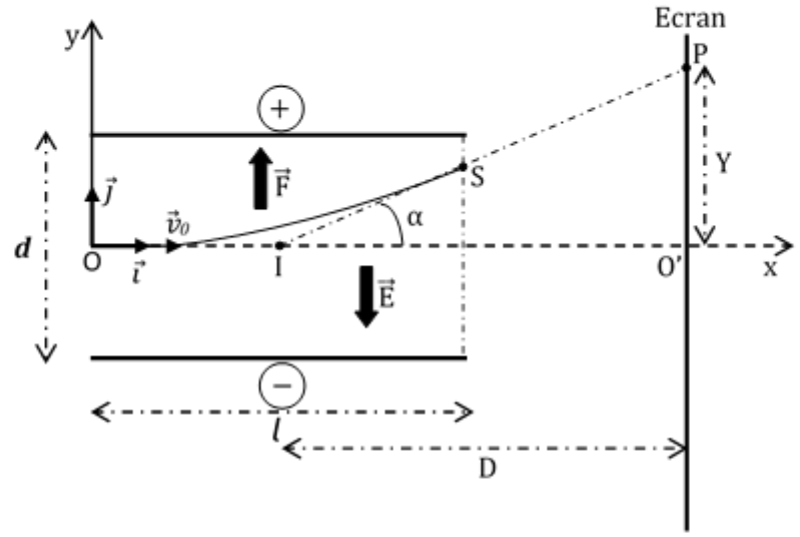
Le poids de la particule entre les plaques est négligeables devant la force éclectique $\vec{F}$ on écrit donc $\vec{P} << \vec{F}$

Finalement $\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a}$; d'où $\boxed{\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}}$

$\vec{a}$ est constant car (**E, q et m sont constant**) et dépend de la masse et de charge de la particule. Le vecteur accélération $\vec{a}$ et le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ sont colinéaires.

3.3. ETUDE CINEMATIQUE

3.3.1. Équation horaire du mouvement



$\overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}\vec{a}.t^2 + \vec{V}_0.t + \overrightarrow{OM}_0$; $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$ $(q = -e < 0)$

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{-qE}{m} \\ a_y = 0 \end{cases} ; \qquad \vec{V}_0\begin{cases} V_{ox} = V_0 \\ V_{oy} = 0 \\ V_{oz} = 0 \end{cases} ; \qquad \overrightarrow{OG}_0\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$$

NB : $a_y = \alpha\vec{E}.\vec{j} = E \times j \times \cos(\vec{E}, \vec{j})$ d'où $(\alpha = \frac{q}{m})$

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x(t) = v_0 t \\ y(t) = \frac{-qE}{2m} t^2 \\ z(t) = 0 \end{cases} \text{ ou } (q = -e) \quad \overrightarrow{OM}\begin{cases} x(t) = v_0 t \\ y(t) = \frac{eE}{2m} t^2 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

On obtient celui de la vitesse en dérivant par le temps t

$$\vec{V}\begin{cases} \mathbf{v_x(t) = v_0 t} \\ \mathbf{v_y(t) = \frac{eE}{m}\, t} \\ \mathbf{v_z(t) = 0} \end{cases}$$

3.3.2. Équation de la trajectoire

En tirant t dans l'équation (1) on a : $\mathbf{t = \frac{x}{V_0}}$

et en remplaçant dans l'équation horaire (2) on a :

$$\boxed{y = \frac{eE}{2mV_0^2}\, x^2}$$

La particule décrit une trajectoire parabolique d'axe de sommet O et sa concavité est tournée vers les y positif.

3.3.3. Étude de la trajectoire

a) Position à la sortie (soit l la longueur de la plaque)

Le faisceau de particule sort des plaques si son abscisse vaut la longueur des plaques ($x = l$) d'où $\mathbf{x_S = l}$

On obtient y_S en remplaçant $\mathbf{x = l}$ dans l'expression de l'équation de la trajectoire ; on obtient $y = \frac{eE}{2mV_0^2}\, x^2$ *d'où* $y = \frac{eE}{2mV_0^2}\, l^2$

Coordonnées de sortie $\begin{cases} x_S = l \\ y_S = \frac{eE}{2mV_0^2}\, l^2 \end{cases}$

b) Vecteur vitesse de sortie

À la sotie S, on détermine le temps t_S de sortie : $\mathbf{x_S = l = v_0.t_S}$ alors $\mathbf{t_S = \frac{l}{v_0}}$

$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = \frac{eE}{m}\, t \end{cases}$ coordonnées de la vitesse de sortie ($t_S = \frac{l}{v_0}$) $\vec{v}_S = \begin{cases} v_{xs} = v_0 \\ v_{ys} = \frac{eE}{mv_0}\, l \end{cases}$

c) Condition de sortie des particules des plaques

Le faisceau de particule arrivera à sortir des plaques s'il parcourt la distance ℓ et que son ordonnée à la sortie soit inférieur à d/2 ; c'est-à-dire ($y_S < \frac{d}{2}$)

$\mathbf{y_S = \frac{eE}{2mV_0^2}\ell^2 < \frac{d}{2}}$ avec $E = \frac{U}{d}$

La condition s'écrit : $\frac{eU}{m.d^2.V_0^2}\ell^2 < 1$

1.2.4 Déflexion électrique d'un faisceau de particule

On place un écran (E) à une distance D du milieu des plaques (D = IO')

a) Déviation électrostatique

C'est l'angle α de déviation que fait le vecteur vitesse $\vec{v}_0$ à partir du milieu I des plaques avec l'axe (O, x) porté par le vecteur vitesse.

$$\boxed{\tan\alpha = \frac{2y_S}{l} = \frac{V_{Sy}}{V_{Sx}} = \frac{eEl}{m.V_0^2}}$$

b) Déflexion électrostatique

- **Définition**

C'est la distance entre l'axe (O, x) porté le vecteur vitesse $\vec{v}_0$ et le point d'impact de la particule sur l'écran (E) : (Y = O'P).

- **Expression de la déflexion électrique Y**

A la sortie les particules sont uniquement soumises à leur poids qui est négligeables, donc à aucune forces extérieures, alors isolées ($m\vec{a} = \vec{0}$ d'où $\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{0}$ alors $\vec{v} = \overrightarrow{cste}$); son mouvement est donc rectiligne uniforme de vitesse $\vec{v}_S$ de sortie.

$\tan\alpha = \frac{Y}{D}$ alors Y = D.tanα avec $\tan\alpha = \frac{eEl}{m.V_0^2}$ et $E = \frac{U}{d}$ $(\tan\alpha = \frac{eUl}{m.d.V_0^2})$

$$\boxed{Y = \frac{e.U.l.D}{m.d.v_0^2}} \qquad \boxed{Y = k.U} \qquad \text{avec } k = \frac{e.l.D}{m.d.v_0^2}$$

La déflexion électrique est proportionnelle à la tension appliquée aux bornes du condensateur déflecteur : C'est le principe de l'oscilloscope.

1.3 ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

Il ya conservation de l'énergie mécanique sur tout le parcours de la particule q dans le champ $\vec{E}$ entre les plaques. Soit A et B deux positions du projectile, on a :

$E_{mA} = E_{mB}$ alors $Ep_A + E_{CA} = Ep_B + E_{CB}$

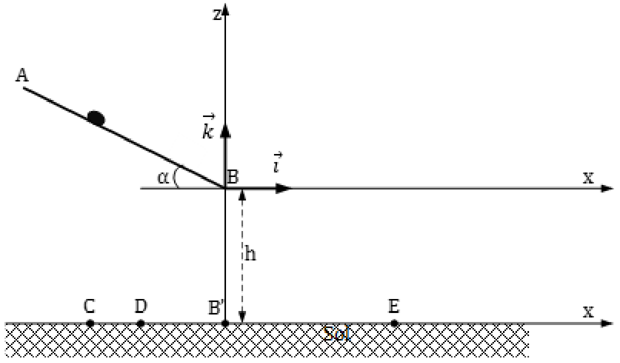
$$qV_A + 1/2m.v_A^2 = qV_B + 1/2m.v_B^2$$

$$q(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m(v_B^2 - v_A^2)$$

$$\boxed{\mathbf{qU_{AB} = \frac{1}{2} m(v_B^2 - v_A^2)}}$$

SITUATION D'EVALUATION 1

Au cours d'une séance de travaux pratiques, Un groupe d'élève laisse glisser un palet sur un plan AB incliné d'un angle $\alpha = 30$ par rapport à l'horizontale (Voir figure). A l'aide d'un capteur, ils mesurent la vitesse du palet en B et trouve $V_B = 10$ m/s. Le palet quitte ensuite le plan incliné tombe en chute libre sur le sol situé à la distance $h = 5$ m en dessous du point B. On donne $g = 10$ m.s^{-2}.



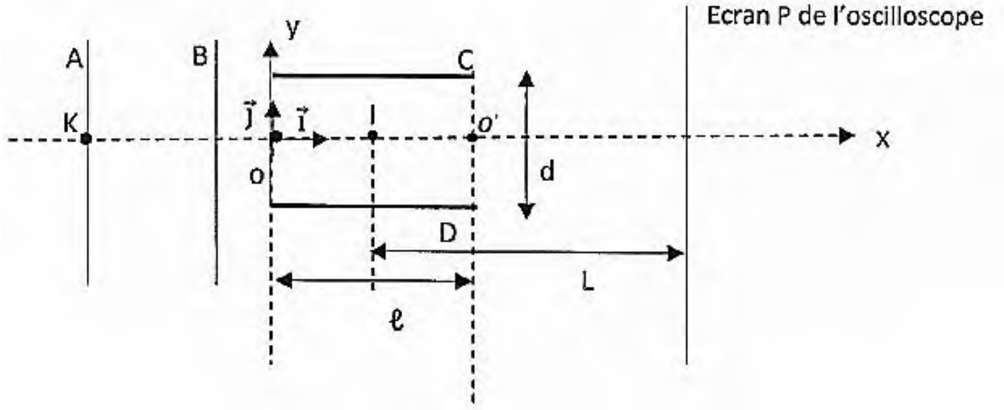
Etant de ce groupe, tu décides d'étudier le mouvement du palet afin de vérifier tes acquis.

1. Représente le vecteur-vitesse $\overrightarrow{V_B}$ du palet en B.
2. Détermine les équations horaires du mouvement du palet dans le repère $(B, \vec{i}, \vec{k})$, en considérant qu'à l'instant initial le palet se trouve au point B
3. Déduis-en l'équation cartésienne de la trajectoire du palet.
4. Détermine :
   - 4.1. La date à laquelle le palet touche le sol au point E.
   - 4.2. L'abscisse X_E du point E.
   - 4.3. Les caractéristiques du vecteur-vitesse $\overrightarrow{V_E}$ du palet en E.

				SITUATION D'EVALUATION 2

Dans le canon à électrons d'un oscilloscope règne un vide poussé. Dans ce canon, les électrons de masse m et de charge q sont émis sans vitesse initiale au point K, par un filament chauffé.

Ces électrons sont ensuite accélérés par la tension U_{AB} entre les plaques verticales A et B. A la sortie de ces plaques, ils pénètrent en O entre deux autres plaques horizontales C et D où ils sont déviés par le champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ qui y règne. Ces électrons sont reçus sur l'écran de l'oscilloscope, situé à une distance L du milieu I des plaques C et D (voir schéma ci-dessous). Yann ayant pris connaissance de ce dispositif, veut faire l'étude dynamique du mouvement des électrons.



On donne : masse de l'électrons : me = $9{,}1.10^{-31}$kg ; charge de l'électron :

q = -e = $-1{,}6.10^{-19}$C ; U_{CD} = 100 V; $\|U_{AB}\|$ = 300 V; e = 2 cm; d = 1 cm; L = 25 cm.

Aide Yann à faire son étude.

1. Étude de l'accélération des électrons

1.1 Enonce le théorème de l'énergie cinétique.

1.2 Détermine le signe de la tension U_{AB}.

1.3 Etablis en fonction de e, m et U_{AB}, l'expression de la vitesse V_B des électrons a sortie des plaques A et B. Calcule sa valeur.

2. Etude du mouvement des électrons au-delà des plaques A et B On admet que V_B = V_0 (V_0 est la vitesse de l'électron en O)

				2.1 Enonce le théorème du centre d'inertie. 2.2 Détermine le sens de déviation du spot par rapport à l'horizontale sur l'écran de l'oscilloscope. 2.3 Représente qualitativement la force électrostatique $\vec{F}$ s'exerçant sur un électron. 2.4 Détermine : 2.4.1 les équations horaires x(t) et y(t) du mouvement d'un électron dans le champ Électrostatique $\vec{E}$; 2.4.2 l'équation cartésienne y(x) de la trajectoire ; 2.4.3 les coordonnées du point S à la sortie des plaques C et D ; 2.4.4 la déviation linéaire Y d'un faisceau d'électron sur l'écran P de l'oscilloscope.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 4 : OSCILLATIONS MECANIQUES LIBRES

Durée : 6 heures

HABILETES	**CONTENU**
Définir	un oscillateur mécanique
Connaître	les caractéristiques générales d'un oscillateur mécanique.
Déterminer	l'équation différentielle d'un oscillateur mécanique non amorti.
Connaître	la forme générale de la solution de l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique
Déterminer	les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti - la pulsation propre ; - la période propre ; - la fréquence propre ; - l'amplitude ; - la phase à l'origine des dates.
Ecrire	la solution de l'équation différentielle.
Montrer	la conservation de l'énergie mécanique d'un oscillateur non amorti.
Tracer	les graphes x(t) et v(t).
Exploiter	les graphes x(t) et v(t).

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-

-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

-	
<u>STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES</u>	

PLAN DU COURS

1. Caractéristiques générales d'un oscillateur mécaniques
    1.1. Oscillateur mécanique
    1.2. La période et la fréquence du mouvement
    1.3. Oscillateur libre
    1.4. Oscillateur harmonique
2. Etude expérimentale d'un pendule élastique
3. Etude d'un pendule élastique horizontal
    3.1. Équation différentielle
    3.2. Équation horaire
    3.3. Expressions et représentation graphique de x(t), v(t) et a(t)
4. Etude énergétique
    4.1. Expression des énergies
    4.2. Conservation de l'énergie mécanique
5. Oscillateur mécanique amorti

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**OSCILLATIONS MECANIQUES LIBRES**
				<u>Situation d'apprentissage</u> Lors de la préparation de la visite technique du véhicule de son Père, un élève en classe de TleD au Lycée Moderne de Bonon découvre un dépliant contenant les informations suivantes : « L'amortisseur d'une automobile fonctionne en duo avec un ressort de suspension pour assurer le confort à bord du véhicule ainsi que sa bonne tenue de route. Le rôle des amortisseurs est de maintenir les roues en contact avec le sol. …. Le ressort est soumis au processus de compression détente continu en perdant à chaque fois un peu d'énergie. Si le ressort travaille seul, les oscillations se prolongent dans le temps. La fréquence et l'ampleur des mouvements occasionnés par le ressort doivent être contrôlés ». L'élève envoie ce dépliant en classe et avec ses camarades, ils entreprennent de définir un oscillateur mécanique, de déterminer son équation différentielle et les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti puis de montrer la conservation de l'énergie mécanique d'un oscillateur harmonique non amorti. **1. <u>CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN OSCILLATEUR MECANIQUES</u>** 1.1. <u>Oscillateur mécanique</u> C'est un système mécanique qui effectue des mouvements d'aller-retour de part et d'autre de sa position d'équilibre. *<u>Exemples</u>* : une balançoire, un pendule élastique constitué d'un ressort et d'un solide fixé à l'une de ses extrémités…

1.2. La période et la fréquence du mouvement

Une oscillation est un aller-retour autour de la position d'équilibre.
-La période T(s) du mouvement est la durée d'une oscillation complète.
-La fréquence N(Hz) du mouvement correspond au nombre de périodes par seconde.

La fréquence et la période du mouvement sont reliées par : $\boldsymbol{N = \frac{1}{T}}$

1.3. Oscillateur libre

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

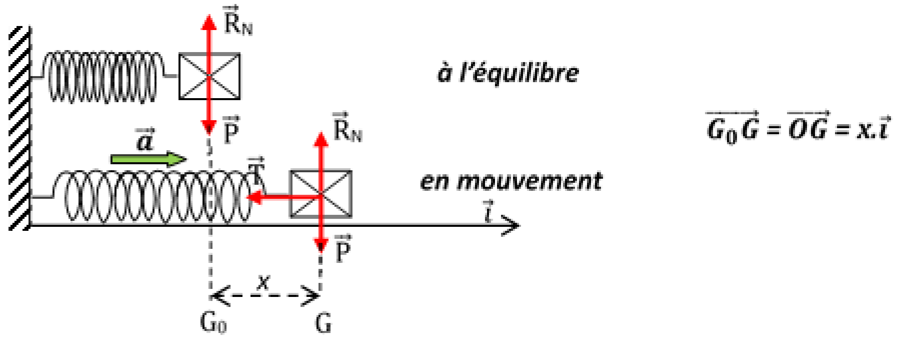
1.4. Oscillateur harmonique

C'est un oscillateur dont la loi horaire de son mouvement est une fonction sinusoïdale du temps.

2. ETUDE DU SYSTEME (RESSORT+ SOLIDE)

2.1. Étude dynamique

Un solide (S) est accroché à l'extrémité libre d'un ressort horizontal. Le solide peut se déplacer horizontalement sans frottement sur un axe (x'x) parallèle à l'axe du ressort.



- <u>Système :</u> Le dispositif solide-ressort de masse (m)
- <u>Référentiel</u> terrestre considéré comme galiléen
- <u>Bilan des forces extérieures</u>

$\vec{P}$: le poids du solide de masse (m)

				$\vec{R}_N$: la réaction normal de l'axe de coulissement $\vec{T}$: la tension du ressort • <u>Équation différentielle du mouvement</u> TCI : $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}$; $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R}_N = m.\vec{a}$ Projection sur l'axe (x'x) : $P_x + T_x + R_x = m.a_x$ or $T_x = -k.x$ $-k.x = m.\ddot{x}$ finalement $\boxed{\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0}$ **Cette équation liée à l'abscisse x et à sa dérivée seconde ẍ, est l'équation différentielle du mouvement du solide.** **2.2. <u>Étude cinématique</u>** **2.2.1. <u>Solution de l'équation différentielle</u>** Cette équation différentielle $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ a pour solution la fonction sinusoïdale du temps donc l'équation horaire de la forme : $x(t) = X_m cos(\omega_0 .t + \varphi)$ X_m : amplitude en (m) généralement choisie positive ou élongation maximale. φ : phase à l'origine des dates (t = 0), s'exprime en (rad) ω_0 : pulsation propre ($rad.s^{-1}$). $(\omega_0 .t + \varphi)$: phase à un instant de date t en (rad). **X_m et φ dépendent uniquement des conditions initiales.** Le mouvement du centre d'inertie de l'oscillateur **est rectiligne sinusoïdale.** **2.2.2. <u>Amplitude et phase à l'origine</u>** L'Amplitude X_m et la phase φ à l'origine des dates dépendent uniquement des conditions initiales de la position x_0 et de la vitesse v_0 du mobile, données par l'énoncé. **Conditions initiales :** $x = x_0 = A > 0$ équivaut à (t = 0) ; $x = x_0 = X_m cos\varphi > 0$ (1) $v = v_0 = 0\ m.s^{-1}$ équivaut à (t = 0) $v = v_0 = -\omega_0 X_m sin\varphi = 0$ (2) (2) $sin\varphi = 0$ alors $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pi$ $cos\varphi = \frac{A}{X_m} > 0 \Longrightarrow \varphi = 0$ donc $X_m = \frac{A}{cos0} = A$ finalement **$\varphi = 0$ et $X_m = A$** L'équation horaire cherchée est donc : **$x(t) = Acos\omega_0 t$**

2.2.3. Pulsation propre ω_0 période propre T_0, fréquence propre N_0

- **Pulsation propre ω_0**

Si l'équation horaire $x(t) = X_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$ est solution de l'équation différentielle alors, elle vérifie l'équation différentielle.

