FOMESOUTRA

ÇA SOUTRA !!!

COURS DE PC

TERMINALE C

Tle C

1ière édition

BY TEHUA

2025

PROGRESSION DE PHYSIQUE-CHIMIE TERMINALE C (Tle C) 2024-2025

Mois	Semaine	Physique – Thème	Physique – Leçon	Physique – Durée	Chimie – Thème	Chimie – Leçon	Chimie – Durée
SEPT.	1	MÉCANIQUE	Cinématique du point	10h	CHIMIE ORGANIQUE	Les alcools	8h
	2						
	3						
OCT.	4		Mouvement du centre d'inertie d'un solide	6h			
	5		Interaction gravitationnelle	5h		Composés carbonylés : aldéhydes et cétones	3h
	6		Mouvements dans les champs ($\vec{g}$ et $\vec{E}$) uniformes	8h			
	7					Acides carboxyliques et dérivés	2h
NOV.			**Congés de la Toussaint**			**Congés de la Toussaint**	
	8		Oscillations mécaniques libres	6h		Acides carboxyliques et dérivés (Suite et fin)	2h
	9					Fabrication d'un savon	2h
	10	ÉLECTROMAGNETISME	Champ magnétique	4h		**Évaluation/Remédiation**	2h
DEC.	11		Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme	6h	CHIMIE GÉNÉRALE	Solutions aqueuses. Notion de pH	4h
	12						
	13		Loi de Laplace	4h		Acide fort – Base forte	2h
			Congés de Noël			**Congés de Noël**	
JANV.							
	14		Induction électromagnétique	10h		Acide fort – Base forte (Suite et fin)	2h
	15					**Évaluation/Remédiation**	2h
	16						
FEV.	17		Auto-induction	4h		Acide faible – Base faible	2h
			Congés de Février			**Congés de Février**	
	18	ÉLECTRICITÉ	Montages dérivateur et intégrateur	2h		Acide faible – Base faible (Suite et fin)	2h
			Oscillations électriques libres dans un circuit LC	6h			
	19					Couples acide/base-Classification	3h
MARS	20		Circuit RLC en régime sinusoïdal forcé	4h			
	21		Résonance d'intensité d'un circuit RLC série	4h		Réactions acido-basiques. Solutions tampons	10h
			Puissance en courant alternatif	2h			
	22	PHYSIQUE NUCLÉAIRE	Modèle ondulatoire de la lumière	4h			
	23						
AVRIL	24		Modèle corpusculaire de la lumière	3h			
	25		Réactions nucléaires spontanées	6h			
			Congés de Pâques			**Congés de Pâques**	
	26		Réactions nucléaires provoquées	4h		Dosage acido-basique	2h
MAI	27		**Évaluation/Remédiation**	4h		**Évaluation/Remédiation**	2h
	28		**Remédiation**	4h		**Remédiation**	2h
	29		**Révision**	4h		**Révision**	2h
	30		**Révision**	4h		**Révision**	2h

Le Coordonnateur National Disciplinaire

AMANI KOUAKOU

Physique

CINEMATIQUE DU POINT

1- SITUATION D'APPRENTISSAGE

Au cours d'une évaluation en athlétisme, au lycée moderne d'Abengourou, un élève de la Termine D parcourt un trajet constitué d'une piste rectiligne et d'une autre curviligne. Sur la piste rectiligne, il démarre sans vitesse initiale, accélère pour atteindre une vitesse qu'il maintient constante pour le reste du trajet. Ayant observé attentivement le parcours de leur camarade, les élèves de la classe décident le lendemain, pendant le cours de Physique-chimie, d'approfondir leurs connaissances sur les mouvements. A l'aide d'enregistrements, ils cherchent à déterminer les équations horaires des différents mouvements et à les utiliser.

2- CONTENUS

- **DEFINITIONS**
  - **Le référentiel**

Un référentiel est un objet ou un système d'objets par rapport auquel on décrit le mouvement d'un objet.

- **Le repère d'espace**

Un repère d'espace est un système d'axes lié à un référentiel dans lequel on étudie le mouvement d'un objet. Il permet de définir la position d'un point mobile grâce aux coordonnées.

Un repère, généralement utilisé, est orthonormé. Exemple : le repère d'espace R (O,$\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$)

- **Le repère temps**

Il permet de situer un point mobile dans le temps. Le repère temps est défini par un instant-origine choisi arbitrairement comme origine des dates (t = 0s).

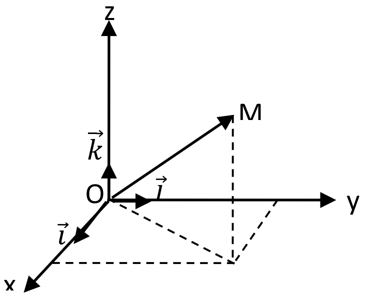
- **Trajectoire d'un point matériel**

La trajectoire est l'ensemble des positions successives occupées par un point matériel au cours de son mouvement.

- **VECTEUR-POSITION**
  - **Définition**

Le vecteur position $\overrightarrow{OM}$ est un vecteur qui donne la position d'un point matériel M dans un repère d'espace à chaque instant t.

- **Expression dans un repère cartésien**



Son expression est : $\overrightarrow{OM} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$

(x, y, z) sont les coordonnées cartésiennes du vecteur-position $\overrightarrow{OM}$ ou les **équations horaires** ou **équations paramétriques** du mouvement.

Remarque : L'**équation cartésienne de la trajectoire** du point mobile M est la relation qui lie les coordonnées cartésiennes **x**, **y** et **z**.

- **VECTEUR-VITESSE**
  - **Définition**

Le vecteur-vitesse instantanée est la dérivée du vecteur-position par rapport au temps.

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

- **Expression du vecteur-vitesse instantanée**
  - **Par les coordonnées cartésiennes**

$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\vec{\imath} + y\vec{\jmath} + z\vec{k})$

$\vec{v} = \frac{dx}{dt}\vec{\imath} + \frac{dy}{dt}\vec{\jmath} + \frac{dz}{dt}\vec{k}$ **ou** $\vec{v} = \dot{x}\vec{\imath} + \dot{y}\vec{\jmath} + \dot{z}\vec{k}$

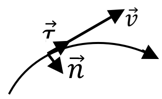
$(\frac{dx}{dt}; \frac{dy}{dt}; \frac{dz}{dt})$ ou $(\dot{x}; \dot{y}; \dot{z})$ sont les coordonnées du vecteur-vitesse instantanée dans le repère cartésien R (O,$\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$).

La valeur de la vitesse : $\mathbf{v} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$

Elle s'exprime en **m/s.**

- **Dans la base de Frenet**

La base de Frenet $(\vec{\tau}, \vec{n})$ est une base liée au point matériel mobile M.



$\vec{\tau}$: Vecteur unitaire tangent à la trajectoire ;

$\vec{n}$ **:** Vecteur unitaire normal à $\vec{\tau}$ et orienté vers la concavité de la trajectoire**.**

Expression : $\vec{v} = v\vec{\tau}$, avec $\mathbf{v} = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$

- **VECTEUR-ACCELERATION**
  - **Vecteur-accélération instantanée**

Le vecteur-accélération instantanée est la dérivée du vecteur-vitesse instantanée par rapport au temps.

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

Le vecteur-accélération instantanée est la dérivée seconde du vecteur-position instantanée par rapport au temps. $\vec{a} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}$

- **Expression du vecteur-accélération**
  - **Dans le repère cartésien**

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(\dot{x}\vec{\imath} + \dot{y}\vec{\jmath} + \dot{z}\vec{k})$

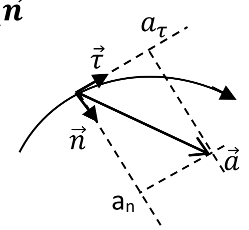
$\vec{a} = \ddot{x}\vec{\imath} + \ddot{y}\vec{\jmath} + \ddot{z}\vec{k}$ où $(\ddot{x}; \ddot{y}; \ddot{z})$ sont les coordonnées du vecteur-accélération dans le repère cartésien R (O,$\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$).

Sa valeur est : $\mathbf{a} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}$

Elle s'exprime en **m/s².**

- **Dans la base de Frenet**

Dans la base de Frenet, on a : $\vec{a} = a_t\vec{\tau} + a_n\vec{n}$



$$\vec{a}\begin{cases} a_\tau = \frac{dv_\tau}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \ddot{s} \text{ accélération tangentielle} \\ a_n = \frac{v^2}{\rho} \text{ accélération normale} \end{cases}$$

Son expression vectorielle est **:** $\vec{a} = \frac{dv_\tau}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\vec{n}$ **:**

Remarques

- $\boldsymbol{\rho}$ est le rayon de courbure de la trajectoire.
- Si la trajectoire est circulaire $\boldsymbol{\rho}$ = R = rayon du cercle.

Sa valeur est : $\mathbf{a} = \sqrt{\mathbf{a_\tau}^2 + \mathbf{a_n}^2}$

- **Mouvement accéléré- mouvement retardé**

- $\vec{a}.\vec{v}$ > **0** le mouvement est **accéléré ;**
- $\vec{a}.\vec{v}$ < **0** le mouvement est **retardé ;**
- $\vec{a}.\vec{v}$ **= 0** le mouvement est **uniforme.**

ETUDE DE QUELQUES MOUVEMENTS

- **Mouvement rectiligne uniforme**
  - **Définition**

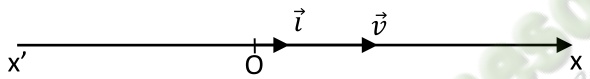
Un point mobile décrit un mouvement rectiligne uniforme lorsque son vecteur-vitesse instantanée est constant : $\vec{v} = \overrightarrow{cst}$

L'accélération est nulle **a = 0 m/s²**.

  - **Equations horaires**

Expressions vectorielles : $\begin{cases} \vec{a} = \vec{0} \\ \vec{v} = \overrightarrow{v_0} \\ \overrightarrow{OM} = \overrightarrow{v_0}\,\mathbf{t} + \overrightarrow{OM_0} \end{cases}$

Sur un repère unitaire (O, $\vec{\imath}$), les équations horaires sont :



$$\begin{cases} \mathbf{a} = \mathbf{0\ m/s^2} \\ \mathbf{v} = \boldsymbol{v_0};\ \ avec\ \ v_0 \text{ : vitesse initiale} \\ \mathbf{x} = \boldsymbol{v_0 t} + \boldsymbol{x_0};\ \ avec\ \ x_0 \text{ : abscisse initiale} \end{cases}$$

- **Mouvement rectiligne uniformément varié**
  - **Définition**

Un point mobile décrit un mouvement rectiligne uniformément accéléré si sa trajectoire est rectiligne (ou une droite) et si son vecteur-accélération est constant.