$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ équivaut à $-X_m\omega_0^2\cos(\omega_0 .t + \varphi) = -\frac{k}{m}x$

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

$$-\omega_0^2 x = -\frac{k}{m}x \quad \text{d'où} = \frac{k}{m}; \quad \text{finalement}$$

$$\boxed{\omega_0^2 = \sqrt{\frac{k}{m}}}$$

Il s'exprime en radian par seconde ($rad.s^{-1}$)

$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$: caractéristique d'un oscillateur libre non-amorti (appelé aussi : mouvement harmonique simple)

- **Période propre T_0**

C'est la durée d'une oscillation et s'exprime en seconde (s)

$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$; finalement $\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$

- **Fréquence propre N_0**

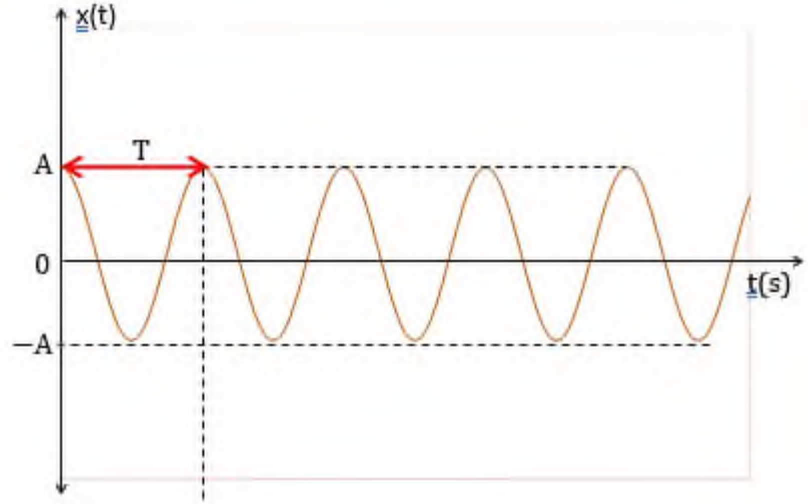
C'est le nombre d'oscillations par seconde, il s'exprime en Hertz (Hz)

$N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$; finalement $\boxed{N_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}}$

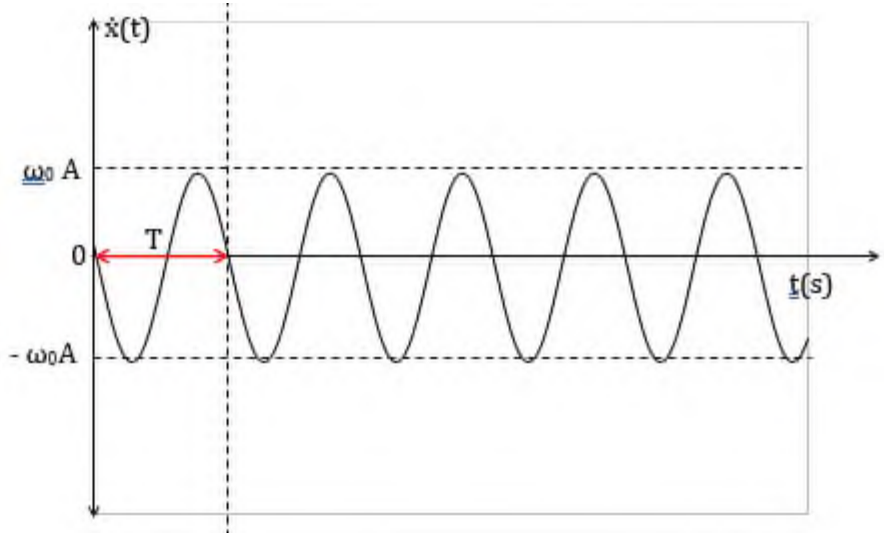
N.B : *On parle de pulsation, période, et fréquence **propres**, car une fois le système lâché, plus aucun agent extérieur ne vient le modifier, dissiper ou lui apporter de l'énergie.*

- **<u>Représentation graphique</u> :**

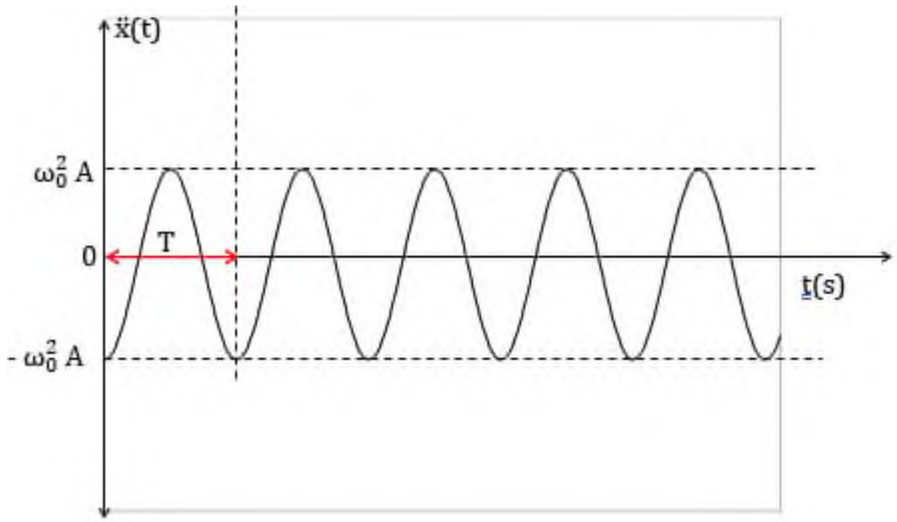
position : **$x(t) = A\cos\omega_0 t$**



vitesse : **$v(t) = \dot{x} = -\omega_0 A\sin\omega_0 t$**



accélération : $\mathbf{a(t) = \ddot{x} = -\omega_0^2 A\cos\omega_0 t}$



3. ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE DU SYSTÈME (RESSORT+SOLIDE)

3.1. Énergie mécanique d'un pendule élastique

$E_m = E_c + E_{pe} = \frac{1}{2}m.v^2 + \frac{1}{2}k.x^2 = \frac{1}{2}m.\dot{x}^2 + \frac{1}{2}k.x^2$

3.2. conservation de l'énergie mécanique

$\mathbf{x = X_m\cos(\omega_0 t + \varphi)}$

$\mathbf{x^2 = X_m^2\cos^2(\omega_0 t + \varphi)}$

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

$\mathbf{\dot{x}^2 = \omega_0^2 X_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \phi)}$

$\mathbf{\omega_0^2 = \frac{k}{m}}$

$E_m = E_c + E_{pe} = \frac{1}{2}m.v^2 + \frac{1}{2}k.x^2$

$E_m = \frac{1}{2}m.\dot{x}^2 + \frac{1}{2}k.x^2$

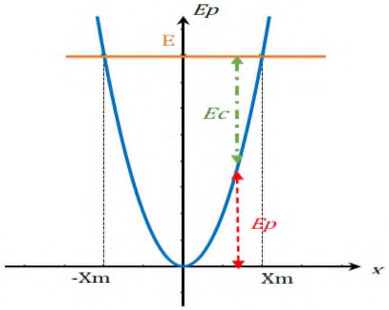
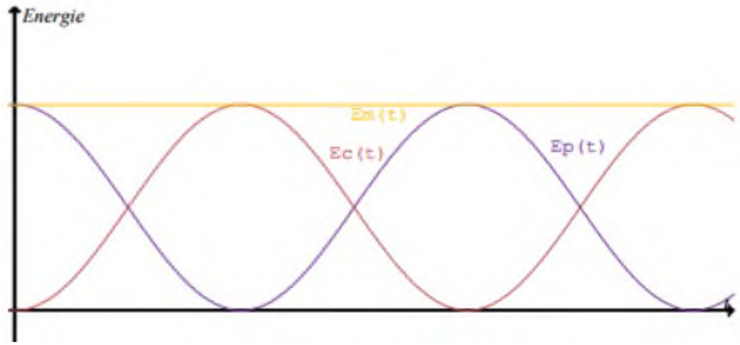
$E_m = \frac{1}{2}m.\omega_0^2 X_m^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2}k.X_m^2\cos^2(\omega_0 t + \varphi)$

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

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

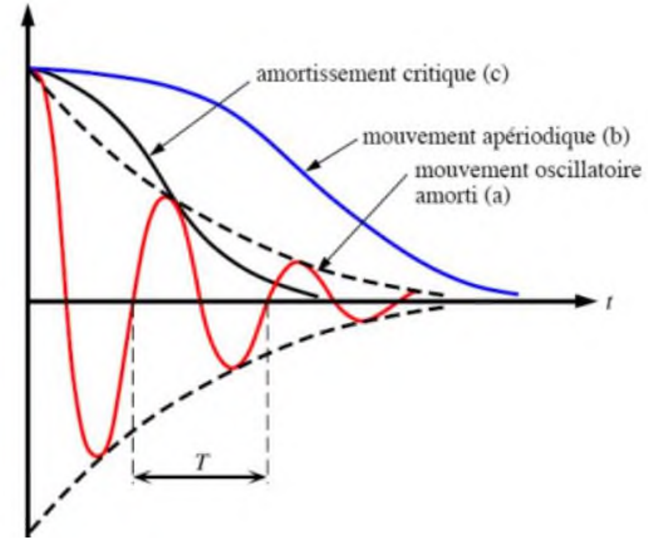
$$\boxed{\mathbf{E_m = \frac{1}{2}k.X_m^2 = constante}}$$

L'énergie mécanique totale d'un oscillateur non amorti est donc constante.

				Remarque : • Le système est conservatif car l'énergie mécanique est constante. Donnons une représentation graphiquement de Ep(t), Ec(t) et E(t) dans le cas où $x(t) = X_m cos(\omega_0 t)$  $\begin{cases} E_C(t) = \frac{1}{2}kX_m^2 cos^2(\omega_0 t) = \frac{1}{2}kX_m^2(1+\cos(2\omega_0 t)) \\ E_P(t) = \frac{1}{2}m\omega_0^2 X_m^2 \sin^2(\omega_0 t) = \frac{1}{2}kX_m^2(1-\cos(2\omega_0 t)) \end{cases}$ Les deux fonctions Ep et Ec sont périodiques de période $\frac{T_0}{2} = \frac{\pi}{\omega_0}$  • On retrouve l'équation différentielle en dérivant l'énergie mécanique par rapport au temps $\boldsymbol{E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = cste \leftrightarrow \frac{dE}{dt} = 0}$

4. Oscillateur mécanique amorti

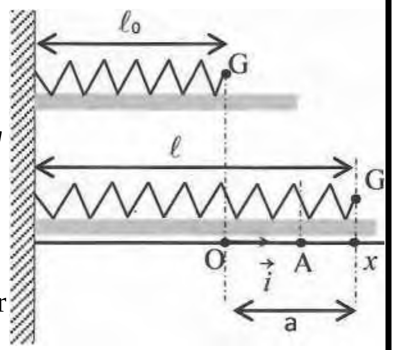
En réalité l'amplitude X_m des oscillations décroit progressivement.
L'énergie mécanique de l'oscillateur diminue alors au cours du temps à cause des forces de frottement.



NB : la pseudo-période T est en générale proche de la période T_0

SITUATION D'EVALUATION 1

Lors d'une séance de travaux pratiques de physique, le professeur demande à votre groupe d'étudier les oscillations mécaniques d'un système (ressort-solide).



Le groupe accroche un solide ponctuel G de masse m = 200 g à l'extrémité libre du ressort de constante de raideur k = 25 $N.m^{-1}$.

L'ensemble (ressort + solide) peut coulisser le long d'un support horizontal parfaitement lisse. Le solide est tiré à partir de sa position d'équilibre d'une longueur a = 2 cm et lâché sans vitesse initiale à la date t = 0. La position du solide est donnée par son abscisse x dans le repère $(0, \vec{i}\,)$ (voir figure ci-dessous).

L'énergie potentielle élastique est nulle lorsque le ressort est au repos.

1. Étude dynamique

1.1. Représente qualitativement sur un schéma, les forces appliquées au solide lorsque qu'il est au point A.

1.2. Énonce le théorème du centre d'inertie.

1.3. Établis l’équation différentielle du mouvement du solide.

1.4. Vérifie que $x(t) = X_m \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi\right)$ est une solution de l’équation différentielle précédemment établie.

1.5. Détermine ω_0 (pulsation propre), X_m et φ.

1.6. Écris l'expression de *x(t)* avec les valeurs numériques de ω_0, X_m et φ.

2. <u>Étude énergétique</u>

2.1. Établis l'expression de l’énergie mécanique E_m du système en fonction de *k*, *m*, *x* et $\dot{x}$.

On rappelle que $x = \frac{dx}{dt}$

2.2. Montre que $E_m = \frac{1}{2}ka^2$

2.3. Calcule E_m.

2.4. Détermine :

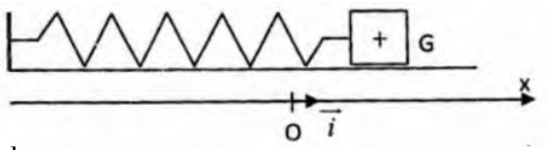
2.4.1. la valeur maximale V_{max} de la vitesse du solide ;

2.4.2. la valeur de *x* pour laquelle cette vitesse est atteinte.

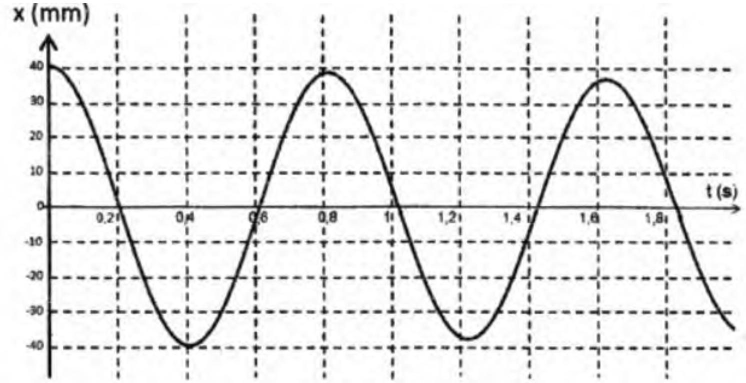
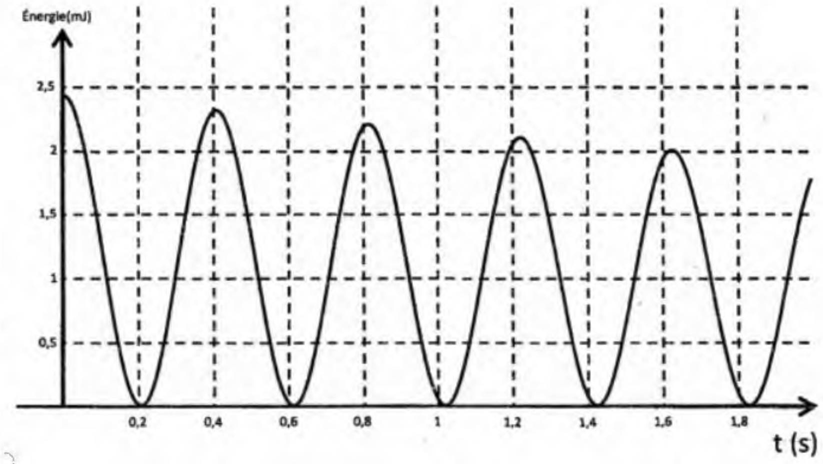
SITUATION D’EVALUATION 2

Ton voisin de classe n 'est pas très organisé ; il doit remettre dans quelques jours un devoir de maison sur les oscillations mécaniques et il ne retrouve pas la totalité de ses documents. Voici les éléments qu’il a cependant en sa possession :

- Le schéma du montage de l'oscillateur élastique horizontal sur banc à coussin d'air ;



- Les conditions initiales :
  - Abscisse initiale du centre d'inertie du mobile x_0= 4,0 cm
  - Vitesse initiale $v_0 = 0\ m.s^{-1}$;
- L'expression $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ conservée dans sa calculatrice ;
- Deux graphes correspondant à des acquisitions faites lors d'une séance de travaux pratiques :

				Courbe 1  Courbe 2  Aide-le. **1. Analyse des graphes** 1.1. La courbe 1 ci-dessus représente l'évolution de l'abscisse x du centre d'inertie G du mobile au cours du temps. Déterminer graphiquement la valeur de la pseudo-période T de l'oscillateur. Cette valeur sera par la suite confondue avec celle de la période propre T_0 d'un oscillateur idéal. 1.2. La courbe 2 représente l'évolution d'une grandeur énergétique au cours du temps.

Montrer sans calcul que cette grandeur ne peut être que l'énergie potentielle élastique Ep du système {mobile + ressort}.

2. Constante de raideur du ressort et masse du mobile

2.1. En utilisant les courbes 1 et 2 précédentes, montrer que la constante de raideur k du ressort a pour valeur k = 3,0 $N.m^{-1}$.

2.2. Donner l'expression de la masse m du mobile en fonction de k et de T_0. Calculer sa valeur.

3. Évolution des oscillations

3.1. Les forces de frottements sont-elles négligeables ? Justifier.

3.2. Dessiner sur un même graphe, dans le cas théorique d'un oscillateur élastique sans frottement, les allures des courbes des énergies potentielle élastique, cinétique et mécanique du système en fonction du temps, en respectant les conditions initiales de l'oscillateur étudié précédemment et ses caractéristiques.

4. Équation différentielle du mouvement

4.1. Établir l'équation différentielle que vérifie l'abscisse x(t) dans le cas d'un oscillateur élastique horizontal sans frottement.

On précisera le référentiel d'étude, les forces agissant sur le mobile et la loi de la mécanique utilisée.

4.2. Vérifier que $x(t) = x_0 cos(\frac{2\pi}{T_0} t)$ est solution de cette équation différentielle.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 5 : CHAMP MAGNETIQUE

Durée : 6 heures

HABILETES	CONTENU
Définir	l'espace champ magnétique.
Déterminer	les caractéristiques du vecteur- champ magnétique.
Répresenter	le vecteur- champ magnéique $\vec{B}$.
Définir	le spectre magnétique.
Représenter	le spectre magnétique d'un aimant droit et d'un aimant en « U ».
Définir	un solénoïde.
Connaître	• les règles d'orientation. • les sources de champ magnétique.
Représenter	le spectre d'un solénoïde parcouru par un courant électrique continu.
Déterminer	les caractéristiques du champ magnétique créé par un solénoïde parcouru par un courant électrique.
Tracer	le graphe B = f(I) pour un solénoïde.
Utiliser	la relation $B = \mu_0 nI$ avec $n = \frac{N}{l}$
Déterminer	les composantes horizontale et verticale du champ magnétique terrestre.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

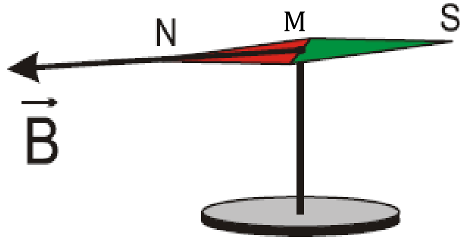
-
-

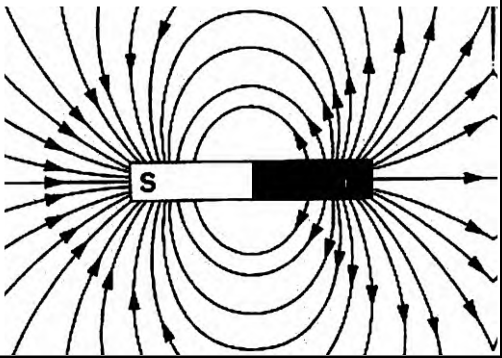
VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

-	
STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES	

PLAN DU COURS

1. Interactions magnétiques
2. Champ magnétique
   - 2.1. Vecteur champ magnétique
   - 2.2. Spectres magnétiques
     - 2.2.1. Définition
     - 2.2.2. Visualisation de quelques spectres magnétiques
   - 2.3. Champ magnétique terrestre
3. Les solénoïdes
   - 3.1. Définition
   - 3.2. Les faces d'une bobine
   - 3.3. Le spectre magnétique
4. Etude expérimentale de la variation du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde
   - 4.1. Relation entre le champ B et l'intensité I du courant
     - 4.1.1. Expérience 1
     - 4.1.2. Résultats et interprétation
   - 4.2. Relation entre le champ B et le nombre n de spires par mètre
     - 4.2.1. Expérience 2 et résultats
     - 4.2.2. Interprétation 2
   - 4.3. Expression de B en fonction de n et I
   - 4.4. Conclusion

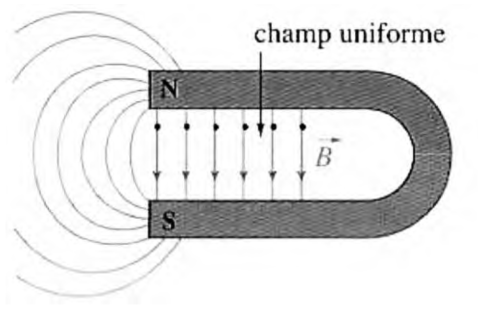
Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**MOUVEMENTS DANS UN CHAMP UNIFORME**
				Situation d'apprentissage Au cours d'une expérience en Physique en classe de Tle C_1 au Lycée Moderne de Daloa, un élève approche une aiguille aimantée d'un aimant et d'une bobine parcourue par un courant. Les élèves constatent que l'aiguille dévie. Pour comprendre ces observations, ils cherchent à définir l'espace champ magnétique, à représenter le vecteur- champ magnétique et de déterminer les caractéristiques de celui-ci à l'intérieur du solénoïde. 1. Interactions magnétiques - Des bobines parcourues par des courants de sens contraires se repoussent ; elles s'attirent si les courants sont de même sens. - Des pôles d'aimant de même nom se repoussent et des pôles de noms différents s'attirent 2. Champ magnétique 2.1. Vecteur champ magnétique Approchons une substance ferromagnétique d'un aimant, elle est attirée par ce dernier. Éloignons progressivement cette substance de l'aimant, l'attraction diminue jusqu'à s'annuler. Il existe donc autour de l'aimant un champ **appelé champ magnétique**. Chaque point M de ce champ magnétique 

				est caractérisé par un vecteur champ magnétique noté $\vec{B}$(M) dont : - Le point d'application est le point M - La direction est celle de l'aiguille aimantée (boussole) placée en M - Son sens est dirigé du pôle sud vers le pôle nord de l'aiguille aimantée. - Sa norme peut être déterminée par le calcul ou par mesure à l'aide d'un teslamètre à sonde de Hall. **Remarque** : l'unité du champ magnétique dans le S.I. est le tesla (symbole T) 2.2. Spectres magnétiques 2.2.1. Définition - Une ligne de champ est une courbe tangente en chacun de ses points avec le vecteur champ magnétique $\vec{B}$. Elle est orientée dans le sens de $\vec{B}$. - Deux lignes de champ ne se coupent jamais parce qu'il n'existe qu'un seul vecteur champ magnétique en un point. - L'ensemble des lignes de champ magnétique constitue le spectre du champ magnétique. 2.2.2. Visualisation de quelques spectres magnétiques • **Spectre d'un champ magnétique crée par un aimant droit** Près des pôles les lignes de champ sont resserrées : le champ y est plus intense. Les lignes de champ sortent du pôle nord et entrent par le pôle 

sud ; seul la ligne de champ passant par l'axe est rectiligne.

- **<u>Spectre d'un champ magnétique créé par un aimant en U</u>**

Entre les deux branches de l'aimant en U, les lignes de champ sont parallèles et de même sens. Dans cette région le champ magnétique est uniforme.



<u>Activité d'application 1</u>

Deux aimants droits A_1 et A_2 créent des champs magnétiques de valeurs respectives $B_1 = 2.10^{-2}$T et $B_2 = 3,46.10^{-2}$T.

1-Donne les caractéristiques du vecteur champ magnétique $\vec{B}$ créé par les deux aimants en O. (figure1).

2-Reprends la même question qu'en 1 si les deux aimants sont placés sur un même axe. (Figure2).

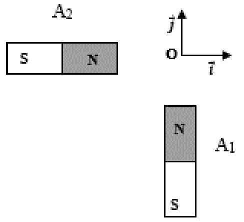


Figure 1

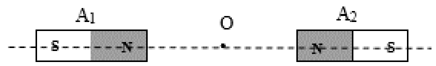
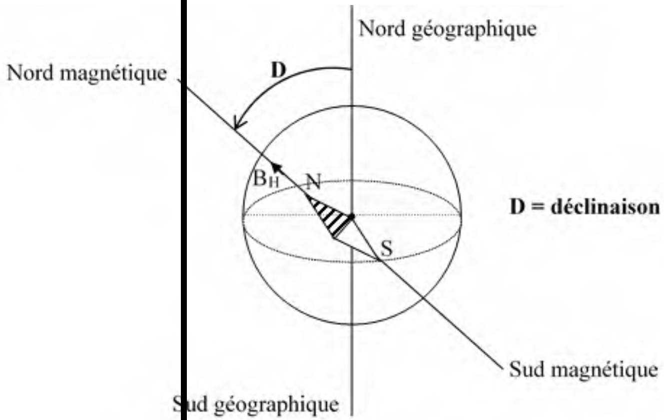
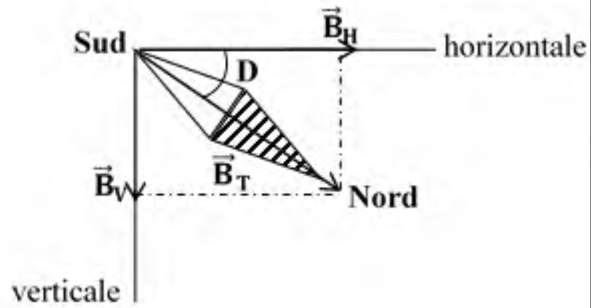


Figure 2

2.3. <u>Champ magnétique terrestre</u>

La terre se comporte comme un énorme aimant ayant deux (02) pôles : le pôle nord magnétique et le pôle sud magnétique.