  - **Equations horaires**

Dans un mouvement rectiligne uniformément accéléré, sur l'axe (O,$\vec{\imath}$) :

- L'accélération est constante ; $a_x = cte$
- La vitesse est une fonction affine du temps : $v_x = a_x$t + v_{0x} ;
- L'abscisse x du point mobile est une fonction du second degré du temps : $x = \frac{1}{2}.a_x.\text{t}^2 + v_{0x}.\text{t} + x_0$

Les équations horaires du mouvement peuvent se mettre sous forme vectorielle :

$$\begin{cases} \vec{a} = \boldsymbol{a}\,\vec{\imath} \\ \vec{v} = \vec{a}\boldsymbol{t} + \overrightarrow{v_0} \\ \overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}.\vec{a}.\mathbf{t}^2 + \overrightarrow{v_0}.\mathbf{t} + \overrightarrow{OM_0} \end{cases}$$

  - **Relation entre a, Δx et Δv^2**

Entre deux dates : $v_1^2 - v_0^2 = 2a(x_1 - x_0)$ ou encore $\Delta v^2 = 2.a.\Delta x$

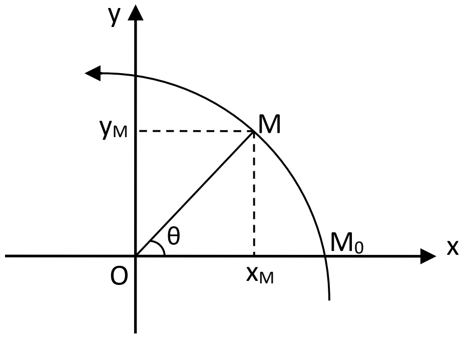
- **Mouvement circulaire uniforme**
  - **Définition**

Un point mobile décrit un mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est circulaire (ou un cercle) et si la valeur algébrique de sa vitesse est constante.

- **Repérage d'un point sur un cercle**

On peut repérer un point matériel mobile M sur un cercle par :

- Ses coordonnées cartésiennes (x, y, z) ;
- Son abscisse curviligne s = $\widehat{M_0M}$;
- Son abscisse angulaire θ = $(\widehat{\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM}})$.



On établit : $\begin{cases} \mathbf{x_M = R\cos\theta} \\ \mathbf{y_M = R\sin\theta} \end{cases}$

Et $\mathbf{s_M = R\theta}$

- **Vitesse et accélération dans la base de Frenet**

- $\vec{v} = v_\tau\vec{\tau}$; $v_\tau = \frac{ds}{dt}$ = R $\frac{d\theta}{dt}$ = R**ω** (ω est la vitesse angulaire (rad/s)) → $\vec{v}$ **=Rω** $\vec{\tau}$
- $\vec{a}$ = $a_n\vec{n}$; $a_n = \frac{v^2}{R}$ = Rω^2 → $\vec{a}$ **=** $\mathbf{R\omega^2\vec{n}}$ ($\vec{a}$ est normal et centripète)

- **Equations horaires**

- Abscisse angulaire : $\frac{d\theta}{dt} = \omega$ → $\mathbf{\theta = \omega\, t + \theta_0}$
- Abscisse curviligne : s = $\mathbf{R(\omega t + \theta_0) = v\, t}$ + s_0
- Abscisse cartésiennes : $\begin{cases} \mathbf{x_M = R\cos(\omega\, t + \theta_0)} \\ \mathbf{y_M = R\sin(\omega\, t + \theta_0)} \end{cases}$

L'équation cartésienne de la trajectoire circulaire est : $\mathbf{x^2 + y^2 = R^2}$

3-<u>SITUATION D'EVALUATION</u>

<u>Enoncé</u>

Sur l'autoroute du nord, une automobile A est à l'arrêt au niveau d'une borne qu'on nommera O. Au moment de son démarrage, elle est dépassée par un mini bus B de transport se déplaçant à la vitesse constante $v_B = 25m/s$.

L'automobile A accélère uniformément avec une accélération $a_A = 6\ m/s^2$.

L'instant de démarrage de l'automobile A est pris comme origine des dates et la borne O est prise comme origine des espaces. On admet que la portion de route sur laquelle se déplacent les véhicules est une droite. Sur les autoroutes ivoiriennes, la vitesse maximale autorisée est de 120 km/h.

Ton Professeur de Physique-Chimie, ayant assisté à la scène, te demande de déterminer les équations horaires des mouvements des deux véhicules et de montrer que l'automobiliste est en faute.

1- Donne en justifiant la nature du mouvement de chaque véhicule.
2- Etablis :
   2.1- les équations horaires $v_A(t)$ et $x_A(t)$ de l'automobile A en fonction du temps.
   2.2- l'équation horaire $x_B(t)$ du mini bus B en fonction du temps.
3- Détermine :
   3.1- la date t_R à laquelle l'automobile A rattrape le mini bus B.
   3.2- la distance parcourue par chaque véhicule à partir de la borne O.
   3.3- la vitesse de l'automobile A à la date t_R.
4- Justifie que l'automobiliste est en faute.

<u>Solution</u>

1. L'automobile A décrit un mouvement rectiligne uniformément varié (accéléré) car sa trajectoire est rectiligne et la valeur de son accélération est constante ;

Le minibus B décrit un mouvement rectiligne uniforme car sa trajectoire est rectiligne et la valeur de sa vitesse est constante.

2. Equations horaires

2.1 $v_A(t) = a_A.t + v_{0A} = 6.t$ car $v_{0A} = 0$ m/s

$x_A(t) = \frac{1}{2}.a.t^2 + v_{0A}.t + x_{0A} = 3.t^2$ car $x_{0A} = 0$ m

2.2 $x_B(t) = v_{0B}.t + x_{0B} = 25.t$ car $x_{0B} = 0$ m

3.1 A $t = t_R$ on a : $x_A(t_R) = x_B(t_R)$ ou encore $3.t^2 = 25.t$. La solution physiquement acceptable est $t_R = \frac{25}{3} = 8{,}33$ s

3.2 Distance parcourue : $d_R = 25.t_R = 25\times8{,}33 = 208{,}25$ m

3.3 Vitesse $v_{AR} = 6.t_R = 6\times8{,}33 = 49{,}98 = 50$ m/s

4. $v_{AR} = 50\times\frac{3600}{1000} = 180$ km/h $>$ 120 km/h. L'automobiliste a dépassé la vitesse maximale autorisée : il est en faute.

4- <u>EXERCICES</u>

<u>Exercice</u> 1

Un point M est repéré dans R $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath},\vec{k})$ par le vecteur-position $\overrightarrow{OM} = -2t\,\vec{\imath} + t^2\vec{\jmath}$ (cm).

1) Donne les équations horaires du mouvement de M.

2) Détermine les vecteurs-positions aux dates $t_0 = 0$ s et $t_1 = 1$ s.

<u>Solution</u>

1- Les équations horaires : $\begin{cases} x = -2t \\ y = t^2 \\ z = 0 \end{cases}$

2- A $t_0 = 0$ s, $\overrightarrow{OM_0} = \vec{0}$

A $t_1 = 1$ s, $\overrightarrow{OM_1} = -2\,\vec{\imath} + \vec{\jmath}$

<u>Exercice</u> 2

Un point M est repéré dans un repère $R(O,\vec{\boldsymbol{\imath}},\vec{\boldsymbol{\jmath}},\vec{\boldsymbol{k}})$ par ses coordonnées cartésiennes ($x = 2t$; $y = -t^2$; $z = 0$) exprimées en mètre.

1. Détermine les coordonnées du vecteur-vitesse $\vec{v}$.
2. Calcule la valeur de la vitesse à $t = 0{,}5$s.

<u>Solution</u>

1) ($v_x = 2$; $v_y = -2t$; $v_z = 0$)

2) $v = \sqrt{2^2 + 1^2 + 0^2} = 2{,}24$ m/s

<u>Exercice</u> 3

Un point M est repéré dans R par ses coordonnées cartésiennes ($x = 2t$; $y = -t^2$)

1. Donne les coordonnées du vecteur-accélération $\vec{a}$
2. Calcule sa valeur à $t = 1$s.
3. Vérifie si le mouvement est accéléré ou retardé.

<u>Solution</u>

1) ($a_x = 0$; $a_y = -2$) 2) $a = \sqrt{0^2 + 2^2} = 4$ m/s^2 ; $a.v = -2t \times (-2) = 4t > 0$ mvt accéléré.

<u>Exercice</u> 4

On donne les équations horaires, exprimées en mètre (m), de différents mouvements d'un point mobile M :

$x = 2t$; $x = 2t^2 - t + 1$; $x = \frac{2}{t} + 3$; $x = t - 1$; $x = \frac{1}{2t^2}$; $x = \frac{1}{2}t^2$

1. Donne l'équation horaire $x = f(t)$ d'un solide animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

2. Identifie parmi ces équations horaires ci-dessus celles correspondant à un mouvement rectiligne uniforme.
3. Retrouve chaque cas la vitesse initiale v_0 et de la position initiale x_0 de M.

Solution

1) Equation horaire : $x = v_0 t + x_0$
2) Mouvement rectiligne uniformément varié : x = -2t et x = t – 1
3) Valeurs de v_0 et x_0
   Pour x = -2t ; v_0 = -2 m/s et x_0 = 0 m ;
   Pour x = t – 1; v_0 = 1 m/s et x_0 = -1 m

Exercice 5

On donne les équations horaires, exprimées en mètre (m),de différents mouvements d'un pointmobile M:
$x = 2t$; $x = 2t^2 - t + 1$; $x = \frac{2}{t} + 3$; $x = t - 1$; $x = \frac{1}{2t^2}$; $x = -\frac{1}{2}t^2 - 3$

1. Donne l'équation horaire x = f(t) d'un solide animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié.
2. Identifie parmi ces équations horaires ci-dessus celles correspondant à un mouvement rectiligne uniformément varié
3. Retrouve chaque cas l'accélération a, la vitesse initiale v_0 et de la position initiale x_0 de M.

Solution

1) Equation horaire : $x = \frac{1}{2}.a_0.t^2 + v_0.t + x_0$
2) Mouvement rectiligne uniformément varié : $x = 2t^2 - t + 1$ et $x = -\frac{1}{2}t^2 - 3$
3) Valeurs de a, v_0 et x_0
   Pour $x = 2t^2 - t + 1$; a = 4 m/s^2; v_0 = - 1 m/s et x_0 = 1 m ;
   Pour $x = -\frac{1}{2}t^2 - 3$; a= -1 m/s^2; v_0 = 0 m/s et x_0 = -3 m.