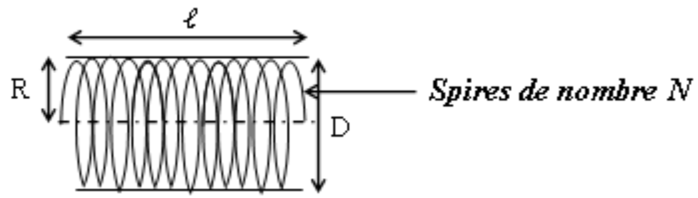


B_H : Composante horizontale du champ magnétique terrestre.
B_V : Composante verticale du champ magnétique terrestre.
$\vec{B}_T = \vec{B}_H + \vec{B}_V$ avec $D = (\vec{B}_H , \vec{B}_T)$: l'inclinaison magnétique
$B_H = B_T \cos D$
<u>Remarque</u> : la composante horizontale se superpose toujours aux champs créés par les autres sources (aimants, courant) devant lesquels il peut être quelquefois négligeable.

3. Les solénoïdes

3.1. Définition

Un solénoïde est une bobine constituée par un fil électrique (recouvert de vernis isolant) régulièrement enroulé.



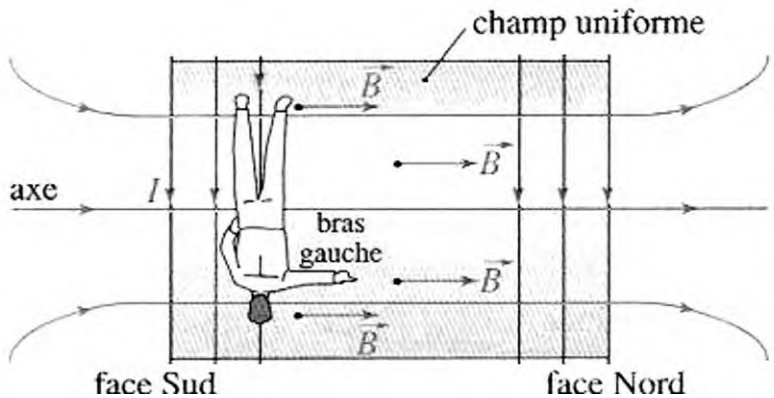
<u>Remarque :</u>
- Une bobine est dite plate si la longueur ℓ inférieur à R (ℓ < R).
- Elle est dite longue si sa longueur vaut ℓ est supérieur à R (ℓ > R)
- Lorsque **ℓ ≥ 10 R** alors on a un solénoïde

3.2. Les faces d'une bobine

Une bobine parcourue par un courant électrique se comporte comme un aimant. Elle possède deux faces : Une face NORD et une face SUD.
Pour retrouver les noms des faces, on peut utiliser :

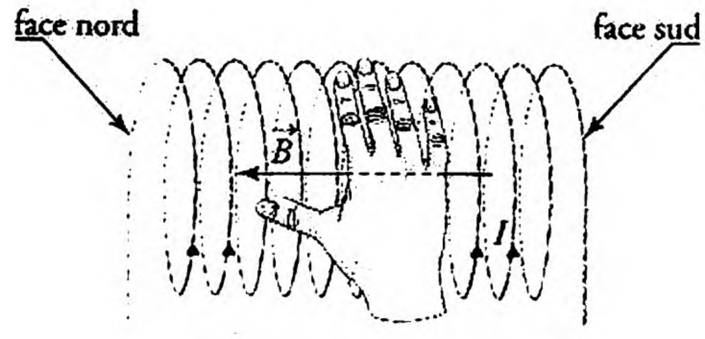
- **La règle de l'observateur d'ampère**

L'observateur d'ampère couchée sur la spire le courant rentrant par ses pieds et sortant par sa tête, il regarde l'intérieur de la bobine et indique la face Nord par son bras gauche.



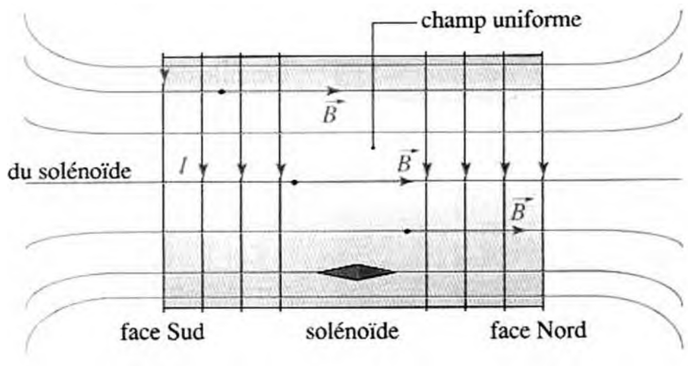
- **La règle de la main droite**

Placer l'intérieur de la paume sur le fil visible. Les 4 doigts autres que le pouce dans le sens de I. Le pouce indique alors le sens de $\vec{B}$. Connaissant le sens de $\vec{B}$ on a déduit le nom des faces.



Les faces d'une bobine s'inversent avec le sens du courant.

3.3. Le spectre magnétique



À l'intérieur, les lignes de champ sont des droites parallèles à l'axe du solénoïde. C'est un champ uniforme.

Il a pour caractéristiques :

- Direction : parallèle à l'axe cde la bobine,
- Sens : Dirigé de la face sud vers la face nord,

4. Variation du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde

À l'intérieur d'un solénoïde comportant n spires par mètre et parcouru par un courant d'intensité I, l'expression du champ magnétique est :

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

Remarque :

- Soit λ le nombre d'enroulements (ou de couches) d'un solénoïde et d le diamètre du fil utilisé. On a : $n = \frac{\lambda}{d}$ avec d en m
- Soit L la longueur du fil utilisé et r le rayon du solénoïde. On a : $N = \frac{L}{2\pi r}$ avec L et r en m

Activité d'application 2

On mesure un champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde à l'aide d'un teslamètre placé au centre de ce solénoïde. On fait varier l'intensité I qui circule dans les spires et on mesure le champ B dont les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

I(A)	5,0	4,5	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5
B (mT)	3,3	3,0	2,8	2	1,4	0,7	0,4

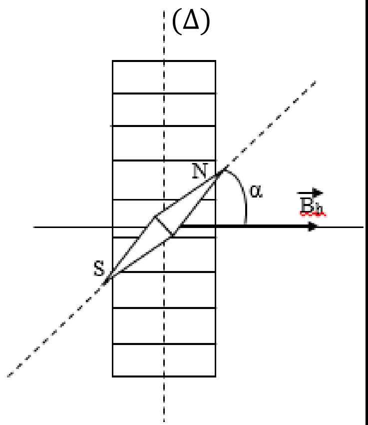
1. Montrer, en traçant le graphe B = f(I) que le champ magnétique est proportionnel à l'intensité I du courant.
2. Calculer le nombre de spires qui constituent le solénoïde sachant que sa longueur ℓ = 40cm et son diamètre est de 4cm. On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} SI$

SITUATION D'EVALUATION

Pour pallier au manque de matériels de laboratoire, votre professeur vous confie la fabrication d'un solénoïde.

Vous réalisez alors deux couches d'enroulement sur un cylindre creux en matière plastique de longueur ℓ = 60cm, à l'aide d'un fil gainé de diamètre d = 0,5mm.

Pour tester ce solénoïde, vous faits passer un courant d'intensité I inconnue dans le solénoïde. Une aiguille aimantée placée au centre du solénoïde dévie d'un angle $\alpha = 70°$. (Voir figure). L'axe (Δ) du solénoïde est horizontal et perpendiculaire au plan du méridien magnétique



On donne : $B_h = 2.10^{-5}$T ; $\mu_0 = 4\ \pi.10^{-7}$S.I.

Tu es le responsable de ce groupe. Tu décides de déterminer l'intensité du courant inconnu afin de vérifier tes acquis.

1- Détermine le nombre N de spires de ce solénoïde.

2- Donne l'expression de l'intensité du champ magnétique au centre du solénoïde en fonction de N, ℓ et I

3-

3.1- Dis comment s'oriente l'aiguille à l'absence de courant dans les spires.

3.2- Déterminer l'intensité du champ magnétique au centre de la bobine.

3.3- Déduis-en la valeur et le sens du courant I.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 4 : MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

Durée : 6 heures

HABILETES	CONTENU
Définir	la force de Lorentz.
Connaître	l'expression de la force de Lorentz.
Représenter	• la force de Lorentz. • le vecteur $\vec{B}$. • le vecteur q$\vec{v}$.
Déterminer	les caractéristiques de la force de Lorentz.
Déterminer	- la nature du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique. uniforme (cas particulier où $\vec{B}\perp\vec{v}$).
Connaître	l'expression du rayon de la trajectoire.
Déterminer	la déflexion magnétique.
Analyser	le mouvement d'une particule chargée dans : - un spectromètre de masse ; - un cyclotron ; - un filtre de Wien ou filtre de vitesses.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

•
•
•
•
•

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

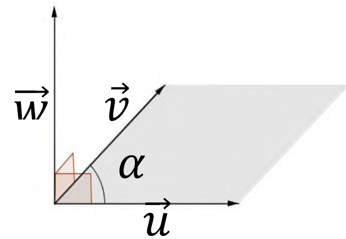
-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. Rappels sur le produit vectoriel
2. La force de Lorentz
   - 2.1. Définition
   - 2.2. Les caractéristiques de la force
3. Étude expérimentale
   - 3.1. Dispositif expérimental
   - 3.2. Observations et interprétations
4. Etude théorique : Cas ou $V_0 \perp$ à B ($\alpha = \pi /2$ rad)
   - 4.1. Présentation
   - 4.2. Étude dynamique
   - 4.3. Nature du mouvement
   - 4.4. Expression de la période et de la fréquence
5. APPLICATIONS
   - 5.1. Le spectrographe de masse
   - 5.2. La déflexion magnétique
   - 5.3. Le filtre de Wien (filtre de vitesse)
   - 5.4. Le cyclotron

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME**
				Situation d’apprentissage Des élèves en classe de Terminale C au Lycée Moderne de Koumassi ont assisté à un documentaire diffusé par RTI2. Ce documentaire montre un groupe d’élèves chinois se faisant expliquer l’utilité du tube à déflexion dans l’industrie de l’armement et l’action d’un aimant sur un faisceau d’électrons. Afin de bien assimiler les explications données dans le documentaire, ces élèves et leurs camarades de classe décident de définir la force de Lorentz, de déterminer les caractéristiques de la force de Lorentz et d’analyser le mouvement d’une particule chargée dans un spectromètre de masse, dans un cyclotron et dans un filtre de vitesses. 1. Rappels sur le produit vectoriel Soit $\vec{u}$ et $\vec{v}$ deux vecteurs de l’espace. On appelle produit vectoriel de $\vec{u}$ et $\vec{v}$, le vecteur $\vec{w}$ tel que : $$\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v}$$  Ses caractéristiques sont : - **Direction** : perpendiculaire aux plans formés par $\vec{u}$ et $\vec{v}$. - **Sens** : tel que le trièdre $(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ soit direct. - **Norme** : $\|\vec{w}\| = \|\vec{u}\|.\|\vec{v}\|.\lvert sin\alpha \rvert$ NB : le sens du produit vectoriel est défini par **la règle de la main droite** ou une autre méthode (bonhomme d’Ampère…) Remarque : - Si $\vec{u} \parallel \vec{v}$ alors $sin\alpha = 0 \Rightarrow \vec{w} = \vec{0}$ - Si $\vec{u} \perp \vec{v}$ alors $sin\alpha = \pm 1 \Rightarrow w = u \times v$

2. FORCE MAGNÉTIQUE OU FORCE DE LORENTZ

2.1. Définition

Une particule de charge q, se déplaçant à la vitesse $\vec{v}$, dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme subie une force magnétique ou de Lorentz $\vec{F}$; et a pour expression

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

2.2. Caractéristiques de la force magnétique $\vec{F}$

- **Direction** : perpendiculaire au plan formé par le vecteur vitesse $\vec{v}$ et le vecteur champ magnétique $\vec{B}$.
- **Sens** : son sens est tel que le trièdre $(q.\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$ soit direct et il est déterminé par l'observateur d'ampère ou la règle des trois doigts de la main droite.
- **Point d'application** : la particule supposée ponctuelle.
- **Intensité** : $F = |q|.v.B.\sin.(q.\vec{v}, \vec{B})$ pour $\vec{v} \perp \vec{B}$ on a : $\mathbf{F = |q|.v.B}$

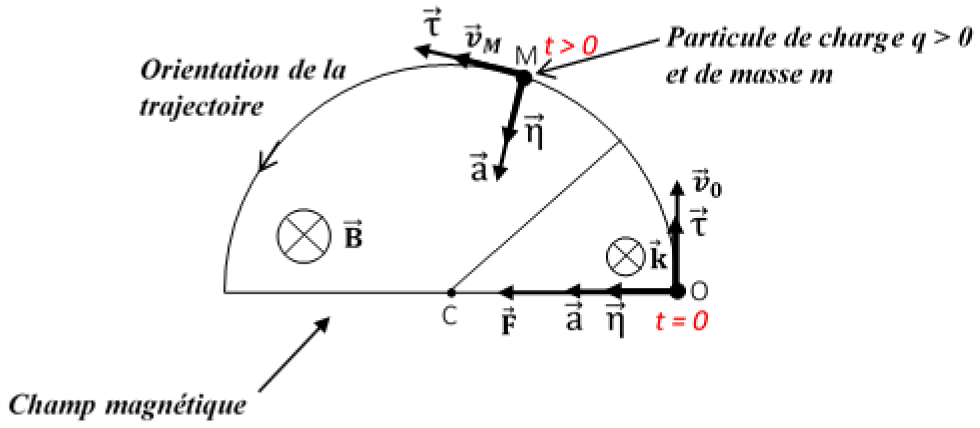
F : Newton (N)
v : mètre /seconde (m/s)
B : en Testla (T)
q : en coulomb (C)

3. TRAJECTOIRE D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

Problème

- ***Cas d'où la vitesse initiale v_0 est perpendiculaire au champ magnétique $\vec{B}$***

À l'instant initiale $(t = 0)$ une particule de charge $(q > 0)$ et de masse m pénètre avec une vitesse v_0 par un point O dans une région de l'espace où règne un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme. On chosit $\vec{v}_0 = v_0.\vec{\imath}$, $\vec{B} = B.\vec{k}$



Nous étudions le mouvement de la particule à l'intérieur du champ magnétique uniquement.

1. **Étude dynamique du mouvement**
   - **Système** : particule chargée de masse (m)
   - **Référentiel** : terrestre supposé Galiléen
   - **Repère** : $(O, \vec{\tau}, \vec{\eta}, \vec{k})$
   - **Bilan des forces extérieures**

$\vec{P} = m.\vec{g}$: le poids de la particule

$\vec{F} = q.\vec{v} \wedge \vec{B}$: la force magnétique

   - **Théorème du centre d'inertie**

T.C.I : $\vec{F} = m.\vec{a}$ car $\vec{F} \gg \vec{P}$ d'où $\vec{F} = q.v_0.B.\vec{n}$ (***car*** $\vec{v}_0$ ***est perpendiculaire à*** $\vec{B}$)

$m.a.\vec{n} = q.v_0.B.\vec{n}$ alors

$$\boxed{a = \frac{|q|}{m} v_0.B}$$

2. **Étude du mouvement**

2.1. **Une trajectoire plane**

$a_k = \frac{dV_k}{dt} = 0$ alors $v_k = v_{0k} =$ constante ; Donc il n'y a pas de mouvement suivant $\vec{k}$.

Le mouvement de la particule est plan et il s'effectue dans le plan (xoy) perpendiculaire à $\vec{B}$ puis contenant la vitesse initiale $\vec{v}_0$.

2.2. Un mouvement circulaire

$\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{v} \wedge \vec{B} = \frac{q}{m} v_0.B.\vec{n}$ ($\vec{v}$ perpendiculaire à $\vec{B}$)

Dans la base de Frenet on a : $\begin{cases} \vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v_0}{r}\vec{\eta} \\ \vec{a} = \frac{q}{m}\ v.B.\vec{\eta} \end{cases}$; par identification on a :

$\frac{v_0}{R} = \frac{q.v_0.B}{m}$ d'où $R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$ = ***(m, q, B, v_0 = constante)***

Donc le mouvement de la particule est circulaire.

2.3. Un mouvement uniforme

$a_T = \frac{dV_T}{dt} = 0$ ce qui implique que $v_T = v$ = constante

Donc le mouvement de la particule est uniforme.

2.4. Conclusion : nature du mouvement

Une particule chargée entrant dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme avec une vitesse v_0 perpendiculaire au champ $\vec{B}$ décrit un mouvement circulaire et uniforme dans un plan contenant la vitesse v_0.
Le rayon de la trajectoire est donné par l'expression : $R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$

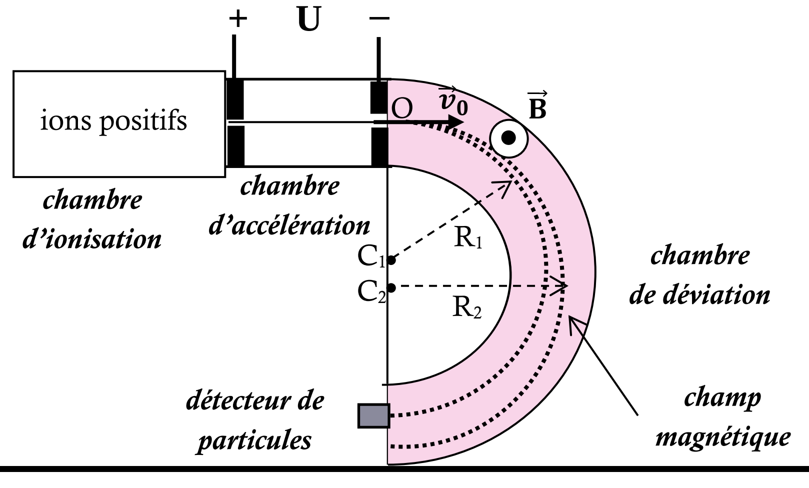
- Cas particuliers

Si l'angle entre v_0 et $\vec{B}$ est différent de 0° et 90°, la particule décrit un mouvement uniforme hélicoïdal (trajectoire d'hélice)

4. APPLICATIONS

1. Spectrographe de masse

Le spectrographe de masse sert à séparer les isotopes d'un même élément. Il est formé de trois chambres où règne un vide très poussé.



- ***Chambre d'ionisation*** : On y produit des ions de même charge q mais de masses m_1 et m_2 différents.
- ***Chambre d'accélération*** : A travers une première fente, les ions pénètrent dans cette chambre avec une vitesse négligeable. Ils sont accélérés par la tension $U > 0$ et sortent avec une vitesse $v_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{2|q|.U}}{\boldsymbol{m}}}$
- ***Chambre de déviation :*** Les ions sont déviés par un champ magnétique $\vec{B}$ et ont pour trajectoire des demi-cercles dont les rayons R_1 et R_2 dépendent des masses m_1 et m_2 ; ce qui donne $R_1 = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{B}}\sqrt{\frac{\mathbf{2.m_1U}}{\mathbf{|q|}}}$ et $R_2 = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{B}}\sqrt{\frac{\mathbf{2.m_2U}}{\mathbf{|q|}}}$

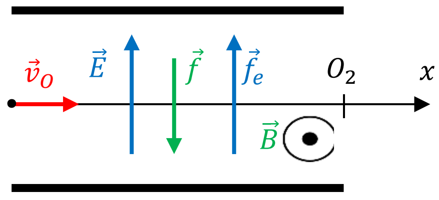
Ainsi $\frac{\boldsymbol{R_1}}{\boldsymbol{R_2}} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{m_1}}{\boldsymbol{m_2}}}$; $\boldsymbol{R_1 > R_2 \Rightarrow m_1 > m_2}$: La particule de plus grande masse décrit le cercle de plus grand rayon donc **le rayon de la trajectoire augmente avec la masse.**

- <u>**Le détecteur :**</u> il recueille les particules.

2. <u>Filtre de vitesse ou filtre de Wien</u>

C'est un dispositif qui permet de séparer les isotopes d'une même source en fonction de leur vitesse. Ces ions pénètrent en O_1 avec des vitesses différentes

On crée simultanément dans le filtre un champ électrique uniforme vertical $\vec{E}$ et un champ magnétique uniforme horizontal $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de figure.

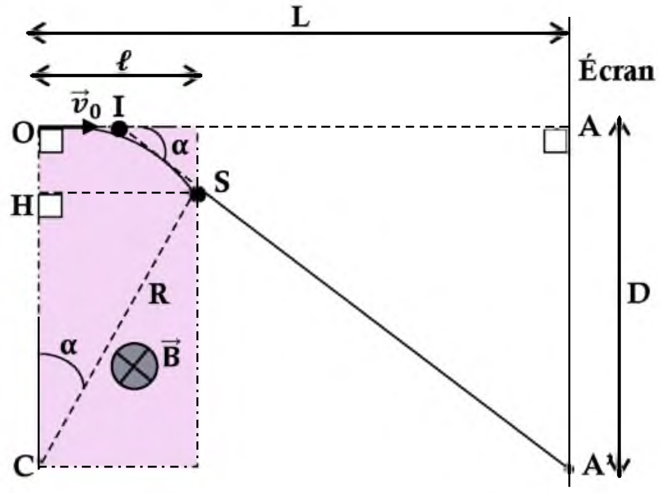


Si l'ion entre dans le filtre avec une vitesse :

- $\boldsymbol{v_0} = \frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{B}}$, il n'est pas dévié
- $\boldsymbol{v_1 > v_0}$, (**fe** $<$ fm), il est dévie dans le sens de $\vec{f}_m$
- $\boldsymbol{v_2 < v_0}$, (**fe** $>$ fm), Il est déviée dans le sens de $\vec{f}_e$

3. Déflexion magnétique

Un faisceau de particule de charge q<0 et de masse m pénètre en O dans une région de largeur l où règne un champ $\vec{B}$ uniforme avec une vitesse $\vec{v}_0$ perpendiculaire et dirigé suivant OA. Ils arrivent en A' sur un écran E.



- **Définition**

La déflexion magnétique D est la distance entre le point d'impact de la particule sur l'écran E et l'axe perpendiculaire à l'écran porté par $\vec{v}_0$.