Exercice 6

Au cours d'un entrainement, à bord de son avion de voltige, un pilote fait un « looping » en décrivant une trajectoire circulaire situé dans le plan vertical. Sa vitesse est supposée constante et égale à
v = 1800 km/h. Il subit alors une accélération $a = 10 \times g$, avec g = 10 m/s^2.

1- Vérifie que :
   1.1. le mouvement de l'avion est circulaire uniforme.
   1.2. la valeur de l'accélération normale de l'avion vaut a_n = 100 m/s^2.
   1.3. la vitesse de l'avion est V = 500 m/s.
2- Calcule le rayon R de la trajectoire circulaire décrite par l'avion.
3- Détermine la vitesse angulaire ω de l'avion.

Solution

1.
   1.1. La trajectoire est circulaire et la valeur de la vitesse est constante : le mouvement de l'avion est circulaire uniforme.
   1.2. Le mouvement de l'avion est circulaire uniforme :
   1.3. $a_n = a = 10.g = 10\times10 = 100$ m/s^2
   1.4. Vitesse de l'avion : $v = 1800\times\frac{1000}{3600} = 500$ m/s
2. Rayon de la trajectoire : $R = \frac{v^2}{a_n} = \frac{500^2}{100} = 2500$ m
3. Vitesse angulaire : $\omega = \frac{v}{R} = \frac{500}{2500} = 0{,}2$ rad/s

Autre méthode : $\omega = \sqrt{\frac{a_n}{R}} = \sqrt{\frac{100}{2500}} = 0{,}2$ rad/s

Exercice 7

Le mouvement d'un mobile ponctuel se déplaçant dans un plan P est circulaire uniforme. La valeur de son vecteur-accélération $\vec{a}$ est a = 2,56 m.s^{-2} et son abscisse angulaire a pour expression $\theta = 2t + \frac{\pi}{2}$.

Au cours d'une séance de travaux dirigés en classe de T^{le} D_4 au L.M. Abengourou, le Professeur de Physique-Chimie demande à ses élèves d'utiliser l'équation horaire θ = f(t) pour déterminer la date à laquelle le mobile décrira un cercle complet pour la première fois.

Tu es le rapporteur de la classe, réponds aux questions ci-dessous :

1. Donne :
   1.1.la définition d'un mouvement circulaire uniforme.
   1.2.la valeur de la vitesse angulaire ω du mobile.
   1.3.la valeur de l'abscisse angulaire initiale θ_0 du mobile.
2. Calcule la valeur :
   2.1. du rayon de courbure R de la trajectoire.
   2.2. de la vitesse linéaire v du point mobile.
   2.3. de l'abscisse curviligne initiale s_0
3. Détermine :
   3.1. l'expression de son abscisse curviligne s en fonction du temps.
   3.2. l'abscisse curviligne à la date t = 2 s.
4. En déduis la date t à laquelle le mobile décrit un cercle complet pour la première fois.

Solution

1.

1.1. Un point mobile décrit un mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est circulaire (ou un cercle) et si la valeur algébrique de sa vitesse est constante.

1.2. ω = 2 rad/s

1.3. $\theta_0 = \frac{\pi}{2}\ rad$

2.

2.1. $R = \frac{a}{\omega^2} = \frac{2{,}56}{2^2} = 0{,}64$ m

2.2. v = R.ω = 0,64×2 = 1,28 m/s

2.3. $s_0 = R.\theta_0 = 0{,}64\times\frac{\pi}{2} = 1$ m

3.

3.1. $s = v.t + s_0 = 1{,}28.t + 1$

3.2. s(2) = 1,28×2 + 1 = 3,56 m

4. Pour tour complet θ = 2.π or $\theta = 2t + \frac{\pi}{2}$. On tire $t = \frac{2.\pi - \frac{\pi}{2}}{2} = 2{,}36$ s

MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Dans le car de transport le ramenant d'ABIDJAN, un élève de la Terminale C du Lycée Moderne Abengourou observe le mouvement d'une petite poupée suspendue au rétroviseur interne, par l'intermédiaire d'un fil inextensible. Il constate 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.

Arrivé en classe, il informe ses camarades. Très émerveillés, ils cherchent à comprendre ces observations. Alors ils décident de définir un référentiel galiléen et d'établir un lien entre l'accélération et les forces extérieures appliquées au système.

2. CONTENUS

- **LES REFERENTIELS GALILEENS**
  - **Définition d'un référentiel galiléen**

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

  - **Exemples de référentiel galiléen**

Le référentiel de Copernic ou héliocentrique :

Il a pour origine le centre du système solaire et pour axes, trois axes dirigés vers trois étoiles fixes.

Le référentiel Géocentrique :

Il a pour origine le centre d'inertie de la terre. Ces axes sont ceux du référentiel héliocentrique.

Le référentiel Terrestre ou celui du laboratoire :

Le solide de référence est un objet immobile situé sur la terre (un arbre, un mur, …). Il est supposé galiléen pour les expériences de courtes durées.