- **Expression**

soit $\alpha = (\overrightarrow{CO}, \overrightarrow{CS}) = (\overrightarrow{IA}, \overrightarrow{IA'})$: la déviation angulaire et $sin\alpha = \frac{HS}{CS} = \frac{\ell}{R}$

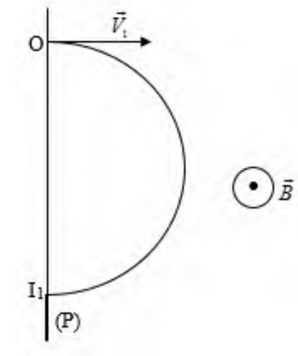
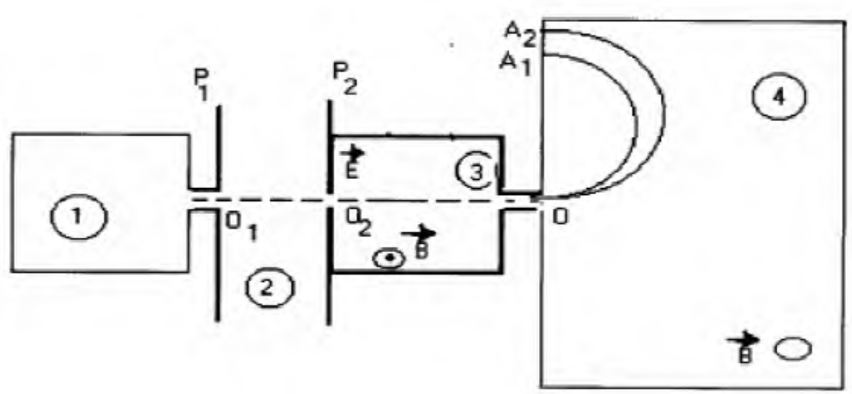
On a $\tan\alpha = \frac{AA'}{IA} = \frac{D}{L}$; (pour α très petit $\sin\alpha = \tan\alpha$; et $L - \frac{\ell}{2} = L$) ; d'où $\frac{\ell}{R} = \frac{D}{L}$

La déflexion magnétique est donc : $D = \frac{L \times \ell}{R}$ or $R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$

$$\boxed{D = \frac{|q|}{m.v_0} \times B.L.\ell}$$

N.B : la mesure de la déflexion magnétique D permet de calculer la charge massique $\frac{q}{m}$

Activité d'application 2

				Un ion ${}^{20}_{10}Ne^{2+}$ de masse m_1 =3,34.10^{-26}.kg de vitesse v = 1.96.10^5 m.s^{-1} pénètre en O dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire à $\vec{v}$ et de valeur B = 0,2 T .Il décrit un demi-cercle et revient sur la paroi d'entrée (P) où son impact est repéré par une plaque photographique en un point I_1. On donne e = 1,6.10^{-19} C.  1-Calculer l'intensité de la force $\vec{f}$ qui s'exerce sur la particule. 2-Déterminer le rayon de la trajectoire. 3-Représenter la trajectoire et le vecteur force $\vec{f}$ en O et en M (M étant un point quelconque de la trajectoire). Echelle : 1cm pour R = 2 cm et 4 cm pour 10^{-14} N 4-Un autre ion ${}^{22}_{10}Ne^{2+}$ de masse m_2 = 3,67.10^{-26} kg pénètre dans le champ en O avec la même vitesse v et recueilli sur la plaque (P) en I_2 tel que $OI_2 > OI_1$. 4.1-Exprimer la distance D = I_1I_2 en fonction de v, e, B, m_1 et m_2. 4.2-Calculer D. **SITUATION D'EVALUATION** Au cours d'une séance de travaux dirigés, le professeur de physique-chimie de la terminale D1 soumet à ses élèves l'exercice ci-dessous portant sur la séparation des isotopes ^{79}Br et ^{81}Br à l'aide d'un spectrographe de masse. 

				Le mouvement des ions se fait dans le vide et on néglige leur poids devant celui des autres forces. On donne : $e = 1{,}6.10^{-19}$ C ; $m_1 = 79.m_p$; $m_2 = 81.m_p$ et $m_p = l{,}67.10^{-27}$ Kg Les atomes Br sont d'abord ionisés dans la chambre d'ionisation (chambre 1). Les ions formés portent alors la même charge q = - e et sortent de cette chambre en un point O_1 avec une vitesse de valeur négligeable. Puis ils sont accélérés dans la chambre d'accélération (chambre 2) par la tension $U_{P_1P_2} = V_{P_1} - V_{P_2}$ appliquées entre les plaques P_1 et P_2 et arrivent en O_2 avec des vitesses de même direction et de même sens mais ayant des valeurs différentes. Afin de sélectionner une seule vitesse v_0 en 0, on impose aux ions, dans le filtre de vitesse (chambre 3), un champ magnétique $\vec{B}$ et un champ électrique $\vec{E}$ comme l'indique la figure. Les ions ainsi sélectionnés arrivent théoriquement avec la vitesse v_0 dans la chambre de déviation (chambre 4) où ils sont soumis uniquement au champ magnétique précédent. Tu es désigné pour la résolution de cet exercice. 1. Montre que l'énergie cinétique est la même pour tous les ions en O_2. 2. 2.1. Détermine le sens de $\vec{E}$ pour que la force électrique $\vec{F_e}$ soit opposée à la force magnétique $\overrightarrow{F_m}$. 2.2. Montre que la vitesse au point O est $v_0 = \frac{E}{B}$. Calculer v_0 si E = 2000 V/m et B = 0,05 T 3. 3.1. Précise le sens du vecteur $\vec{B}$ pour que les ions parviennent en A_1 et A_2. 3.2. Montre que la trajectoire des ions dans cette chambre est circulaire uniforme. 3.3. Déduis en l'expression des rayons R_1 et R_2 des trajectoires en fonction de B, v_0, e, m_1 et m_2. 3.4. Calcule la distance entre les points A_1 et A_2. Précise à quel ion correspond chaque point.

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 4 : **AUTO-INDUCTION**

Durée : 4 heures

HABILETES	CONTENU
Définir	le flux propre.
Connaître	l'expression du flux propre
Expliquer	le phénomène d'auto-induction.
Connaître	la loi de l'auto-induction.
Déterminer	l'inductance L d'un solénoïde.
Connaître	l'unité d'inductance.
Connaître	les expressions : - de la tension aux bornes d'une bobine. - de l'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine.
Déterminer	- la force électromotrice d'auto-induction. - la tension aux bornes d'une bobine. - l'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine.
Appliquer	la loi de l'auto-induction.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. Comportement d’une bobine dans un circuit : le phénomène d’auto-induction
    1.1. Expérience 1 : Retard à l’allumage d’une lampe
        1.1.1. Schéma du montage
        1.1.2. Observations
        1.1.3. Conclusion
    1.2. Expérience 2 : visualisation du phénomène à l’oscilloscope
        1.2.1 Montage expérimental
        1.2.2. Analyse des oscillogrammes
        1.2.3. Conclusion
2. Flux propre et inductance d’une bobine
    2.1. Flux propre d’une bobine
    2.2. L’inductance d’une bobine
3. Force électromotrice d’auto-induction
    3.1. Expression de l’auto-induction
    3.2. Loi d’Ohm aux bornes d’une bobine
        3.2.1. Cas d’une Bobine idéal
        3.2.2. Cas d’une bobine réelle
    3.3. Vérification expérimentale
        3.3.1. Montage
        3.3.2. Observation
        3.3.3. Vérification de l’expression de la f.é.m.
4. Energie électromagnétique emmagasinée dans la bobine
    4.1. Puissance reçue par la bobine
    4.2. Expression de l’énergie emmagasinée dans la bobine

<table>
<tr><th>Moments didactiques/ Durée</th><th>Stratégies pédagogiques</th><th>Activités Professeur</th><th>Activité élèves</th><th>Trace écrite</th></tr>
<tr><td>Présentation</td><td>Questions-réponses</td><td>Rappels/ pré requis</td><td>Les élèves répondent aux questions</td><td>

AUTO-INDUCTION

</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>

Situation d'apprentissage

En regardant un documentaire sur la chaîne Discovery science, une élève en classe de Tle C au Lycée Ste Marie de Cocody apprend que le retard mis par certaines lampes fluorescentes à s'allumer normalement est dû au fait qu'elles contiennent une bobine.

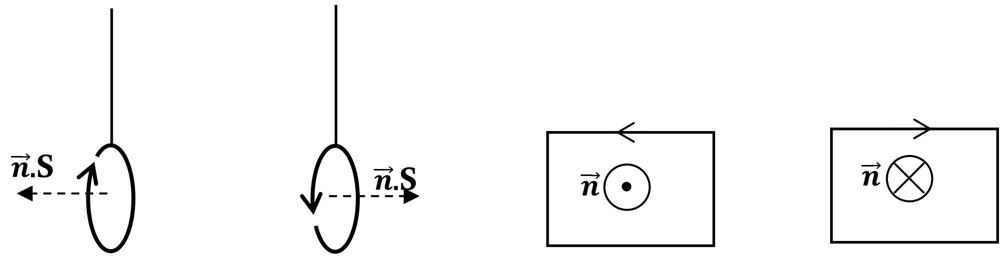
En classe, toute contente et émue d'avoir appris quelque chose de nouveau elle partage l'information avec ses camarades. Ensemble, elles décident d'expliquer le phénomène d'auto-induction, de déterminer la f-é-m d'auto-induction, la tension aux bornes d'une bobine, l'énergie emmagasinée dans une bobine et d'appliquer la loi de l'auto-induction.

1. NOTION DE FLUX MAGNÉTIQUE

1.1. Vecteur surface

Considérons un circuit fermé plan orienté (on choisit un sens positif pour le contour de la surface). On appelle vecteur surface $\vec{S} = S.\vec{n}$ caractérisé par :

- son point d'application : le centre de la surface
- direction : perpendiculaire à la surface
- sens : déterminé par la règle de la main droite : les doigts courbés indiquent le sens + et le pouce indique le sens de $\vec{S}$.
- norme : la valeur S de la surface (en m^2)



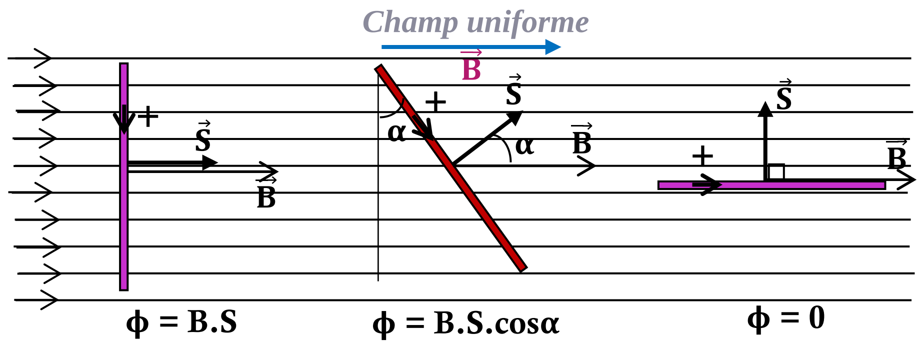
</td></tr>
</table>

1.2. Définition du flux magnétique

Le flux magnétique à travers un contour délimité par une surface S est le nombre de lignes de champ qui traverse ce contour fermé. Son expression est :

$$\boldsymbol{\phi = \vec{B}.\vec{S} = B.S\times\cos\theta \text{ ; avec } \theta = (\vec{B}, \vec{S}) \text{ avec } \vec{S} = S.\vec{n}}$$

Le flux magnétique s'exprime en Weber (symbole : Wb)



Remarque :

Si le champ magnétique $\vec{B}$ est ∥ à $\vec{n}$S alors $\boldsymbol{\phi = B.S}$

et si la surface est délimitée par un circuit bobiné comportant N spires

on a : $\boldsymbol{\phi = N.B.S}$

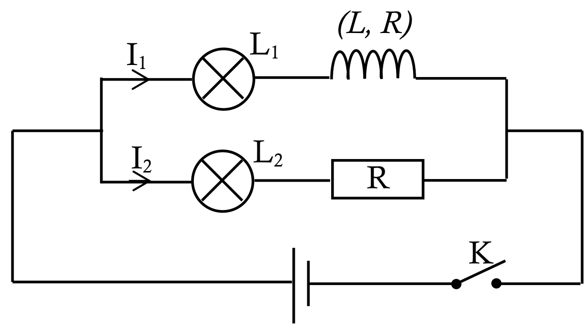
2. MISE EN ÉVIDENCE EXPÉRIMENTALE DU PHÉNOMÈNE D'AUTO-INDUCTION

2.1. Expérience

2.1.1. Montage

Dans le montage suivant les deux lampes sont identiques

Le conducteur ohmique et la bobine ont la même résistance.



2.1.2. Observations

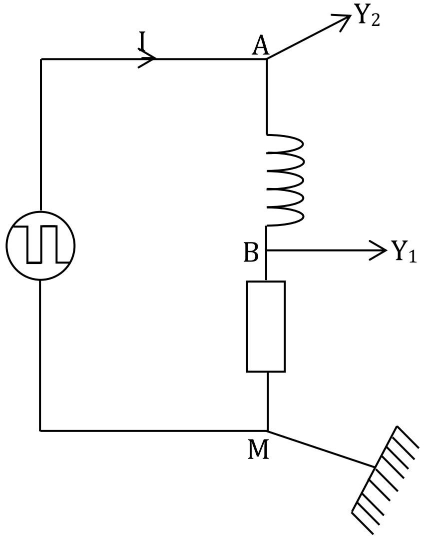
Lorsqu'on ferme l'interrupteur K la lampe L_2 s'allume instantanément mais L_1 s'allume progressivement puis fini par avoir le même éclat que L_2.
Lorsqu'on ouvre K, la lampe L_2 s'éteint très tôt alors que L_1 s'éteint progressivement.

2.1.3. Conclusion

La bobine est donc la cause du retard à l'établissement et à l'annulation du courant dans la branche 2.

2.2. Visualisation du phénomène à l'oscilloscope

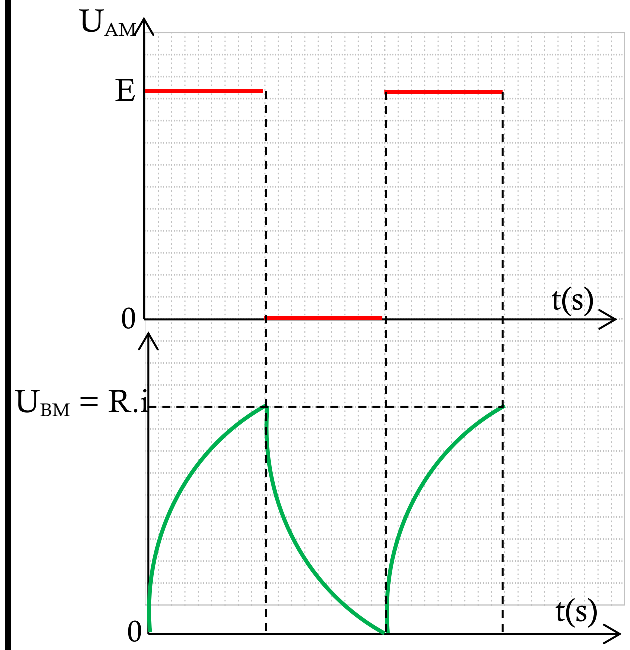
2.2.1. Montage



la voie Y_1 visualise les variations de U_{BM} aux bornes du conducteur Ohmique, donc de l'intensité du courant

la voie Y_2 visualise la tension rectangulaire U_{AM} aux bornes du générateur.

2.2.2. Visualisation

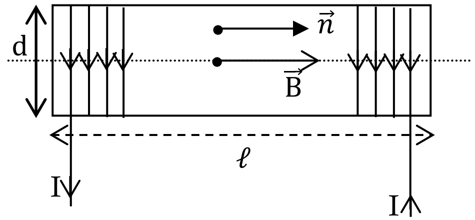


Lorsque la tension aux bornes du générateur est maximale, l'intensité du courant n'atteint pas immédiatement sa valeur maximale.

De même si la tension est nulle, le courant i diminue progressivement avant de s'annuler

3. CARACTERISTIQUES DE L'AUTO INDUCTION

3.1. Flux propre d'une bobine



La bobine est constituée de N spires, le flux du champ magnétique à travers cette bobine est son flux propre.

$$\boxed{\phi_P = N.B.S}$$

3.2. Inductance d'une bobine

On montre que le flux propre d'une bobine est proportionnel à l'intensité I du courant qui le traverse. $\boldsymbol{\phi_P = L.I}$ (L est l'inductance de la bobine, une grandeur caractéristique propre à chaque bobine)

$$\begin{cases} \phi_P = L.I \\ \phi_P = N.B.S = \dfrac{\mu_0 N^2 S}{\ell} I \end{cases} \quad \text{donc} \quad \boxed{L = \dfrac{\mu_0 N^2 S}{\ell}}$$

Surface S (en m²)
ℓ en mètre (m)
L en Henrys (H)

3.3. Force électromotrice d'induction

Lorsque le flux propre à travers une bobine varie, il apparait à ses bornes une f.é.m d'auto-induction notée e.

$e = -\dfrac{d\phi}{dt}$; $\phi_L = L.i$ donc $e = -L.\dfrac{di}{dt}$ e s'exprime en volt (V)

N.B : e et i ont toujours le même sens.

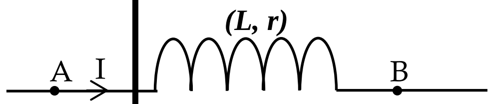
3.4. Courant d'auto-induction

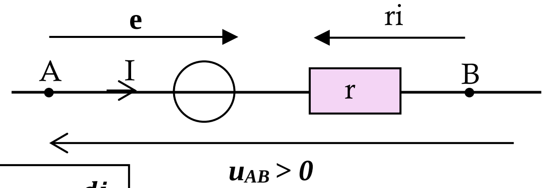
Dans un circuit fermé de résistance R l'intensité du courant d'auto-induction est :

$i = \dfrac{e}{R}$; $e = -\dfrac{d\phi}{dt}$ d'où $\boxed{i = -\dfrac{1}{R}\dfrac{d\phi}{dt}}$

3.5. Tension aux bornes d'une bobine

La bobine est un récepteur donc la tension à ses bornes est positive en convention récepteur : Son symbole et son schéma équivalent est :





$$\boxed{u_{AB} = ri - e \text{ ; soit } u_{AB} = ri + L\frac{di}{dt}}$$

Remarque :

- Dans le cas où la bobine est une inductance pure, sa résistance est nulle et la tension à ses bornes s'écrit : $\mathbf{u_{AB} = L\dfrac{di}{dt}}$

- En régime permanent, le courant est constant (i =cte), la tension aux bornes de la bobine s'écrit $\mathbf{u_{AB} = ri}$: la bobine se comporte comme un conducteur ohmique.

4. <u>ÉNERGIE EMMAGASINÉE DANS UNE BOBINE</u>

4.1. <u>Puissance reçue par une bobine</u>

La puissance reçue par la bobine est $p = u_{AB} \times i$

or $u_{AB} = ri + L\frac{di}{dt}$; $p = (ri + L\frac{di}{dt}).i$;

$$\boxed{p = ri^2 + Li\frac{di}{dt} = P_{th} + P_m}$$

4.2. <u>Énergie emmagasinée</u>

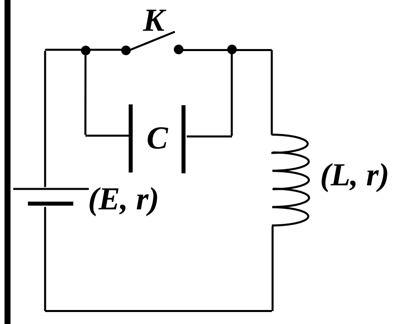
L'énergie emmagasiné dans une bobine est : $E = ri^2t + \frac{1}{2}Li^2$ mais pour une bobine d'inductance pure (r =0) on a :

$P_m = Li\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}Li^2) = \frac{dE}{dt}$; par analogie $\boxed{E = \frac{1}{2}Li^2}$

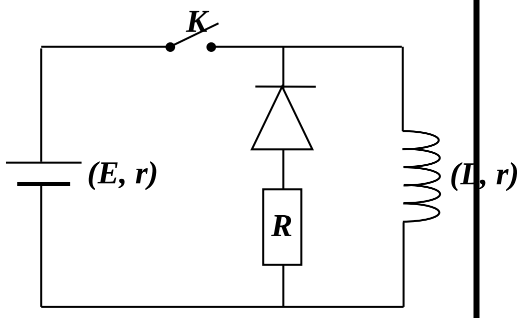
4.3. <u>Étincelle de rupture</u>

Lorsqu'on ouvre l'interrupteur d'un circuit contenant une bobine l'energie magnétique libérée par celle-ci se reporte aux bornes de l'interrupteur et fait apparaitre de l'étincelle.

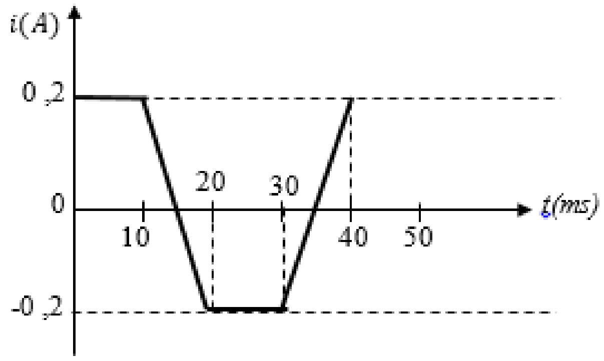
L'étincelle peut détériorer les contacts et l'isolation de cette interrupteur. Pour prévenir ce desagrément, on réalise des dérivations qui n'interviennent pas dans le fonctionnement normal du circuit.



À l'ouverture du circuit, l'énergie libérée par la bobine est stockée par le condensateur C



À l'ouverture du circuit, l'énergie libérée par la bobine est dissipée par la résistance R

				SITUATION D'EVALUATION 1 Au cours d'une séance de travaux dirigés, un groupe d'élèves de la TD1 du Lycée Moderne de Bonon étudie la tension aux bornes d'un solénoïde parcouru par divers courants  Le solénoïde de longueur ℓ = 50cm et de diamètre d = 5cm de résistance r = 2 Ω comporte N = 1000 spires jointives. • *Expérience 1* : le solénoïde est parcouru par un courant d'intensité I = 2 A. • *Expérience 2* : ils utilisent un courant dont l'intensité varie en fonction du temps (voir figure ci-contre) On prendra π^2 = 10 et $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ SI Etant de ce groupe tu es désigné pour déterminer ces différentes tensions 1. Calcule l'inductance L du solénoïde. 2. Détermine, au cours de la première expérience : 2.1. L'intensité du champ magnétique $\vec{B}$ à l'intérieur du solénoïde. 2.2. La tension aux bornes du solénoïde. 2.3. L'énergie magnétique emmagasinée dans le solénoïde 3. Détermine, au cours de la deuxième expérience, dans chaque phase : 3.1. La f.é.m. d'auto-induction e. 3.2. L'intensité $i(t)$ du courant. 3.3. La tension aux bornes de la bobine. **SITUATION D'EVALUATION 2** Au cours d'une séance de travaux pratiques au laboratoire du lycée moderne 2 de Daloa, Le professeur physique-chimie met à la disposition d'un groupe d'élèves de la terminale C, un solénoïde de longueur ℓ = 41,2cm comportant N = 400 spires de rayon r = 2,5cm et de résistance négligeable. Ces élèves décident de comprendre le comportement du solénoïde et de déterminer expérimentalement la valeur son l'inductance.