- **THEOREME DU CENTRE D'INERTIE**
  - **Enoncé du théorème du centre d'inertie**

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système est égale au produit de la masse de ce système par le vecteur-accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{f}_{ext} = m.\vec{a}_G$

  - **Enoncé du théorème de l'énergie cinétique**

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants est égale à la somme algébrique des travaux effectués entre les deux instants par toutes les forces extérieures appliquées au système :

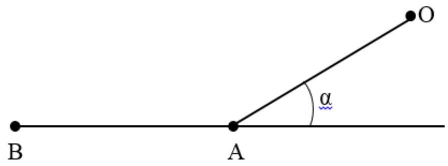
$$\Delta E_C = E_{C_B} - E_{C_A} = \sum W_{AB}(\vec{f}_{ext})$$

3. SITUATION D'EVALUATION

Un automobiliste laisse son véhicule en stationnement au sommet O d'une côte de longueur $\ell = 500\ m$ et qui fait avec l'horizontale un angle α = 20°. Malheureusement le frein à main de la voiture se desserre partiellement ; celle-ci descend alors et parvient au bas de la côte (au point A) avec une vitesse $v_A = 15\ m/s$, étant animée d'un mouvement supposé rectiligne uniformément varié.

La masse de la voiture est m = 800 kg et l'intensité de la pesanteur vaut g = 9,8 N/kg. L'intensité f de la résultante $\vec{f}$ des forces de frottement qui s'exercent sur la voiture est supposée constante tout au long du trajet OB. Cette force $\vec{f}$ est parallèle à la route et opposée au vecteur-vitesse instantanée.

Parvenue en A au bas de la côte, la voiture continue son mouvement sur une route rectiligne en ralentissant jusqu'en B où elle s'immobilise sous l'action des mêmes forces de frottements.



Au cours d'une séance de Travaux dirigés, le Professeur de PHYSIQUE-CHIMIE demande à ces élèves en classe de Terminale C de déterminer la distance L = AB que parcourt la voiture avant de s'arrêter au point B en appliquant le théorème de l'énergie cinétique. Tu es le rapporteur de la classe.

1- Enonce le théorème du centre d'inertie.
2- Calcule la valeur de l'accélération $\vec{a}$ de la voiture entre O et A.
3- Etude du mouvement sur le trajet OA
   3.1- Précise le système étudié et le référentiel ;
   3.2- Fais le bilan des forces extérieures appliquées au système ; puis représente-les sur un schéma ;
   3.3- Exprime l'accélération a de la voiture en fonction de m, g, f et α.
   3.4- Détermine l'intensité f de la résultante $\vec{f}$ des forces de frottement qui s'exercent sur la voiture :
      3.4.1- A partir de la question 3.3-.
      3.4.2- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique
4- Etude du mouvement sur le trajet AB
   4.1- Fais le bilan des forces extérieures appliquées à la voiture entre A et B, puis représente-les.
   4.2- Détermine la distance L = AB.

Solution

1. Théorème du centre d'inertie

   Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système est égale au produit de la masse de ce système par le vecteur-accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{f}_{ext} = m.\vec{a}_G$.

2. Valeur de a

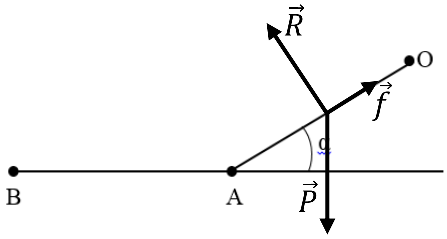
   On a un mouvement rectiligne uniformément varié, d'où :

   a = $\frac{\Delta v^2}{2\Delta l} = \frac{v_A^2 - v_0^2}{2.l} = \frac{15^2 - 0^2}{2 \times 500}$ = 0,225 m/s².

3. Trajet OA

   3.1- Système : voiture
   Référentiel terrestre supposé galiléen

   3.2- Bilan des forces :

<table>
<tr><th>Forces</th><th>Représentation</th></tr>
<tr><td>$\vec{P}$: poids du solide ;
$\vec{R}$: réaction de la piste ;
$\vec{f}$: résultante des forces de frottement</td><td>
</td></tr>
</table>

3.3- Appliquons le théorème du centre d'inertie : $\vec{R} + \vec{P} + \vec{f} = m.\vec{a}$

Projection sur $\overrightarrow{OA}$: 0 + m.g.sinα – f = m.a ; d'où $a = g.\sin\alpha - \frac{f}{m}$

3.4-

3.4.1. D'après la question 3.3., on tire f = m(g.sinα – a)

A.N : f = 800×(9,8 ×sin20° - 0,225) = 2 501,4 N.

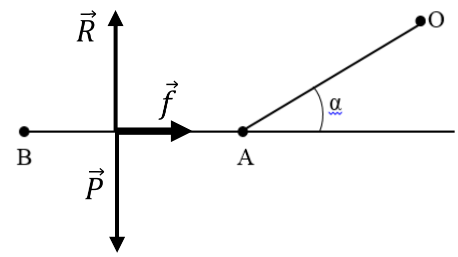
3.4.2. $\Delta E_C = \sum W(\vec{f}) \longrightarrow E_{C_A} - E_{C_O} = W(\vec{f}) + W(\vec{R}) + W(\vec{P}) \longrightarrow$

$\frac{m.v_A^2}{2} - 0 = -f.l + 0 + m.g.l.sin\alpha \longrightarrow f = m(g.sin\alpha - \frac{v_A^2}{2.l})$

A.N : $f = 800\times(9{,}8 \times \sin(20°) - \frac{15^2}{2\times500}) = 2\,501{,}4$ N.