- Dans une première étape, ils réalisent une expérience dont le schéma du montage et la description sont donnés ci-dessous (figure 1). Lorsque les élèves ferment de l'interrupteur K, Ils observent que la lampe L_1 s'allume avec un léger retard par rapport à L_2.

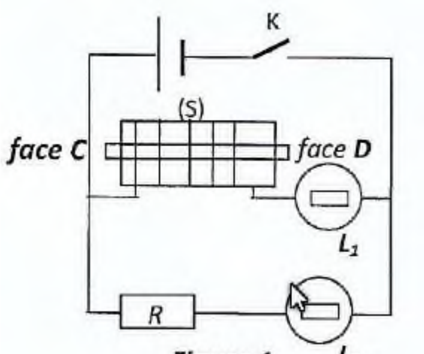


Figure 1

- Dans une deuxième étape, ils réalisent l'expérience dont le schéma du montage et la description sont donnés ci-dessous (figure 2). Le conducteur ohmique a une résistance R = 2kΩ. Ils observent sur l'écran de l'oscilloscope bicourbe la tension u_1 aux bornes du conducteur ohmique et u_2 aux bornes du solénoïde.

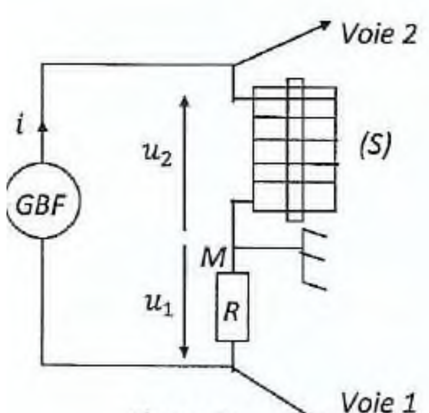
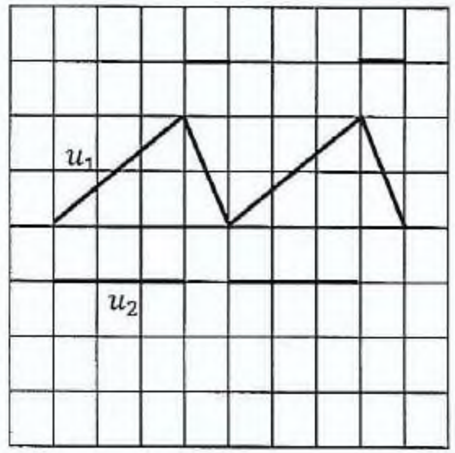


Figure 2



Joins-toi au groupe pour interpréter le comportement de la lampe L_1 et pour déterminer la valeur expérimentale du solénoïde.

1. Interprète le phénomène observé dans la première expérience. Donne son nom.
2. Détermine théoriquement l'inductance L_{th} du solénoïde.
3. Ecris relation entre la tension u_1 et la tension u_R selon la loi d'ohm aux bornes du conducteur ohmique et exprime u_1 en fonction de R et i.

				4. Ecris la relation entre la tension u_2 et la tension u_L selon la loi d'ohm aux bornes du solénoïde et exprime u_2 en fonction L et $\frac{di}{dt}$ puis en fonction L, R et $\frac{du_1}{dt}$. 5. Les réglages de l'oscilloscope sont : voie 1 : 3V/div ; voie 2 : 1mV/div ; base de temps : 1ms/div. 5.1 détermine dans l'intervalle [0 ; 3ms] la valeur de k = $\frac{du_1}{dt}$; 5.2 donne dans le même intervalle, la valeur de u_2 et déduis la valeur expérimentale de l'inductance Lexp du solénoïde. Compare Lexp et Lth

Niveau : Tle D

THEME 1 : MECANIQUE

LEÇON 10 : OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT LC

Durée : 6 heures

HABILETES	CONTENUS
Définir	un oscillateur electrique
Interpréter	la charge et la décharge d'un condensateur.
Déterminer	l'équation différentielle d'un oscillateur electrique LC
Déterminer	• la pulsation propre ; • la période propre ; • la fréquence propre. • l'amplitude • la phase à l'origine des dates
Déterminer	l'énergie emmagasinée dans un circuit LC
Montrer	la conservation de l'énergie totale du circuit LC
Etablir	l'analogie oscillateur mécanique-oscillateur électrique
Expliquer	l'influence de la résistance interne de la bobine sur les oscillations électriques.
Analyser	un montage à ''résistance négative''
Expliquer	l'entretien des oscillations avec un circuit intégré linéaire

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

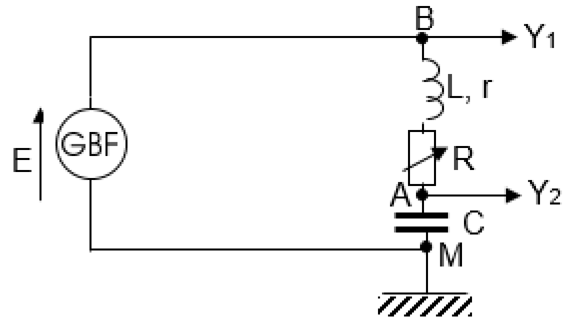
-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

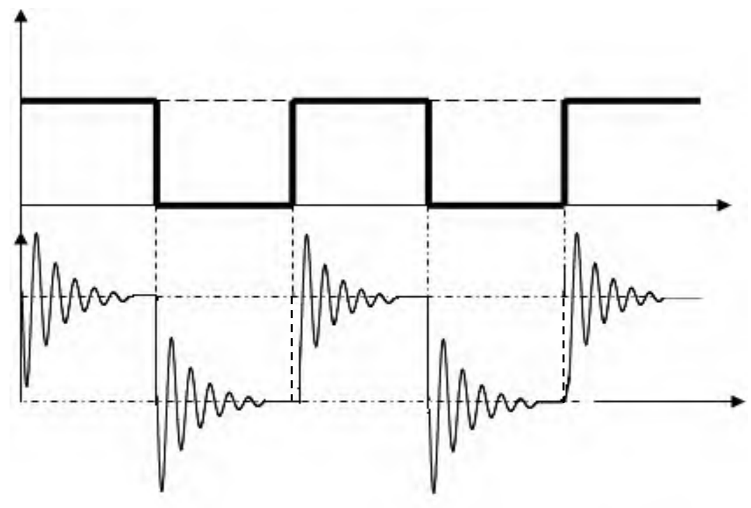
STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1. Décharge d'un condensateur dans une bobine
   1.1. Expérience
   1.2. Visualisation à l'oscilloscope
   1.3. Interprétation
   1.4. Influence de la résistance totale du circuit
   1.5. Conclusion
2. Étude théorique d'un circuit LC idéal
   2.1. Équation différentielle du circuit LC
   2.2. Solution de l'équation différentielle
   2.3. Expression de l'intensité i en fonction du temps
   2.4. Bilan énergétique
      2.4.1. Expression de l'énergie
      2.4.2. Illustration graphique du bilan énergétique
3. Entretien des oscillations
   3.1. Introduction d'un générateur auxiliaire
   3.2. Réalisation pratique d'un dispositif d'entretien
4. Analogie oscillateur mécanique – oscillateur électrique

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT LC**
				Situation d'apprentissage Au cours d'une journée carrière au lycée Moderne d'ABOISSO, les élèves de la Tle D s'entretiennent avec un électronicien. Ce dernier leur apprend qu'il est possible de réaliser des oscillations électriques libres. Les élèves sont perplexes car jusqu'à présent ils ne connaissent que des oscillations mécaniques libres. Pour se rassurer, de retour en classe, ils entreprennent de définir un oscillateur électrique, de déterminer l'équation différentielle d'un oscillateur électrique LC et d'établir l'analogie oscillateur mécanique-oscillateur électrique. 1. Décharge d'un condensateur dans une bobine 1.1. Expérience  DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

1.2. Visualisation à l'oscilloscope



1.3. Interprétation

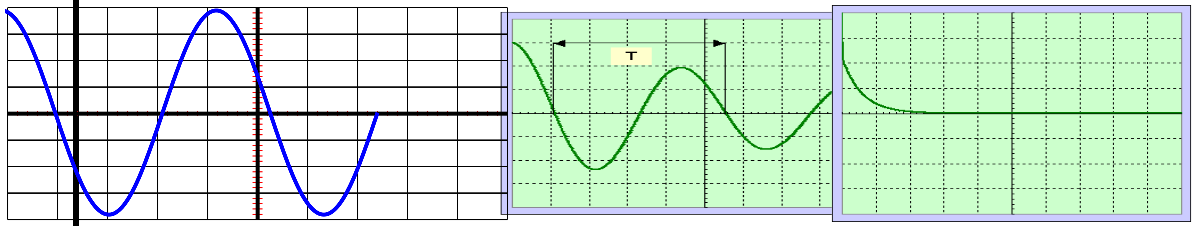
- **De 0 à T/2** : La tension aux bornes du circuit est constante et égale à E. Le condensateur se charge progressivement. La tension $U_{AM} = u_C$ atteint la valeur E en oscillant. L'amplitude des oscillations décroît.
- **De $T/2 \leq t < T$** : $U_{GBF} = 0$, le condensateur se décharge. La tension U_{AM} s'annule après quelques oscillations d'amplitude décroissante.

Dans les deux cas, les oscillations sont dites **amorties.**

Remarque *: Les oscillations électriques sont dites libres, car elles persistent même quand la tension aux bornes du générateur est nulle et leur fréquence est indépendante de celle du générateur.*

1.4. Influence de la résistance totale du circuit

Faisons varier la résistance totale R_t du circuit ; on obtient les oscillogrammes suivants :



Cas(a) cas(b) cas(c)

- Si R_t est négligeable, les oscillations sont non amorties : c'est le **régime périodique**(a)
- Si R_t est faible, les oscillations sont amorties : c'est le régime **pseudo-périodique**(b)
- Si R_t est très grande, pas d'oscillation. C'est le **régime apériodique**(c)

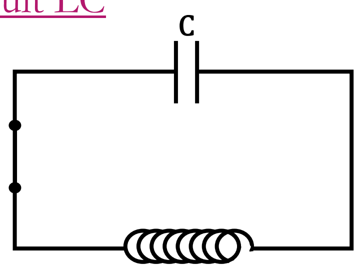
1.5. Conclusion

La décharge d'un condensateur dans un circuit inductif donne naissance à des :

- Oscillations sinusoïdales si la résistance du circuit est négligeable.
- Oscillations apériodiques amorties quant R augmente.

2. Étude théorique d'un circuit LC idéal

2.1. Équation différentielle du circuit LC



Loi des mailles donne : $U_L + U_C = 0$

Or $u_L = L\dfrac{di}{dt}$ et $u_C = \dfrac{q}{C}$

On obtient alors : $L\dfrac{di}{dt} + \dfrac{q}{C} = 0$

NB : le condensateur est préalablement chargé.

				$L\ddot{q}+\frac{q}{C}=0$ (1) avec $i=\ddot{q}$ Soit $\ddot{q}+\frac{1}{LC}q=0$ Équation différentielle de la charge d'un condensateur. **2.2. Solution de l'équation différentielle** Cette équation est celle d'un oscillateur électrique harmonique. Elle admet pour solution : $$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$ Où Q_m : Valeur maximale ou amplitude de la charge φ : La phase à l'origine $\omega_0 t + \varphi$: La phase à un instant t $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$: La pulsation propre La période propre est : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$ La fréquence propre est : $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ***Remarque*** *:* *Q_m et φ se déterminent à l'aide des conditions initiales.* **Activité d'application 1** Un condensateur de capacité $C = 30\mu F$ et de charge $Q = 4.10^{-4}C$ est connecté à l'instant $t = 0\ s$ aux bornes d'une bobine d'inductance $L = 0{,}1H$ et de résistance négligeable. L'expression de la charge q(t) du condensateur en fonction du temps est alors de la forme $q(t)=Q_m\cos(\omega_0 t+\varphi)$. Déterminer Q_m, ω_0 et φ

2.3. Expression de l'intensité i en fonction du temps

Adoptons les conditions initiales suivantes : à $t = 0$, $q_A = Q_m$ et $i = 0$ avec $Q_m > 0$

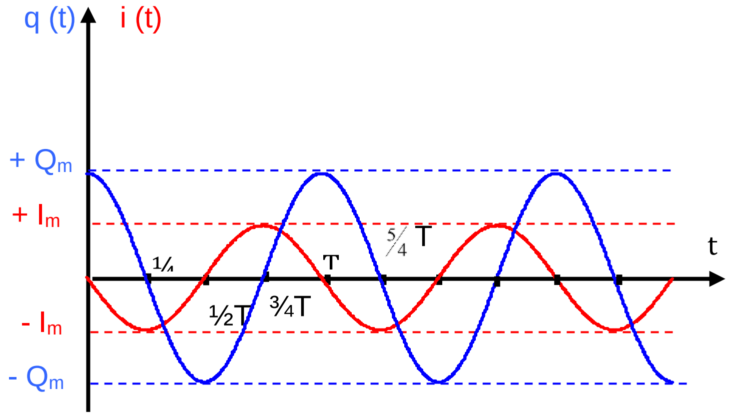
On a : $q = Q_m \cos\varphi = Q_m \Rightarrow \cos\varphi = 1$; $\varphi = 0$

Ainsi: $q = Q_m \cos \omega_0 t$

Par la suite : $i = \ddot{q} = - \omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t) = \omega_0 Q_m \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$

i et q sont en **quadrature de phase**. i est en avance de $\frac{\pi}{2}$.

- Illustration graphique



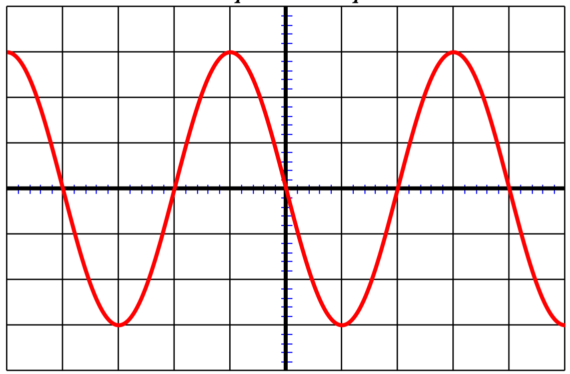
· Quand q atteint son amplitude, i =0 et vice versa. On dit que i et q sont en quadrature de phase

Application 2

La courbe ci – contre représente la décharge d'un condensateur à travers une bobine idéale.

1. Détermine la période, la fréquence et la pulsation propre.
2. Calcule C pour L = 0,125 H.

Base des temps : 1 div pour 20 ms



2.4. Bilan énergétique

2.4.1. Expression de l'énergie

- **Energie emmagasinée par le condensateur**

$$E_C(t) = \frac{q^2}{2C} = \frac{Q_m^2}{2C} cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$

- **Energie emmagasinée par la bobine**

$$E_L(t) = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} LQ_m^2 \omega_0^2 sin^2((\omega_0 t + \varphi) = \frac{1}{2} LI_m^2 sin^2((\omega_0 t + \varphi)$$

- **Energie totale du circuit**

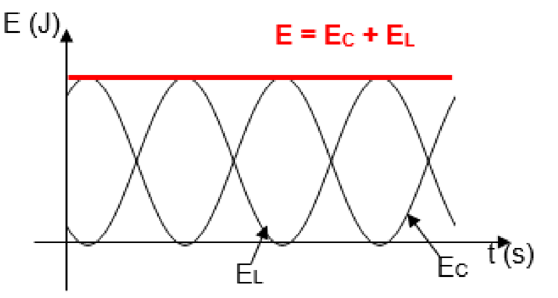
$$E_T = E_L(t) + E_C(t) = \frac{1}{2} LQ_m^2 \omega_0^2 sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{Q_m^2}{2C} cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$

$$E_T = \frac{1}{2} LQ_m^2 \omega_0^2 [sin^2(\omega_0 t + \varphi) + cos^2(\omega_0 t + \varphi)]$$

$$\leftrightarrow \boldsymbol{E_T = \frac{1}{2} LQ_m^2 \omega_0^2 = \frac{1}{2} LI_m^2 = \frac{Q_m^2}{2C} = cste}$$

L'énergie de l'oscillateur LC est **constante**.

2.4.2. Illustration graphique du bilan énergétique



ÉCHANGE ÉNERGÉTIQUE DANS UN CIRCUIT L C

Un circuit LC possède deux réservoirs d’énergie : le condensateur et la bobine entre lesquels des échanges d’énergie provoquent des oscillations électriques.

3. Entretien des oscillations

En réalité la bobine purement inductive n’existe pas. Ce qui engendre des oscillations amorties dans les circuits LC. Pour obtenir des oscillations non amorties, il faut parvenir à restituer l’énergie perdue par effet joule.

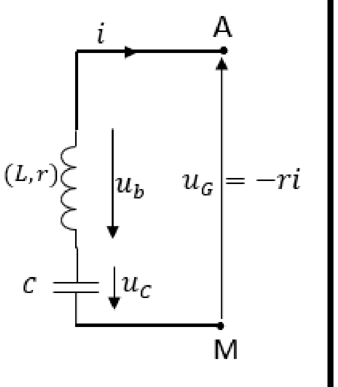
3.1. Introduction d’un générateur auxiliaire

C’est ce générateur qui va fournir au circuit la puissance perdue par effet joule du fait de la résistance de la bobine,

soit $P_J = ri^2 = P_G \rightarrow \begin{cases} u_G = ri \\ \quad ou \\ u_G = -ri \end{cases}$

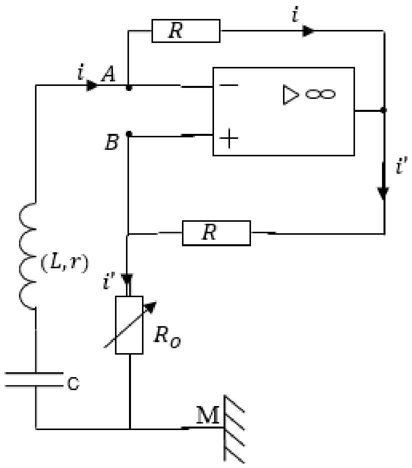
La solution est $u_G = -ri$ pour que le générateur puisse jouer son rôle.

On dit que ce générateur se comporte comme une résistance négative.



3.2. Réalisation pratique d'un dispositif d'entretien

On utilise un AO supposé idéal fonctionnant en régime linéaire. Montrons qu'il remplit parfaitement ce rôle.



Exprimons u_{AM} :

$u_{AM} = u_{AB} + u_{BM} = 0 + R_O i' \rightarrow u_{AM} = R_O i'$

Relation entre i et i'

Dans la maille ASBA,

$u_{AS} + u_{SB} + u_{BA} = 0.$

$Ri + Ri' = 0 \leftrightarrow i + i' = 0 \leftrightarrow i = -i'$;

$Donc\ \ u_{AM} = -R_O i = u_G$

Faisons varier R_O à partir de zéro.

Dès que $R_O = r$, on observe des oscillations sinusoïdales

Périodiques, de période $T = 2\pi\sqrt{LC}$

Ce sont des oscillations électriques libres entretenues.

Remarque

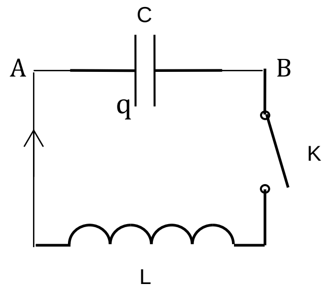
Ce dispositif est un moyen d'entretenir des oscillations électriques.

4. Analogie oscillateur mécanique – oscillateur électrique

OSCILLATEUR MÉCANIQUE	OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE
$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$	$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$
x (position)	q (charge)
$\dot{x}$ (vitesse)	i (intensité)
m (masse)	L (inductance)
k (constante de raideur)	$\frac{1}{C}$ (capacité)
f (force de frottement)	r (résistance)

SITUATION D'EVALUATION

Le club scientifique de ton établissement te sollicite pour aider un groupe d'élèves à réviser le cours sur oscillation électriques libres. Tu t'appuies alors sur un circuit électrique constitué d'un condensateur de capacité $C = 2{,}5.10^{-5}$ F préalablement chargé sous une tension U = 20 V. Ce condensateur est ensuite relié à une bobine d'inductance L = 25 mH dont on néglige la résistance. A un instant pris comme origine des temps, on ferme l'interrupteur K (figure)



L'intensité i(t) du courant est comptée positivement quand le courant circule dans le sens indiqué sur le schéma.

On appelle q(t) la charge de l'armature reliée au point A, et on précise qu'à l'instant t = 0 cette armature est chargée positivement.

1. Calcule :
   1.1. La charge initiale Q_0 du condensateur.
   1.2. L'énergie initialement emmagasinée E_0 dans le condensateur.
2. Etablis l'équation différentielle de ce circuit oscillant.
3. Calcule la pulsation propre ω_0 de ce circuit.
4. Etablis :
   4.1. Les expressions numériques des fonctions $q(t)$ et $i(t)$.
   4.2. Les expressions numériques des fonctions $E_C(t)$ et $E_B(t)$ des énergies stockées dans le condensateur et la bobine.
   4.3. La relation entre $E_C(t)$, $E_B(t)$ et la valeur E trouvées à la question 1.

Justifie la réponse.

Classe : **Tle D** Thème : **ELECTRICITE** Titre de la Leçon : **CIRCUIT RLC SERIE EN REGIME SINUSOÏDAL FORCE** Durée :**4 heures**

TABLEAU DES HABILETES ET CONTENUS

HABILETES	CONTENU
Définir	le courant alternatif sinusoïdal
Déterminer	• les tensions maximale et efficace d'une tension alternative sinusoïdale. • les intensités maximale et efficace d'un courant alternatif sinusoïdal. • la période d'une tension alternative sinusoïdale. • la phase $\lvert\varphi_{u/i}\rvert = \frac{2\pi}{T}\theta$. • l'impédance du dipôle RLC ($Z = \frac{U}{I}$).
Construire	le diagramme de Fresnel
Connaître	les expressions des grandeurs suivantes : - impédance Z ; - $\tan\varphi_{u/i}$, $\cos\varphi_{u/i}$et $\sin\varphi_{u/i}$
Utiliser	les expressions des grandeurs suivantes : - impédance Z ; - $\tan\varphi_{u/i}$, $\cos\varphi_{u/i}$et $\sin\varphi_{u/i}$.