4. Trajet AB

2.1- Bilan des forces et représentation

<table>
<tr><th>Forces</th><th>Représentation</th></tr>
<tr><td>$\vec{P}$: poids du solide ;
$\vec{R}$: réaction de la piste ;
$\vec{f}$: résultante des forces de frottement</td><td>
</td></tr>
</table>

2.2- Valeur de AB = L

$\Delta E_C = \sum W(\vec{f}) \longrightarrow E_{C_B} - E_{C_A} = W(\vec{f}) + W(\vec{R}) + W(\vec{P}) \longrightarrow$

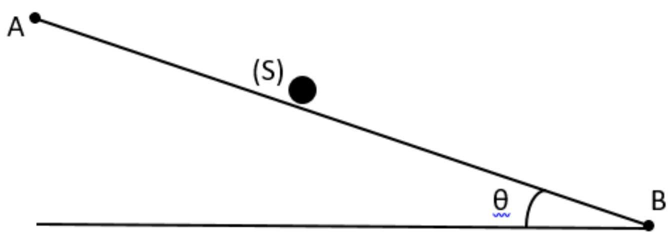
$0 - \frac{m.v_A^2}{2} = - f.L + 0 + 0 \longrightarrow L = \frac{m.v_A^2}{2.f}$

A.N : $L = \frac{800\times15^2}{2\times2501{,}4} = 36$ m.

4. EXERCICES

Exercice 1

Un solide ponctuel (S) de masse m = 100g est abandonné sans vitesse initiale, en un point A. Il glisse sur une piste rectiligne AB incliné d'un angle $\theta = 30^0$ par rapport à l'horizontale. On néglige les forces de frottement sur ce trajet (Voir figure).

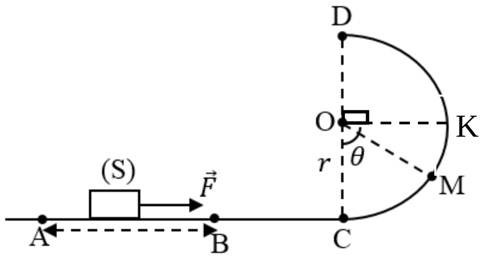


On donne : g = 10m.s^{-2}.

1. **1.** Représente les forces extérieures qui agissent sur le solide.
2. **2.** Détermine l'expression de l'accélération du solide en utilisant le théorème du centre d'inertie
3. **3.** Calcule la valeur de cette accélération.

<u>Exercice</u> 2

Lors d'une séance de TD, un groupe d'élèves de la classe de la TD$_4$ au lycée moderne Abengourou étudie le mouvement d'un solide sur une piste ACKD. Le solide initialement au repos en A, est lancé sur la piste ACD en faisant agir sur lui, le long de la partie AB une force $\vec{F}$ horizontale et d'intensité constante F. La portion CD est un demi-cercle de centre O et de rayon r. La piste ACD est parfaitement lisse et la résistance de l'air est négligeable.



On donne : $m = 0{,}5$ g ; $r = 1\ m; AB = L = 1{,}5\ m;$ g $= 10\ m.s^{-2}$.

Le Professeur leur demande d'appliquer le théorème du centre d'inertie afin de déterminer la valeur minimale F_0 de F pour que le solide quitte la piste au point K.

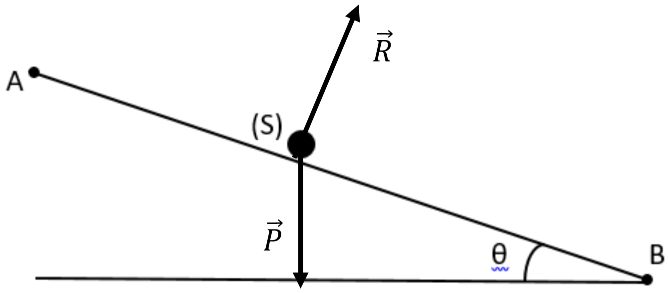
Tu es le rapporteur du groupe, réponds aux questions ci-dessous :

1.
   - 1.1. Définis un référentiel galiléen ;
   - 1.2. Enonce le théorème du centre d'inertie.
2. Trajet AC
   - 2.1. Cite les forces extérieures qui s'exercent sur le solide entre A et B, puis représente-les ;
   - 2.2. Exprime la vitesse v_B du solide (S) au point B en fonction de F, L et m.
   - 2.3. Cite les forces extérieures qui s'exercent sur le solide entre B et C, puis représente-les ;
   - 2.4. Montre que $v_C = v_B$
3. Trajet CD
   - 3.1. Cite les forces extérieures qui s'exercent sur le solide entre C et D, puis représente-les ;
   - 3.2. Exprime la vitesse v_M du solide (S) au point M en fonction de $F, L, m,$ g$, r$ et θ ;
   - 3.3. Exprime l'intensité de la réaction $\vec{R}$ de la piste sur le solide au point M en fonction de $F, L, m,$ g$, r$ et θ.
4. Le solide (S) quitte la piste au point K. Déduis :
   - 4.1. La valeur minimale F_0 de F.
   - 4.2. La vitesse du solide au point K.

<u>Solution des exercices</u>

Exercice 1

1. Système : solide
   Référentiel terrestre supposé galiléen
   Bilan des forces :
   $\vec{P}$: Poids du solide
   $\vec{R}$: Réaction de la piste
   Représentation des forces



2. Expression de l'accélération

   Appliquons le théorème du centre d'inertie : $\vec{R}$ + $\vec{P}$ = m.$\vec{a}$

   Projection sur $\overrightarrow{AB}$: 0 + m.g.sinθ = m.a ; d'où a = g.sinθ

3. Valeur de l'accélération

   a = 10×sin30° = 0,5 m/s^2

<u>Exercice</u> 2

1.