EXEMPLE DE SITUATION

Dans la cour de l'école du Lycée Moderne de Bonon, deux élèves de la Terminale D1 échangent sur un circuit série comprenant une résistance R, une bobine L et un condensateur C en série. L'un soutient que ce circuit se comporte de la même manière en courant alternatif qu'en courant continu et que la tension et le courant sont toujours en phase en courant alternatif. L'autre soutient le contraire.
Afin de s'accorder et comprendre le comportement du dipôle RLC série en régime sinusoïdal, ils entreprennent avec leurs camarades de classe de déterminer les caractéristiques du courant alternatif, de construire le diagramme de FRESNEL et d'utiliser les expressions de l'impédance Z et de la phaseφ.

MATERIEL	SUPPORTS DIDACTIQUES
- GBF ; - Oscilloscope ; - Multimètre ; - Boites de capacités (0-15 μF) ; - Bobines d'inductance (sans noyau) ; - Boites de résistors à décades ; - Interrupteur.	Planches d'oscillogrammes **BIBLIOGRAPHIE** -Manuel élève Tle C et D Collection Arex - Livre de SP Tle C et D Collection Eurin

PLAN DE LA LEÇON

1.COURANT ALTERNATIF SINUSOÏDAL

1.1. Définition
1.2.Expressions du courant et de la tension alternatifs
1.3. Valeurs efficaces
1.4.Impédance Z

2. ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CIRCUIT RLC SERIE

2.1. Détermination expérimentale de l'impédance d'un dipôle
2.1.1. Expérience
2.1.2. Exploitation et conclusion
2.2. Visualisation à l'oscilloscope
2.2.1. Expérience
2.2.2. Exploitation et conclusion

3. ETUDE THEORIQUE D'UN DIPOLE R L C EN REGIME SINUSOÏDAL

3.1. Equation différentielle
3.2. Construction de Fresnel
3.3. Détermination de l'impédance Z et de la phase φ.

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Présentation **(10**minutes**)**	Questions/ Réponses	Rappels / Prérequis -Oscillations électriques libres ; -Période propre, fréquence propre ….		

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement	Questions/ Réponses Questions/ Réponses Questions/ Réponses Questions/	-Le professeur fait lire la situation par un élève. -Qu'entreprennent-ils ? **<u>Activité 1 :</u> Définition du courant alternatif sinusoïdal.** Le prof définit le courant alternatif sinusoïdal. **<u>Activité 2 :</u>Expressions du courant et de la tension alternatifs** Le prof écrit les expressions de i(t)et de u(t). Le professeur définit l'intensité efficace I ou I_{eff}d'un courant périodique. Donner la relation entre l'intensité efficace I et l'intensité maximale I_m.	- Un élève lit la situation. -Ils entreprennent de déterminer les caractéristiques du courant alternatif, de construire le diagramme de Fresnel et d'établir les expressions de l'impédance Z et de la phase. Les élèves notent la définition. Les élèves prennent note. $I_{eff}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$	**CIRCUIT RLC SERIE EN REGIME SINUSOÏDAL FORCE** **1.<u>COURANT ALTERNATIF SINUSOÏDAL</u>** **1.1-<u>Définition</u>** C'est un courant dont l'intensité est une fonction sinusoïdale du temps. Il change deux fois de signe pendant une période. **1.2.<u>Expressions du courant et de la tension alternatifs</u>** Intensité du courant alternatif : $\mathbf{i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)}$; Tension alternative sinusoïdale : $\mathbf{u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)}$avec ▪ I_m ou U_m : amplitude ou valeur maximale (A ou V) ; ▪ ω : pulsation (rad/s); ▪ $\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}$ où N est la fréquence et T la période ; ▪ φ : phase à l'origine (rad) ; ▪ ω t $+\varphi$: phase à l'instant t (rad). **1.3.<u>Valeurs efficaces</u>** L'intensité efficace I ou I_{eff} d'un courant périodique i, est l'intensité du courant continu qui dissiperait, par effet joule la même énergie, dans le même conducteur ohmique, pendant une période. En courant alternatif sinusoïdale : $I = I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ Tension efficace $U = U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ **<u>Remarque</u>** : ▪ *Les valeurs efficaces sont mesurées à l'aide des multimètres.* ▪ *La valeur maximale d'une tension peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.* **<u>Activité d'application1</u>** Soit la tension $u_{AB} = 311\cos(314{,}2t - \frac{\pi}{2})$ avec u_{AB} en volt et t en seconde. 1. Donne la valeur maximale, la pulsation et la phase à l'origine de la tension u_{AB}. 2. Calcule la valeur efficace, la période et la fréquence de cette tension.

<table>
<tr><th>Moments didactiques/ Durée</th><th>Stratégies pédagogiques</th><th>Activités du Professeur</th><th>Activités des élèves</th><th>Trace écrite</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>Réponses

Questions/ Réponses

Questions/ Réponses

Présentation du matériel.</td>
<td>Donner la relation entre la tension efficace U et la tension maximale U_m.
Le professeur donne les remarques

<u>Activité 3</u> : Exercice d'application
Le professeur accorde un temps de recherche.
Un élève est envoyé au tableau pour la correction.
Le professeur valide le corrigé.

<u>Activité 4 :</u> Détermination expérimentale de l'impédance.
Le professeur réalise le montage en présentant le matériel.
Il fait prendre le schéma par les élèves.

Le professeur réalise quelques mesures pour deux valeurs de fréquence et fait remplir le tableau de mesure.</td>
<td>$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

Les élèves résolvent l'activité.

Les élèves prennent note.

Les élèves prennent le schéma.

Les élèves prennent le tableau de mesures.

Les élèves s'exécutent.</td>
<td>

<u>Résolution</u> :

<table>
<tr>
<td>1. La valeur maximale : $U_m = 311V$
La pulsation : $\omega = 314,2$ rad/s
La phase à l'origine : $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ rad
2. La valeur efficace U_{eff}</td>
<td>$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$; $U_{eff} = 220V$
La période T :
$T = \frac{2\pi}{\omega}$; $T = 0,02$ s</td>
<td>La fréquence N
$N = \frac{1}{T}$; $N = 50$ Hz</td>
</tr>
</table>

2.<u>ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CIRCUIT RLC SERIE</u>

2.1. Détermination expérimentale de l'impédance d'un dipôle

2.1.1 Expérience

Schéma

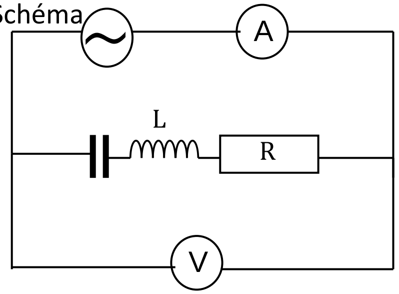
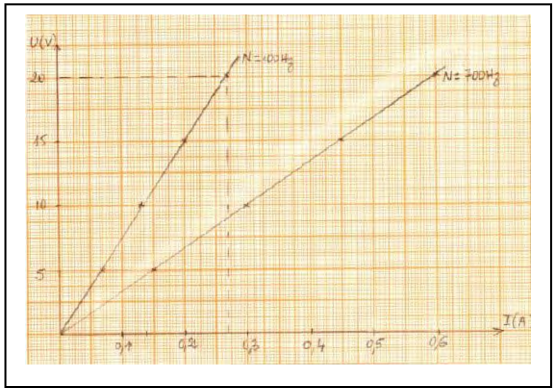


Tableau de mesures

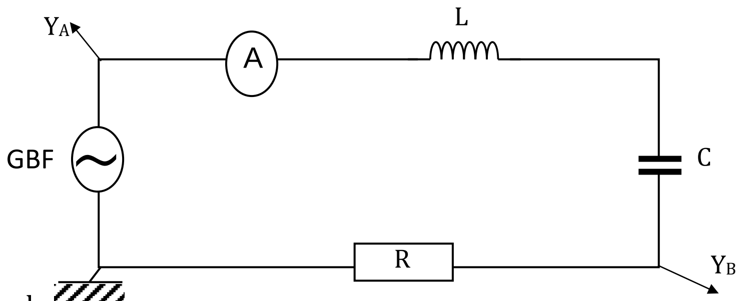
<table>
<tr><th>N(Hz)</th><th>U(V)</th><th>5</th><th>10</th><th>15</th><th>20</th></tr>
<tr><td>100</td><td>I(A)</td><td>0,07</td><td>0,13</td><td>0,20</td><td>0,27</td></tr>
<tr><td>700</td><td>I(A)</td><td>0,15</td><td>0,30</td><td>0,45</td><td>0,60</td></tr>
</table>

2.1.2 <u>Exploitation et conclusion</u>

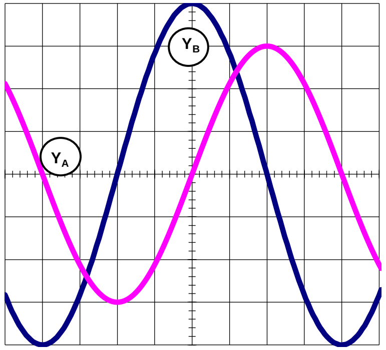
Graphes U = f(I)



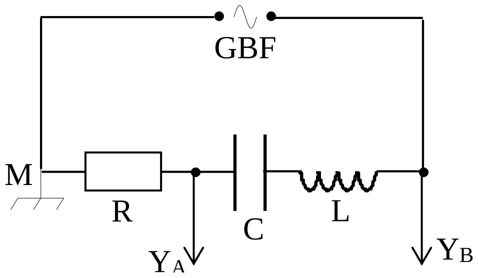
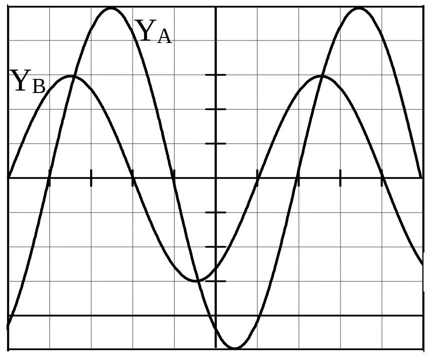
</td>
</tr>
</table>

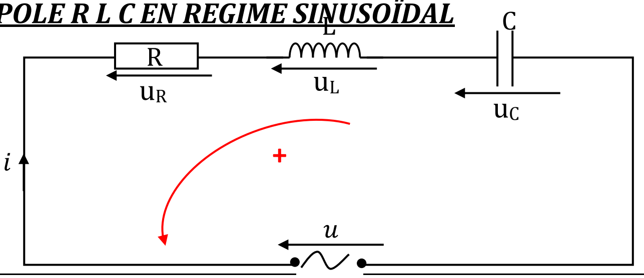
Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
		Le professeur fait tracer les graphes U = f(I). Donner la nature des graphes U = f(I). Au regard des graphes, que peut-on dire du rapport $\frac{U}{I}$ pour une fréquence donnée ? Le professeur donne le nom du rapport. **<u>Activité 5 :</u>** **Visualisation à l'oscilloscope.** Le professeur réalise le montage en présentant le matériel. Il faire prendre le schéma par les élèves. Quelles sont les tensions visualisées sur les voies **Y_A** et **Y_B** ? Le professeur fait noter que sur la voie **Y_B**, on visualise aussi les variations au facteur R près de l'intensité i du courant.	Les graphes U = f(I) sont des droites linéaires. Le rapport $\frac{U}{I}$ pour une fréquence donnée est constant. Les élèves prennent le schéma. **Y_A** : tension u aux bornes du GBF **Y_B** : tension aux bornes du conducteur ohmique R.	A fréquence constante, le rapport $\frac{U}{I}$ est constant. C'est l'impédance **Z** du dipôle RLC à la fréquence considérée. Z s'exprime en Ohm (***Ω***) ***2.2. Visualisation à l'oscilloscope*** ***2.2.1 Expérience*** ***Schéma du montage***  **Y_A** : tension u aux bornes du GBF ; **Y_B** : tension aux bornes du conducteur ohmique R ; $U_R = Ri$. R = 20 Ω

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite

				L’oscilloscope permet de visualiser les variations de la tension u aux bornes du circuit RLC et les variations au facteur R près de l’intensité i du courantqui le traverse.  Voie Y_A: 2 V/div Voie Y_B : 1 V/div Balayage : 0,02 ms/div

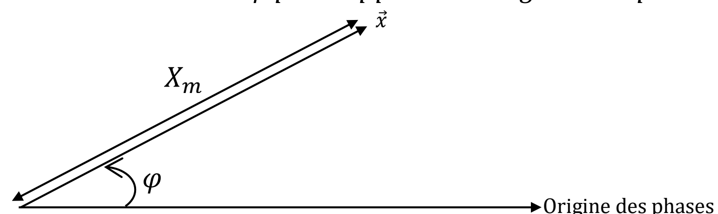
Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement **3-** **Développement (suite)**		Donner la nature de u(t) et i(t). Est-ce que ces deux grandeurs sont superposables ?	u(t) et i(t) sont des sinusoides.	**2.2.2 <u>Exploitation et conclusion</u>** • u(t) et i(t) sont des fonctions sinusoïdales de même période mais décalée l'une par rapport à l'autre. • Le circuit RLC est le siège d'oscillations forcées car le générateur impose une fréquence différente de la fréquence propre des oscillations du circuit. On peut donc écrire :
		Comparer les périodes des deux grandeurs.	Non.	
	Questions/ Réponses Questions/ Réponses	On dira que les deux grandeurs sont décalées l'une par rapport à l'autre suivant l'axe du temps. (Décalage horaire)	Les périodes sont identiques	$i(t) = I_m \cos(\omega t)$ et $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ ou $u(t) = U_m \cos(\omega t)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ ***<u>Exemple</u>*** : Dans le cas ci-dessus, u(t) atteint en premier son maximum : on dit qu'elle est en avance sur i(t) donc $\varphi > 0$.
	Questions/ Réponses	***Activité 5 : Détermination graphique de φ*** Le professeur établit la formule de $\varphi_{u/i}$. $T \Leftrightarrow 2\pi$ $\tau \Leftrightarrow \lvert \boldsymbol{\varphi_{u/i}} \rvert$ Mesurer la période T. Mesure le décalage horaire τ. Calculer la phase φ. $\lvert \boldsymbol{\varphi_{u/i}} \rvert = \frac{\mathbf{2\pi\tau}}{\mathbf{T}}$	Les élèves prennent notes.	***2.2.3. <u>Détermination graphique deφ</u>*** La phase φ de u(t) par rapport à i(t) est donnée par la relation : $\lvert \boldsymbol{\varphi_{u/i}} \rvert = \frac{\mathbf{2\pi\tau}}{\mathbf{T}}$ avec τ : Décalage horaire entre u et i. **<u>Exemple</u>** : $T \Leftrightarrow 8\,div$ et $\tau \Leftrightarrow 2\,div$ d'où $\lvert \varphi_{u/i} \rvert = \frac{\pi}{4} \Longrightarrow \varphi_{u/i} = +\frac{\pi}{4}$ ***<u>Remarque</u>*** ▪ *Si $\boldsymbol{\varphi_{u/i}} > 0$, la tension est en avance par rapport à l'intensité.* ▪ *Si $\boldsymbol{\varphi_{u/i}} < 0$, la tension est en retard par rapport à l'intensité.* ▪ *Si $\boldsymbol{\varphi_{u/i}} = 0$, la tension et l'intensité sont en phase.*
	Questions/ Réponses		Les élèves mesurent. Les élèves calculent	**<u>Activité d'application 2</u>** Un générateur maintient entre ses bornes une tension dont la valeur instantanée est donnée (en volts) par l'expression : $U = 15\cos(314t + 0{,}5)$

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement (suite) **Développement**		***Activité 6 : Détermination graphique de l’impédance Z*** Mesurer l’amplitude de la tension $\mathbf{U_{Rm}}$ aux bornes de la résistance. Mesurer l’amplitude de la tension U_m aux bornes du GBF. Calculer l’impédance Z. ($Z = R\,\frac{U_m}{U_{Rm}}$) **Activité 7 :Activité d’application** Le professeur accorde un temps de recherche. Un élève est envoyé au tableau pour la correction.	Les élèves mesurent les amplitudes. Les élèves calculent Z. Les élèves résolvent l’activité.	L’intensité instantanée dans le circuit est alors (en mA) : I = 40cos(ωt) 1. Donne la valeur de ω. 2. Calcule l’impédance du circuit. 3. Calcule la phase de l’intensité par rapport à la tension. ***corrigé*** 1. ω = 314 rad.s^{-1} .2. Z = $\frac{U_m}{I_m}$; Z = 375 Ω .3. φ = - 0.5 rad. ***2.2.4. Détermination graphique de l’impédance Z*** $Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}$ ***avec*** $I_m = \frac{U_{Rm}}{R}$ ***on a :*** $Z = R\,\frac{U_m}{U_{Rm}}$ ***EX:*** $U_m = 2\times3 = 6\ V$ ***et*** $U_{Rm} = 4\times1 = 4\ V$ A.N. Z = $20\times\frac{6}{4}$ = 30 Ω **Activité d’application 3**: On réalise le montage de la figure 1. L'oscilloscope a été réglé de la façon suivante : - voie A : 1 V/div - voie B : 5 V/div - base de temps : 2 ms/div La figure 2 donne les oscillogrammes obtenus.  Figure  1Figure 2

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
(suite)		Le professeur valide le corrigé. **<u>Activité 8 :</u>** **Equation différentielle** A partir du schéma et en utilisant la loi des mailles, le professeur fait établir l'équation différentielle.	Les élèves prennent note.	1. Indique les tensions visualisées sur les voies A et B. 2. Calcule : 2.1 la période et la fréquence de la tension aux bornes du dipôle RLC. 2.2 l'amplitude et la valeur efficace de la tension délivrée par le générateur. 3. Déterminer l'impédance du dipôle RLC dans les conditions de l'expérience, sachant que R = 20Ω. ***Corrigé*** 1. Voie A : tension aux bornes du conducteur ohmique. Voie B : tension aux bornes du GBF. 2. 2.1 Période : $T = 6\times2.10^{-3} = 1{,}2.10^{-2}$s. ;Fréquence : $N = \frac{1}{T}$ = 83,3 Hz. 2.2 $U_m = 3\times5 = 15$ V Valeur efficace : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{15}{\sqrt{2}} = 10{,}60$ V 3. Impédance $\boldsymbol{Z = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m}}$ ***avec*** $\boldsymbol{I_m = \frac{U_{Rm}}{R}}$ ***on a :*** $\boldsymbol{Z = R\frac{U_m}{U_{Rm}}}$ $U_{Rm} = 1\times5 = 5$ V : $Z = 20 \times \frac{15}{5} = 60\ \Omega$ ***<u>3. ETUDE THEORIQUE D'UN DIPOLE R L C EN REGIME SINUSOÏDAL</u>*** **3.1<u>Equation différentielle</u>** 

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement (suite)			Les élèves prennent note.	D'après la loi des mailles, on a : $u = u_R + u_L + u_C$ $u = u_R + u_L + u_C u = R\,i + L\frac{di}{dt} + \frac{q}{C} u\,(t) = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i\,dt$ En posant $i = I_m \cos\omega t$, $u = U_m\cos(\omega t + \varphi)$ Soit $u\,(t) = RI\cos\omega t + L\omega I\cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{C\omega}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ 3.1.1 <u>Aux bornes du résistor</u> $u_R = R\,I_m \cos\omega t$ soit $U_{Rm} = R\,I_m$ L'impédance : $\mathbf{Z_R = \frac{U_{Rm}}{I_m} = R}$ 3.1.2 <u>Aux bornes de la bobine</u> $u_L = L\frac{di}{dt} = -L\omega I_m \sin\omega t = L\omega I_m\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ $u_L = U_{Lm}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ avec $U_{Lm} = L\omega I_m$ Soit l'impédance de la bobine pure : $\boxed{\mathbf{Z_L = L\omega}}$ 3.1.3 <u>Aux bornes du condensateur</u> $u_C = \frac{I_m}{C\omega}\sin\omega t = \frac{I_m}{C\omega}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ $U_C = U_{Cm}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$ avec $U_{Cm} = \frac{I_m}{C\omega}$ Soit l'impédance du condensateur : $\boxed{\mathbf{Z_C = \frac{U_{Cm}}{I_m} = \frac{1}{C\omega}}}$ **<u>Activité d'application 4</u>**: La fréquence de la tension sinusoïdale délivrée par un générateur est N = 200 Hz. Calcule l'impédance des dipôles suivants, lorsqu'ils sont branchés à ses bornes : a) un conducteur ohmique de résistance : R = 23 Ω ; b) un condensateur de capacité : C = 80 pF ;

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement (suite)		**<u>Activité 9 :</u>** **Construction de Fresnel** Le professeur définit le vecteur de Fresnel.	Les élèves réalisent la construction. Les élèves prennent note.	c) une bobine d'inductance L = 34 mH et de résistance négligeable ; ***Corrigé :*** a) Z = R A.N. : Z = 23 Ω ; b) $Z_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi NC}$ A.N. : $Z_C = 9{,}94.10^6 \Omega$ c) $Z_L = L\omega = 2\pi NL$ A.N. : $Z_L = 2 \times \pi \times 200 \times 34.10^{-3} = 42{,}7\ \Omega$ ***3.2- <u>Construction de Fresnel</u>*** **3.2.1 <u>Vecteur de Fresnel</u>** A toute grandeur sinusoïdale x (t) = $X_m \cos(\omega t + \varphi)$ est associé un vecteur de Fresnel $\vec{x}$dont les caractéristiques sont les suivantes : $\vec{x}\begin{cases} Norme :\ X_m \\ Phase\ \grave{a}\ l'origine :\ \varphi \\ Direction :\ inclin\acute{e}e\ de\ \varphi\ par\ rapport\ \grave{a}\ l'origine\ des\ phases \end{cases}$



3.2.2 <u>Construction de Fresnel</u>

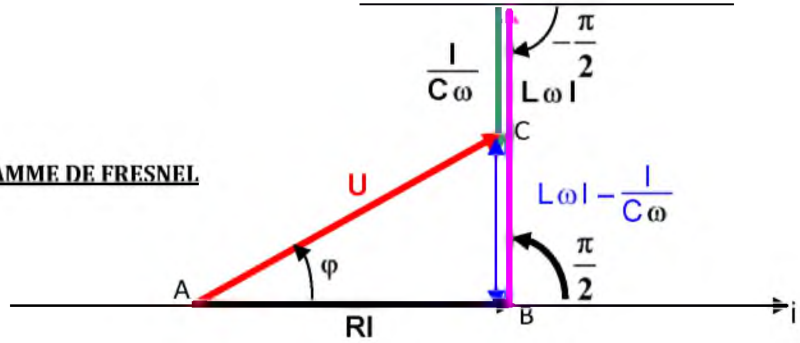
$U(t) = RI \cos\omega t + L\omega I \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{I}{C\omega} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Développement (suite)		Le professeur donne la méthode de construction **<u>Activité 10 :</u>** **Détermination de l'impédance Z et la phase φ** A partir du diagramme de Fresnel et en utilisant le théorème		(voir ci-dessous)

GRANDEURS SINUSOÏDALES	VECTEURS
$u_R = RI\cos\omega t$	$\vec{V}_1 \begin{cases} \Vert\vec{V}_1\Vert = RI \\ (\vec{i},\vec{V}_1) = 0° \end{cases}$
$u_L = L\omega I\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$	$\vec{V}_2 \begin{cases} \Vert\vec{V}_2\Vert = L\omega I \\ (\vec{i},\vec{V}_2) = \frac{\pi}{2} \end{cases}$
$U_C = \frac{I_m}{C\omega}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$	$\vec{V}_3 \begin{cases} \Vert\vec{V}_3\Vert = \frac{I}{C\omega} \\ (\vec{i},\vec{V}_3) = -\frac{\pi}{2} \end{cases}$
$U = U_m\cos(\omega t + \varphi)$	$\vec{V} \begin{cases} \Vert\vec{V}\Vert = U_m \\ (\vec{i},\vec{V}) = \varphi \end{cases}$

<u>Remarque</u> : *On prendra comme origine des phases pour tout circuit RLC l'axe des intensités.*

<u>DIAGRAMME DE FRESNEL</u>

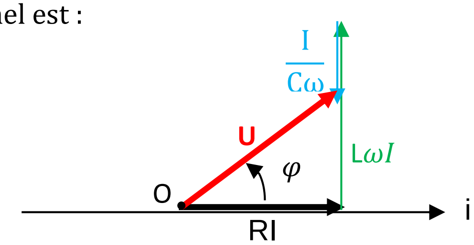
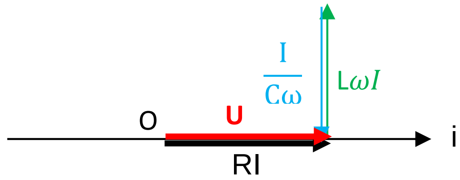


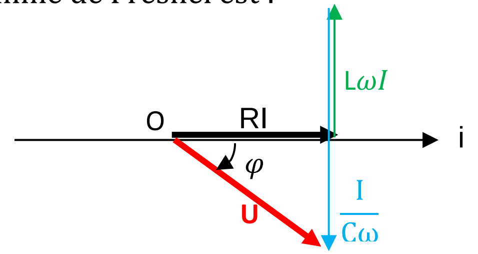
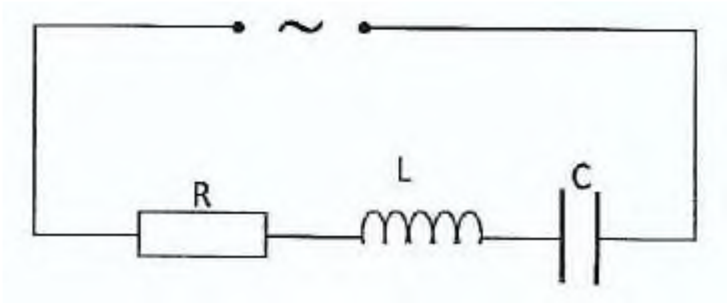
3.3 <u>Détermination de l'impédance Z et la phase φ</u>

3.3.1 <u>Impédance Z</u>

Le triangle ABC rectangle en B. Et selon le théorème de Pythagore : $AC^2 = AB^2 + BC^2$

soit $U^2 = R^2I^2 + [(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2 I^2] = (R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2)I^2$

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Evaluation (30 minutes) **Evaluation**		de Pythagore, le professeur fait établir l’expression de l’impédance Z, tanφ (cosφ) et donner la nature du circuit en fonction du signe de φ.	Les élèves prennent note.	$\frac{U^2}{I^2} = R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2$ or $Z = \frac{U}{I}$ Donc : $\boxed{Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$ **<u>Remarque</u>** : *Si la résistance interne de la bobine n’est pas négligeable alors on a :* $Z = \sqrt{(R+r)^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$ **3.3.2<u>Phaseφ</u>** $\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{c\omega}}{R}$ $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ ***3.3.3 <u>Nature du circuit selon le signe de φ</u>*** ▪ Si $\varphi > 0$ c'est-à-dire $L\omega > \frac{1}{C\omega}$; u aux bornes de RLC est en avance sur i ; le circuit est inductif et le diagramme de Fresnel est :  ▪ Si $\varphi = 0$ c'est-à-dire $L\omega_o = \frac{1}{C\omega_o}$;u et i sont en phase ; on dit qu’on est à la résonance et le circuit est dit résistif. Le diagramme de Fresnel est : 

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
		Activité 11 : **Situation d'évaluation** Le professeur accorde un temps de recherche. Un élève est envoyé au tableau pour la correction.		▪ Si $\varphi < 0$ c'est-à-dire $L\omega < \frac{1}{C\omega}$;u est en retard sur i ; le circuit est dit capacitif est le diagramme de Fresnel est :  **SITUATION D'EVALUATION** Pour son test d'entrée à l'école normale supérieure d'Abidjan section Physique-chimie, Charlemagne est soumis à un test pratique. 11 doit réaliser le circuit dont le schéma est représenté ci-dessous. Ce circuit est constitué : - d'un conducteur ohmique de résistance R = 2500 Ω; - d'une bobine d'inductance L = 450mH et de résistance interne nulle. - d'un condensateur de capacité C = 1,6 µF. Le circuit est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence N = 150Hz et de valeur efficace U = 12 V.  Charlemagne doit déterminer certaines caractéristiques des circuits réalisés. Aide-le à réussir son test.

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
		Le professeur valide le corrigé.		1. Exprime l'impédance Z du circuit en fonction de R, L, C et ω. Calcule sa valeur 2. Calcule l'intensité efficace du courant dans le circuit. 3. Calcule les tensions efficaces U_R, U_L et U_C, respectivement aux bornes du conducteur ohmique, de la bobine et du condensateur. 4. 4.1 Représenter sur un diagramme de Fresnel les tensions U_R, U_L, U_C et U et faire apparaître sur le schéma la phase φ de la tension d'alimentation du circuit par rapport à l'intensité du courant. Echelle : 1 cm représente 3 V 4.2 Le circuit est-il capacitif ou inductif ? Justifier votre réponse. 4.3 Calculer la phase φ. 4.4 Donner l'expression de la tension instantanée aux bornes du circuit sous la forme $u = U_{max} cos(\omega t + \varphi)$

Classe : **Tle D** Thème : **ELECTRICITE** Titre de la Leçon : **RÉSONANCE D'INTENSITÉ D'UN CIRCUIT RLC SÉRIE** Durée :**4 heures**

TABLEAU DES HABILETES ET CONTENUS

HABILETÉS	CONTENUS
Tracer	la courbe de résonance d'intensité I=f(N).
Exploiter	la courbe de résonance d'intensité I = f(N).
Expliquer	- le phénomène de résonance d'intensité. - le phénomène de surtension à la résonance d'intensité.
Définir	- la fréquence de résonance. - la bande passante. - le facteur de qualité.
Connaître	- les expressions: - de la fréquence de résonance d'intensité ; - de la bande passante ; - du facteur de qualité ; - la valeur de la phase $\varphi_{u/i}$ à la résonance d'intensité.
Déterminer	- la fréquence de résonance d'intensité. - la bande passante. - le facteur de qualité.
Donner	quelques applications de la résonance : - en mécanique ; - en électronique ; - en acoustique.

EXEMPLE DE SITUATION

Lors d'une visite d'étude à la Radio concorde, les élèves de la Tle D1 du Lycée Moderne de Bonon apprennent d'un technicien que cette radio peut être captée sur la fréquence 92.5 kHz sur la bande FM. Il existe d'autres fréquences proches de celle de la Radio. Chaque poste récepteur, pour éviter le chevauchement de stations, doit avoir un circuit sélectif qu'on peut vérifier avec la courbe de résonance d'intensité.
De retour en classe, ils veulent vérifier cette information. Ils décident alors de tracer la courbe de résonance d'intensité, d'expliquer le phénomène de résonance d'intensité et de déterminer la fréquence de résonance.

MATERIEL	SUPPORTS DIDACTIQUES
- GBF ; - Oscilloscope ; - Multimètre ; - Boites de capacités (0-15 μF) ; - Bobines d'inductance (sans noyau) ; - Boites de résistors à décades ; - Interrupteur.	Planches d'oscillogrammes **BIBLIOGRAPHIE** -Manuel élève Tle C et D Collection Arex - Livre de SP Tle C et D Collection Eurin

PLAN DE LA LEÇON

1. Etude expérimentale de la résonance d'intensité
- 1.1. Montage expérimental
- 1.2. Tableau de mesures
- 1.3. Courbes de résonance
- 1.4. Étude de la courbe de résonance

2. Étude théorique de la résonance

3. Bande passante à 3 dB d'un circuit RLC série
- 3.1. Définition
- 3.2. Largeur de la bande passante
- 3.3. Facteur de qualité
- 3.4. Phénomène de surtension

4. Quelques applications de la résonance

<table>
<tr><th>Moments didactiques/ Durée</th><th>Stratégies pédagogiques</th><th>Activités du Professeur</th><th>Activités des élèves</th><th>Trace écrite</th></tr>
<tr><td>Présentation
(10minutes)</td><td>Questions/
Réponses</td><td>Rappels / Prérequis</td><td></td><td>

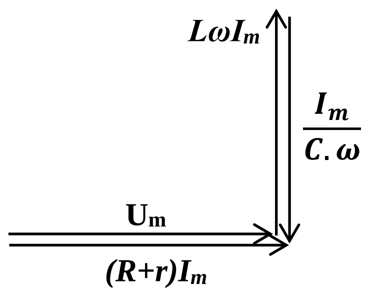
1. <u>Définition</u>

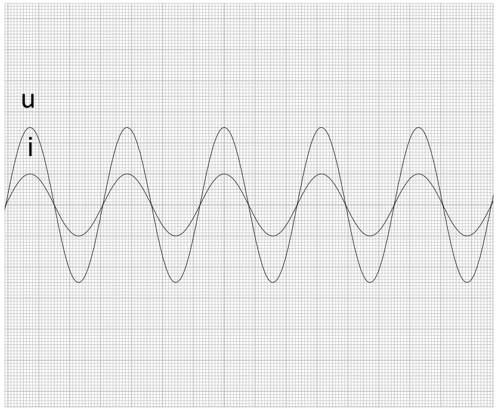
Le dipôle RLC est à la résonance d'intensité chaque fois que la fréquence N imposé par le générateur GBF est égale à celle du dipôle LC : $N_0 = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2\pi\sqrt{LC}}}$ **;** aussi lorsque I passe par sa valeur maximale I_0 pour une valeur particulière de N_0.

2. <u>Propriétés du circuit à la résonance</u>

- Impédance Z minimale $\mathbf{Z = Z_0 = R + r}$
- L'intensité I est maximale $\mathbf{I = I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{R+r}}$
- **La représentation de Fresnel dans le cas de la résonance est :**

$L\omega_0 = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{C.\omega_0}}$ ou $LC.\omega_0^2 = 1$ et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$





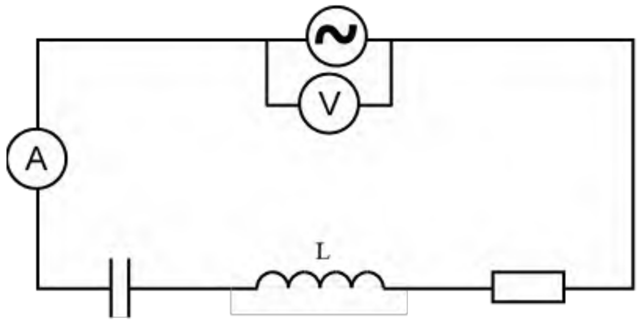
- La tension u et l'intensité i sont en phase : $\boldsymbol{\varphi_{u/i} = \varphi_u - \varphi_i = 0}$
- Les tensions u_b et u_C respectivement aux bornes de la bobine et du condensateur vibrent en opposition de phase.

</td></tr>
</table>

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite

3. Étude expérimentale

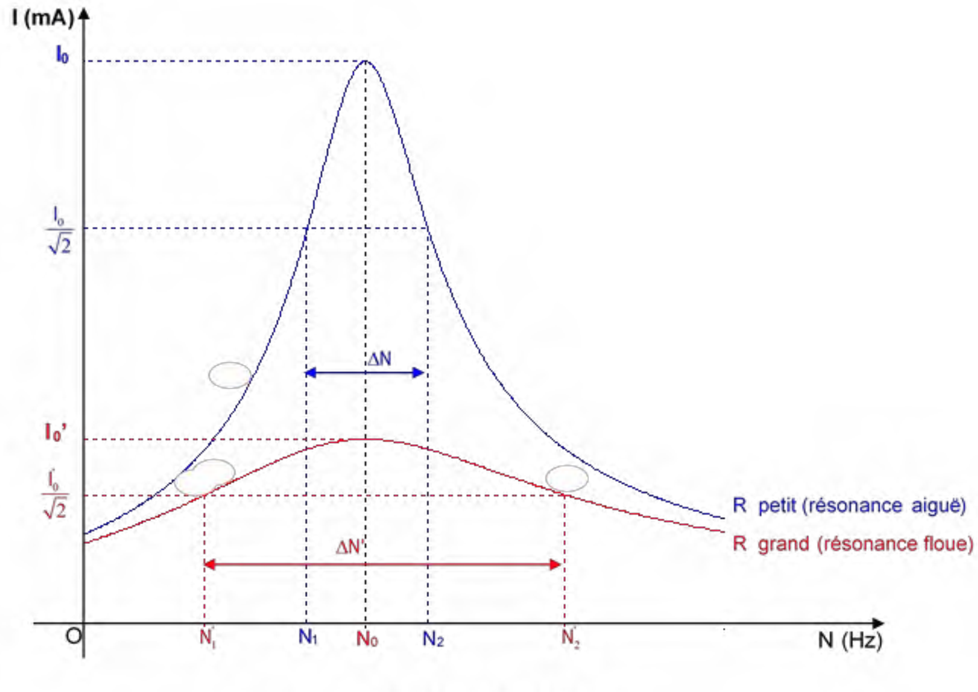
3.1. Expérience



On donne U = 2V ; R = 28Ω ; L = 69,6mH ; C = 10µF. La valeur efficace U de la tension d'alimentation est maintenue constante. Pour des fréquences variant de 90Hz à 300Hz, on relève les valeurs correspondantes de l'intensité efficace du courant. On obtient le tableau suivant :

3.2. Tableau de mesures

N(Hz)	90	120	150	160	170	180	185	190	195	200	210	250	300
I(mA)	14,9	22,8	38,5	60,4	83,2	116,3	132,7	142,5	141,7	135,4	93,5	40,9	25,7

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				3.3.<u>Courbe</u> : I = f(N) échelle : 1cm = 20Hz et 1cm = 10mA  COURBE DE VARIATION DE I = f (N) <u>Remarque</u> : - Lorsque R est faible, la résonance est aigue, **on dit qu'elle atteint son acuité**. - Lorsque R est grand **la résonance devient floue**.

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				3.4. Exploitation de la courbe I = f(N) 3.4.1. Fréquence de résonance N_0 C'est la fréquence N_0 à laquelle l'intensité efficace I_0 du courant est maximale Graphiquement : **N_0 = 190Hz et I_0 = 142,5 mA = $142,5.10^{-3}$A** Vérification $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\times\sqrt{69,6.10^{-3}\times10\times10^{-6}}}$ = 190,77 Hz 3.4.2. Bande passante ΔN a) Définition La bande passante d'un circuit RLC série est l'ensemble des fréquences N ou des pulsations ω pour lesquelles $I \geq \frac{\mathbf{I_0}}{\sqrt{\mathbf{2}}}$ avec I_0 l'intensité efficace à la résonance. La largeur de la bande passante notée ΔN ou $\Delta\omega$ est : $\boxed{\omega_2 - \omega_1 = \Delta\omega = 2\pi\Delta N = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{L}} \text{ d'où } N_2 - N_1 = \Delta N = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{2\pi L}}}$ b) Détermination graphique $\frac{\mathbf{I_0}}{\sqrt{\mathbf{2}}}$ = 0,1007A = 100,7 mA Pour I = 100,7 mA, on trouve : N_1 = 176Hz et N_2 = 240Hz d'où ΔN = 240-176 = 64Hz ; et en vérifiant avec la formule on a : $\Delta N = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{2\pi L}} = \frac{28}{2\pi\times69,6.10^{-3}}$ = 64,027Hz 3.4.3. Facteur de qualité Q d'un circuit a. Définition Le facteur de qualité Q ou acuité de la résonance d'un circuit RLC est le quotient de la fréquence N_0 de résonance par la largeur de la bande passante ΔN. On écrit :

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite

$$\boxed{Q = \frac{\mathbf{L\omega_0}}{\mathbf{R}} \mathbf{=} \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{RC\omega_0}} \mathbf{=} \frac{\mathbf{U_b}}{\mathbf{U}} \mathbf{=} \frac{\mathbf{U_C}}{\mathbf{U}}}$$

b. Détermination graphique

$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{N_0}{\Delta N} = \frac{190}{240-176} = \frac{190}{64} = 2{,}96875 \approx 3$ et en vérifiant avec la formule on a :

$$Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{2\pi\times N_0\times L}{R} = \frac{69{,}6.10^{-3}\times 2\pi\times 190}{28} = 2{,}967 \approx 3$$

$$Q = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{R\times C\times 2\pi\times N_0} = \frac{1}{28\times 10\times 10^{-6}\times 2\pi\times 190} = 2{,}99 \approx 3$$

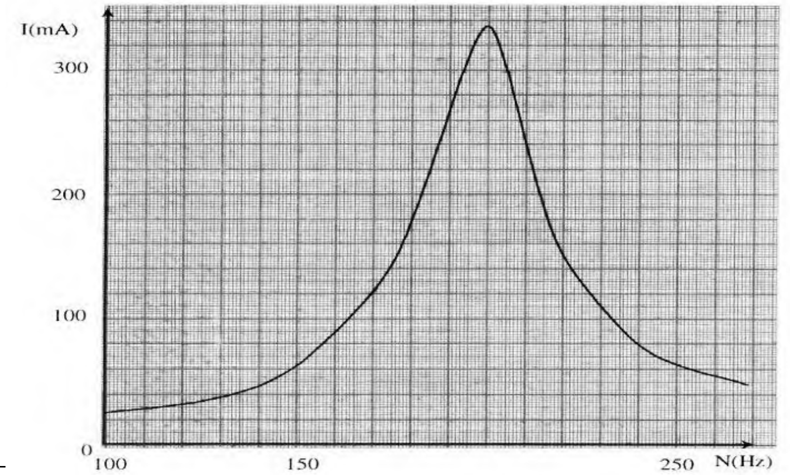
3.4.4. Surtension à la résonance

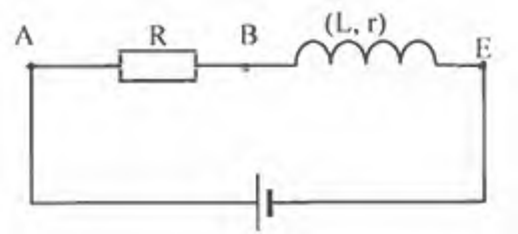
On montre qu'à la résonance, nous avons les relations suivantes :

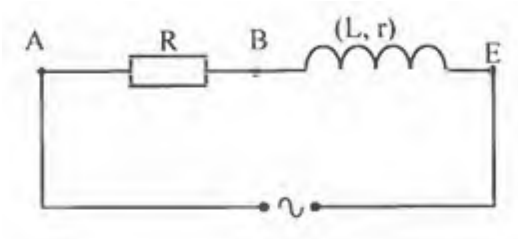
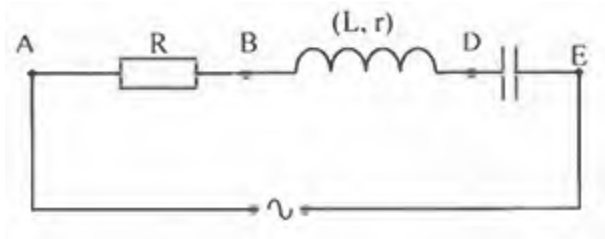
$$\mathbf{U_C = Q.U \text{ et } U_L = Q.U}$$

Lorsque Q > 1, il ya surtension à la résonance aux bornes du condensateur et aux bornes de la bobine.

Activité d'application



Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				1. Donner trois caractéristiques de l'état du circuit à la résonance. 2. Déduire de la courbe, la fréquence N_0 et l'intensité efficace I_0 à la résonance. 3. Calculer la résistance R du circuit et l'inductance L de la bobine. 4. Déduire de la courbe la bande passante. 5. 5.1 Déterminer le facteur de qualité du circuit à partir du graphe I = f (N). 5.2 Calculer la tension efficace aux bornes du condensateur et de la bobine à la résonance. **<u>SITUATION D'EVALUATION</u>** Le lycée moderne de Bonon a reçu du matériel scientifique dont des bobines. Malheureusement, les caractéristiques de ces bobines ne sont pas connues faute de notices. En vue d'étudier la résonance d'intensité d'un circuit RLC, le professeur demande à un groupe d'élèves de terminale D de déterminer les caractéristiques d'une de ces bobines. Pour cela, le groupe réalise trois expériences. **Expérience 1** La bobine est alimentée par une tension continue U_{AE} = 9 V selon le schéma ci-dessous.  L'intensité du courant qui traverse le circuit est I_1 = 200 mA et la résistance R a pour valeur 30 Ω.

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				Expérience 2 À l'aide d'un générateur de basses fréquences (GBF), le groupe alimente le circuit précédent avec une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace U_{AE} = 9 V et de fréquence N = 277 Hz selon le schéma ci-dessous. L'intensité efficace du courant électrique mesurée dans  le circuit est I_2 = 50 mA. **Expérience 3** Le groupe insère dans le montage de l'expérience 2, un condensateur de capacité C = 2 µF. En faisant varier la fréquence de la tension sinusoïdale, il constate que l'intensité atteint sa valeur maximale pour une fréquence N_0 = 356 Hz.  1. <u>Détermination de L et r</u> 1.1. Déterminer : 1.1.1. la résistance r ; 1.1.2. l'impédance Z_{AE} du circuit de l'expérience 2. 1.2. Montrer que cette impédance a pour expression : $Z_{AE} = \sqrt{(R+r)^2 + 4\pi^2 N^2 L^2}$ 1.3. Déduire de l'expression précédente, la valeur de F auto-inductance L de la bobine.

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				2. Étude du circuit RLC 2.1. Donner le nom du phénomène observé dans l'expérience 3. 2.2. Calculer : 2.2.1. la valeur de l'intensité maximale I_0 ; 2.2.2. le facteur de qualité Q ; 2.2.3. la bande passante ΔN. 2.3. Représenter qualitativement le diagramme de Fresnel en impédance correspondant au phénomène observé.

Classe : **Tle D** Thème : **ELECTRICITE** Titre de la Leçon : **PUISSANCE EN COURANT ALTERNATIF** Durée : **2 heures**

TABLEAU DES HABILETES ET CONTENUS

HABILETÉS	CONTENUS
Connaître	les expressions de: - la puissance instantanée ; - la puissance moyenne consommée par des dipôles idéaux (R, L, C) ; - la puissance moyenne consommée dans un dipôle R L C série.
Connaître	l'expression de l'énergie électrique échangée dans un dipôle RLC.
Définir	le facteur de puissance.
Déterminer	- le facteur de puissance. - la puissance moyenne.
Montrer	l'intérêt du facteur de puissance.
Expliquer	l'intérêt du transport du courant électrique sous haute tension.

EXEMPLE DE SITUATION

Un élève en classe de Tle C au Lycée Moderne de Yopougon Andokoi découvre dans un livre que le courant alternatif est transporté sous haute tension sur une grande distance. Lors de ce transport, on enregistre des pertes en ligne. Pour cela, ce courant transite par des centres de transformation pour être adapté à la consommation.
En classe, il partage ces informations avec ses camarades. Ensemble, ils entreprennent de connaître les expressions des différentes puissances, d'expliquer l'intérêt du transport du courant électrique sous haute tension et de déterminer le facteur de puissance.

MATERIEL	SUPPORTS DIDACTIQUES
- GBF ; - Oscilloscope ; - Multimètre ; - Boites de capacités (0-15 μF) ; - Bobines d'inductance (sans noyau) ; - Boites de résistors à décades ; - Interrupteur.	Planches d'oscillogrammes **BIBLIOGRAPHIE** -Manuel élève Tle C et D Collection Arex - Livre de SP Tle C et D Collection Eurin

Plan de la leçon

1. Puissance moyenne consommée dans un dipôle RLC**Erreur ! Signet non défini.**

1.1. Puissance instantanée .... **Erreur ! Signet non défini.**

1.2. Puissance moyenne .... **Erreur ! Signet non défini.**

1.2.1 Énergie moyenne .... **Erreur ! Signet non défini.**

1.2.2 Puissance moyenne .... **Erreur ! Signet non défini.**

1.2.3 Puissance apparente .... **Erreur ! Signet non défini.**

2. Puissance moyenne absorbée par des dipôles idéaux**Erreur ! Signet non défini.**

2.1. Conducteur ohmique .... **Erreur ! Signet non défini.**

2.2. Condensateur parfait .... **Erreur ! Signet non défini.**

2.3. Bobine non résistive .... **Erreur ! Signet non défini.**

2.4. Dipôle RLC série .... **Erreur ! Signet non défini.**

2.5. Intérêt du transport du courant sous haute tension**Erreur ! Signet non défini.**

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Présentation **(10minutes)**	Questions/ Réponses	Rappels / Prérequis		**1. Puissance instantanée** $p = u \times i$ or $i = I_m \cos\omega t$ et $u = U_m \cos(\omega t+\varphi)$ $\boxed{p = U_m.I_m.\cos(\omega t).\cos(\omega t+\varphi)}$ **2. Puissance apparente** La puissance apparente est le produit U×I en courant alternatif. $\mathbf{P_a = U.I}$ N.B : Cette puissance s'exprime en volt-ampère (V.A) parce qu'elle ne correspond pas une puissance électrique réelle **3. Puissance moyenne ou active** La puissance moyenne ou active consommée par un dipôle quelconque en régime alternatif sinusoïdale forcé s'exprime comme suit. $\mathbf{P_{moy} = U.I.\cos\varphi = P_a\cos\varphi}$ avec $\cos\boldsymbol{\varphi} = \frac{R}{Z}$ - cosφ est le facteur de puissance et est sans unité - U (V) et I (A) désignent les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité. **Remarque** : $P_{moy} = U.I.\cos\varphi = R.I^2 = \frac{U^2}{R}$ (La puissance moyenne dissipée par un dipôle RLC l'est uniquement par effet joule) Si le dipôle est un condensateur parfait ou une bobine sans résistance alors : $\mathbf{P_{moy} = 0}$

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				4. <u>Intérêt du transport du courant sous haute tension</u> Dans les installations électriques, on peut avoir cos φ = 1, ce qui entraîne une perte d'énergie en ligne : $P_{perdue} = R\, I^2$ $Pm = U\, I \cos\varphi$ soit $I = \frac{P_m}{U\cos\varphi}$ D'où $\mathbf{P_{perdue} = R\,(\frac{P_m}{U\cos\varphi})^2}$ Pour minimiser les pertes, il est avantageux de transporter le courant sous haute tension. <u>Activité d'application</u> 1 On considère un dipôle (R, L, C) aux bornes duquel est appliquée une tension sinusoïdale de valeur efficace U = 24V. Déterminer pour la fréquence de résonance d'intensité f_0 et pour la fréquence f de 50Hz : a) l'intensité efficace du courant ; b) la puissance apparente ; c) la puissance moyenne consommée. Données : R = 20Ω ; L = 0,5H ; C = 5µF <u>RÉSOLUTION DÉTAILLÉE</u> a) à la résonance d'intensité, nous avons : $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0{,}5\times5.10^{-6}}} = 100{,}7Hz$ La loi d'ohm en courant alternatif : U = Z.I (or Z = R à la résonance) $I = \frac{U}{R} = \frac{24}{20} = 1{,}2A$ Pour f = 50Hz ; $Z = \sqrt{R^2 - (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} = \sqrt{R^2 - (2\pi N.L - \frac{1}{2\pi N.C})^2} = 480\Omega$ La loi d'ohm en courant alternatif : U = Z.I

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
				$I = \frac{U}{Z} = \frac{24}{480} = 0{,}05A$ b) la puissance apparente est pour $f_0 = 100{,}7Hz$ $P_a = U.I = 24\times1{,}2 = 28{,}8$ VA pour f = 50Hz $P_a = U.I = 24\times0{,}05 = 1{,}2$ VA c) la puissance moyenne consonnée est pour $f_0 = 100{,}7Hz$ $\varphi = 0$; $\cos\varphi = 1$; $P_{moy} = U.I\cos\varphi = U.I = P_a = 28{,}8$ W pour f = 50Hz $\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{20}{480} = 0{,}042$; $P_{moy} = U.I\cos\varphi = 24\times0{,}05\times0{,}042 = 0{,}05W$ **SITUATION D'EVALUATION** Un dipôle récepteur, alimenté sous une tension efficace U = 220V et de fréquence 50Hz, est traversé par un courant d'intensité efficace I = 3A. Son facteur de puissance vaut 0,8. Pour vérifier tes acquis, tu décides d'étudier ce dipôle. 1- Détermine la puissance apparente et la puissance moyenne reçue par ce dipôle. 2- Déduis-en l'énergie consommée par ce dipôle, pour une durée de fonctionnement de 30min. 3- Calcule la phase φ de la tension par rapport à l'intensité du courant 4- Détermine, pour une même puissance moyenne consommée et une même tension efficace, l'intensité efficace et la puissance apparente lorsque son facteur de puissance passe à 0,95.

Niveau : Tle D

THEME 3 : PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLEAIRE

LEÇON 12 : REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANEES

Durée : 5 heures

HABILETES	**CONTENUS**
Définir	les termes suivants : - élément chimique - nucléide - isotopes - unité de masse atomique
Connaître	- la nature des particules α , β et du rayonnement γ - les lois de conservation des nombres de masse et de charge
Ecrire	les équations bilans des désintégrations α et β.
Définir	l'activité d'un échantillon.
Connaître	la loi de décroissance radioactive.
Utiliser	la loi de décroissance radioactive.
Définir	la période ou demi-vie d'une substance radioactive.
Déterminer	• la constance radioactive ; • la période ; • l'activité ; • l'âge d'un échantillon radioactif.

MATERIELS PAR POSTE DE TRAVAIL

-
-
-
-
-

SUPPORTS DIDACTIQUES :

- Schémas sur polycopies
- Fiche TD
-
-

BIBLIOGRAPHIE :

Eurin-gié, Arex, Internet, Guides et programmes

PRE-REQUIS :

-
-
-

VOCABULAIRE SPECIFIQUE :

STRATEGIES DE TRAVAIL ET CONSIGNES PARTICULIERES

PLAN DU COURS

1 STRUCTURE DE LA MATIÈRE

- 1.1 Composition du noyau
  - 1.1.1. Les nucléons
  - 1.1.2. Elément chimique
  - 1.1.3. Nucléides
  - 1.1.4. Isotopes
- 1.2 Masse du noyau
  - 1.2.1. Unité de masse atomique
  - 1.2.2. Masse du noyau

2 RADIOACTIVITÉ

- 2.1 Définition
- 2.2 Mise en évidence des particules émises
- 2.3 Loi de conservation
- 2.4 Radioactivité
- 2.5 La radioactivité
- 2.6 La radioactivité
- 2.7 La radioactivité

3 DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

- 3.1 Loi de décroissance radioactive
- 3.2 Période ou « demi-vie » radioactive
- 3.3 Activité d'une substance radioactive
- 3.4 Principe de la datation d'un objet très ancien a l'aide d'un radioélément.
- 3.5 Famille radioactive

4 APPLICATIONS ET DANGERS

- 4.1 Application
- 4.2 Dangers

Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités Professeur	Activité élèves	Trace écrite
Présentation	**Questions-réponses**	**Rappels/ pré requis**	**Les élèves répondent aux questions**	**REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANEES**

Situation d'apprentissage

Au cours des SVT, les élèves de la Tle C du Lycée Moderne d'Adzopé ont appris que les archéologues peuvent déterminer l'âge des vestiges qu'ils récupèrent. Pour ce faire, ils utilisent des connaissances en radioactivité. Emerveillés par cette information, les élèves décident au cours de Physique-Chimie de définir l'activité d'un échantillon, de connaître la loi de décroissance radioactive et de déterminer la constante radioactive, la période, l'activité et l'âge d'un échantillon radioactif.

1. STRUCTURE DE LA MATIÈRE

1.1. Composition du noyau

1.1.1. Les nucléons

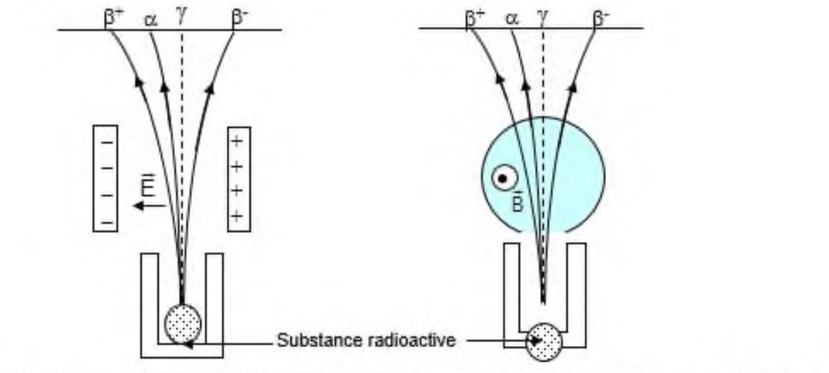
Les nucléons sont les constituants du noyau. On distingue :

- Les protons (charge : $q_p = e = 1,6 .10^{-19}C$; masse : $m_p = 1,67.10^{-27}kg$)
- Les neutrons (charge : $q_n = 0$; masse : $m_n = m_p$)

Le nombre de protons d'un noyau est appelé **numéro atomique** ou **nombre de charge.** On le note **Z.**
Le nombre de neutrons est **N.**
Le nombre de nucléons d'un noyau est appelé **nombre de masse.** Il est noté **A.**

$$A = Z + N$$

				1.1.2. Elément chimique Un élément chimique est l'ensemble des entités chimiques (ions ou atomes) ayant le même numéro atomique **Z.** 1.1.3. Nucléides Un nucléide est un type de noyau caractérisé par son nombre de masse A et son numéro atomique Z. Il est symbolisé par : $^{A}_{Z}X$ où X est le symbole de l'élément chimique. *Exemple* : $^{35}_{17}Cl$; $^{238}_{92}U$. 1.1.4. Isotopes Ce sont des nucléides qui ont le même numéro atomique mais des nombres de masse différents (neutrons différents). Exemple : $^{12}_{6}C$ et $^{14}_{6}C$; $^{16}_{8}O$ et $^{17}_{8}O$ **1.2. Masse du noyau** 1.2.1. Unité de masse atomique L'unité de masse atomique est le douzième de la masse de l'atome de carbone 12 ($^{12}_{6}C$). Elle est notée u et vaut : 1 u = $1{,}66.10^{-27}$kg = 931,5MeV/c^2. 1.2.2. Masse du noyau La masse du noyau X est : $$m_X = A.\,u$$

				2. RADIOACTIVITÉ 2.1. Définition La radioactivité est la désintégration spontanée de noyaux instables par émission d'une part des particules et d'autre part un rayonnement γ très énergétique. On distingue trois types de radioactivité : - la radioactivité α - La radioactivité β^{+} - La radioactivité β^{-} - La radioactivité γ 2.2. Mise en évidence des particules émises Les particules radioactives sont mises en évidence à l'aide de champ électrostatique ou de champ magnétique.  DÉVIATION PAR UN CHAMP ELECTROSTATIQUE DÉVIATION PAR UN CHAMP MAGNÉTIQUE 2.3. Loi de conservation Au cours d'une réaction nucléaire, il y a : - Conservation de charge - Conservation du nombre total de nucléons.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}X'$$

$$A = A_1 + A_2$$
$$Z = Z_1 + Z_2$$

2.4. Radioactivité α

La radioactivité α est l'émission d'un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}H_e$ (${}^{4}_{2}\alpha$) qui accompagne la désintégration d'un noyau lourd ou noyau père X.

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}H_e$$

Exemple

La désintégration de l'uranium conduit au thorium

$${}^{238}_{82}U \rightarrow {}^{234}_{80}Th + {}^{4}_{2}He$$

2.5. La radioactivité β^-

Elle s'accompagne de l'émission d'un électrons (${}^{0}_{-1}e$)

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$$

Exemple :

La désintégration du bismuth conduit au polonium

$${}^{210}_{83}Bi \rightarrow {}^{210}_{84}Po + {}^{0}_{-1}e$$

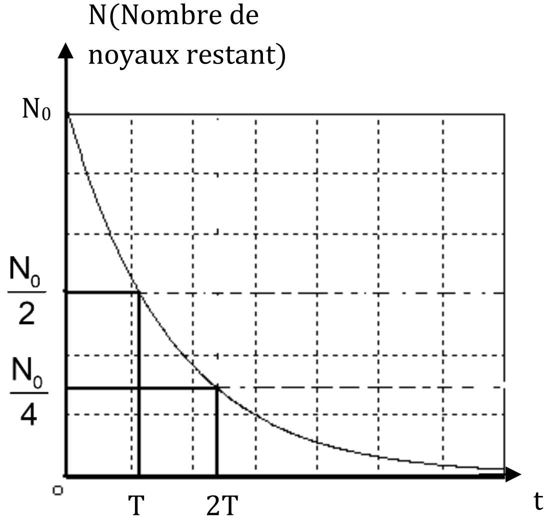
La désintégration du sodium conduit au magnésium

$${}^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e$$

2.6. La radioactivité β^+

Elle correspond à l'émission d'un positon antiparticule de l'électron (${}^{0}_{+1}e$)

				Exemple : La désintégration de l'azote 13 conduit au carbone $^{13}_{7}N \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{13}_{+1}e$ **2.7. <u>La radioactivité γ</u>** Elle consiste à l'émission d'un photon par un noyau lors du retour d'un état excité à l'état fondamental. Elle accompagne les radioactivités α; β^{+} et β^{-}. $^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow ^{A}_{Z}X + ^{0}_{0}\gamma$ $^{A}_{Z}X^{*}$ représente le noyau à l'état excité. **3. <u>DÉCROISSANCE RADIOACTIVE</u>** **3.1. <u>Loi de décroissance radioactive</u>** Soit un échantillon de substance radioactive comportant N noyaux à la date t. A la date t + dt, le nombre de noyau diminue de dN. dN est proportionnelle à la durée dt de désintégration et au nombre N de noyaux présent dans l'échantillon à la date t. $dN = - \lambda N dt$ où λ (s^{-1}) est la constante radioactive du nucléide. Soit $\frac{dN}{N} = - \lambda dt$ Par intégration, on a : $\mathbf{N = N_0}\ e^{-\lambda t}$ Avec N_0 : nombre de noyaux radioactifs à la date t = 0 N : nombre de noyaux restant à la date t. Il décroît suivant une fonction exponentielle du temps.



COURBE DE DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

3.2. Période ou « demi-vie » radioactive

La période radioactive T est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon a disparu. Soit $N = \frac{N_0}{2}$.

$$\frac{N_0}{2} = N_0\, e^{-\lambda T} \quad \rightarrow \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

Exemples de périodes de certains radionucléides

Nucléide	$^{238}_{92}U$	$^{14}_{6}C$	$^{3}_{1}H$	$^{131}_{53}I$	$^{32}_{16}S$	$^{212}_{84}Po$
Période	$4{,}5.10^{9}$ans	$5{,}7.10^{3}$ans	12,3ans	8 jours	3 min	3.10^{-7} s

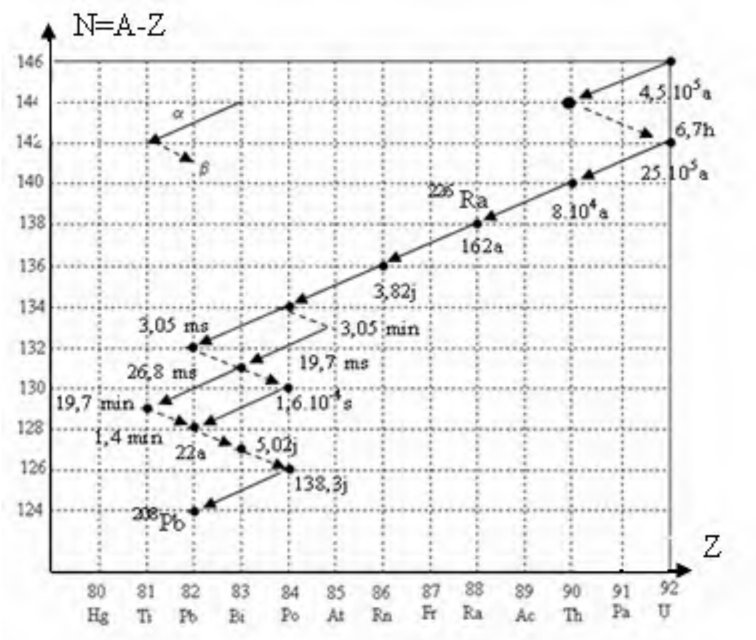
3.3. Activité d'une substance radioactive

L'activité d'une substance radioactive est le nombre de désintégration par seconde.

				On pose $A=-\frac{dN}{dt}=\lambda N=\lambda N_0 e^{-\lambda t}$ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ avec $A_0 = \lambda . N_0$ L'activité s'exprime en Becquerel (Bq). ***Exercice d'application*** Un échantillon contient m = 1 mg de césium $^{137}_{55}Cs$. Le radionucléide a pour période $T = 8{,}25.10^8$s. Calculer l'activité initiale de cet échantillon. **Solution** L'activité initiale est : $A_0 = \lambda N_0$ or $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ soit $A_0 = \frac{N_0 \ln 2}{T}$; $N_0 = N_0 = nN_A = \frac{m}{M} N_A$ Soit $A_0 = A_0 = \frac{m}{M} N_A \frac{\ln 2}{T} = \frac{10^{-3} \times 6{,}02.10^{23} \times \ln 2}{137 \times 8{,}25.10^8}$ A.N : $\underline{A_0 = 3{,}69.10^9 Bq}$ **3.4. Principe de la datation au carbone 14** $A = A_0 e^{-\lambda t} \Longrightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t} \Longrightarrow \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -\lambda t \Longrightarrow t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$ La datation de matériaux organiques (végétaux ou animaux) est possible en mesurant l'activité du carbone 14 ($^{14}_{6}C$) dans l'échantillon. Pour le carbone 14, T = 5568 ans. Dès qu'un être vivant meurt, le carbone 14 n'est plus renouvelé : sa proportion se met à décroître. Pour déterminer l'âge du matériau mort, on mesure l'activité A du carbone 14 d'un échantillon de matériau mort et connaissant A_0 on applique la formule : $\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)}$

3.5. Famille radioactive

Une famille radioactive est composée d’un ensemble de nucléides radioactifs issus d’un noyau initial instable (père), qui par désintégration en cascade, conduit à un noyau final stable.



Famille radioactive de l’uranium- radium

Exemples :

- la famille de l’uranium
- la famille du radium

4. Applications et dangers

4.1. Application

Biologie et Médecine : traitement des tumeurs cancéreuses, stérilisation de matériels …

Agronomie : étude de l’absorption des engrais …

Histoire : datation au carbone 14 …

4.2. Dangers

En traversant la matière, les « rayonnements » radioactifs provoquent des ionisations et des excitations d’atomes. Ce qui entraîne des réactions chimiques anormales.

				En fonction de la quantité de rayonnements absorbée on peut observer les manifestations suivantes : nausées, vomissements, diarrhées, trouble sanguin, cancers et la mort.

SITUATION D'EVALUATION

Au cours de ses recherches, Koffi a découvert dans un livre scientifique que la catastrophe de la centrale nucléaire de TCHERNOBYL, a libéré dans l'atmosphère des éléments radioactifs parmi lesquels on a le Césium 137 (${}^{137}_{55}Cs$) et l'iode 131(${}^{131}_{53}I$). Cette catastrophe a eu lieu précisément le 26 Avril 1986. Il sait néanmoins que le césium 137 est radioactif β^- et sa période est T = 30 ans.

On donne :

${}^{135}_{52}Te$	${}^{132}_{54}Xe$	${}^{131}_{53}I$	${}^{137}_{56}Ba$

Le lendemain en classe, Koffi te sollicite afin de l'aider à déterminer le temps au duquel les noyaux radioactifs initiaux se seront pratiquement tous désintégrés.

1. Ecris l'équation de la désintégration du césium 137 tout en identifiant le noyau fils
2. Définis la période d'un nucléide radioactif.
3. Calcule sa constante radioactive λ.
4.

   4.1. Donne l'expression du nombre de noyaux N(t) restant à l'instant t en fonction du nombre initial de noyaux radioactifs N_0, de la constante radioactive λ et du temps t

   4.2. Calcule le pourcentage de noyaux désintégrés à la date du 26 Avril 2018.

   4.3. Détermine le temps au bout duquel 99% du nombre initial de noyaux se seront désintégrés.