1.1. Référentiel galiléen

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

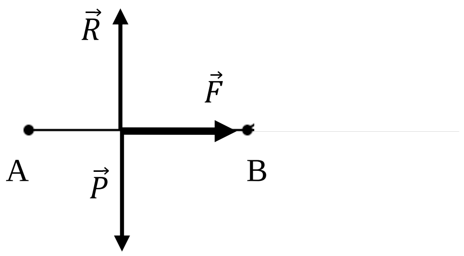
1.2. Enoncé du théorème du centre d'inertie

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système est égale au produit de la masse de ce système par le vecteur-accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{f}_{ext} = m.\vec{a}_G$

2. Trajet AC

2.1. Système : solide

Référentiel terrestre supposé galiléen

Forces	Représentation
$\vec{P}$: poids du solide ; $\vec{R}$: réaction de la piste ; $\vec{F}$: force motrice	

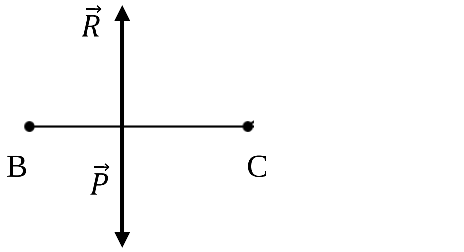
2.2. Expression de v_B : appliquons le théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_C = \sum W(\vec{f}) \longrightarrow E_B - E_{C_A} = W(\vec{F}) + W(\vec{R}) + W(\vec{P}) \longrightarrow$$

$$\frac{m.v_B^2}{2} - 0 = F.L + 0 + 0 \longrightarrow v_B = \sqrt{\frac{2.F.L}{m}}$$

2.3. Système : solide

Référentiel terrestre supposé galiléen

Forces	Représentation
$\vec{P}$: poids du solide ; $\vec{R}$: réaction de la piste ;	

2.4. Montons que $v_C = v_B$

Appliquons le théorème du centre d'inertie

$\vec{R} + \vec{P} + = \text{m}.\vec{a}$

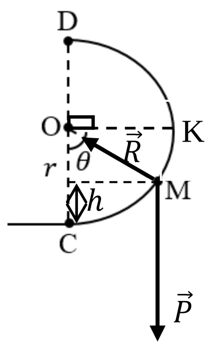
Projection sur $\overrightarrow{BC}$: 0 + 0 = m.a ⟶a = 0 m/s^2 ⟶ $v = constante, d'où\ \ v_C = v_B$

N.B : on peut aussi appliquer le théorème de l'énergie cinétique

3. Trajet CB

3.1. Système : solide

Référentiel terrestre supposé galiléen

Forces	Représentation
$\vec{P}$: poids du solide ; $\vec{R}$: réaction de la piste ;	

3.2. Expression de v_M : appliquons le théorème de l'énergie cinétique

$\Delta E_C = \sum W(\vec{f}) \longrightarrow E_B - E_{C_A} = W(\vec{R}) + W(\vec{P}) \longrightarrow$

$\frac{m.v_M^2}{2} - \frac{m.v_C^2}{2} = 0 - mgh; Comme\ h = r(1 - cos\theta)$ et $v_C = \sqrt{\frac{2.F.L}{m}}$

On tire la relation : $v_M = \sqrt{\frac{2.F.L}{m} - 2.g.r(1 - cos\theta)}$

3.3. Expression de R : Appliquons le théorème du centre d'inertie

$\vec{R} + \vec{P} + = \text{m}.\vec{a}$

Dans la base de Frenet, on a : R - P.cosθ = m.a_n = $\frac{m.v_M^2}{r}$ ⟶

$R = m.g.\cos\theta + \frac{m.v_M^2}{r}$; comme $v_M = \sqrt{\frac{2.F.L}{m} - 2.g.r(1 - cos\theta)}$, on tire la relation

$R = \frac{2.F.L}{r} - m.g(2 - 3.cos\theta)$

4. Le solide quitte la piste

4.1. Valeur de F_0

En K on a θ = 90°

Le solide quitte la piste en K, si $R_K = 0\ N \longrightarrow$

$R_K = \frac{2.F_0.L}{r} - m.g(2 - 3.cos90°) = 0 \longrightarrow \frac{2.F_0.L}{r} - 2.m.g = 0$

$\longrightarrow F_0 = \frac{m.g.r}{L} = \frac{0,5\times10\times0,5}{1,5} = 1,67\ N$

4.2. Valeur de v_K

$v_K = \sqrt{\frac{2.F_0.L}{m} - 2.g.r(1 - cos90°)} = \sqrt{\frac{2.\frac{m.g.r}{L}.L}{m} - 2.g.r} = 0\ m/s$

$\longrightarrow v_K = 0\ m/s$

INTERACTION GRAVITATIONELLE

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Regardant un documentaire scientifique à la télévision, deux élèves de terminale C découvrent que les satellites tournent autour de la Terre selon les lois de la gravitation, en décrivant des trajectoires en forme d'ellipse ou de cercle dont les plans passent par le centre de la Terre. Certains sont dits géostationnaires à cause de leur mouvement particulier autour de la Terre.
Le lendemain, avec leurs camarades de classe, ces élèves entreprennent d'étudier les lois de la gravitation, de déterminer les caractéristiques du mouvement d'un satellite géostationnaire et de montrer l'intérêt des satellites géostationnaires.

2. CONTENUS

- **Force d'interaction gravitationnelle**
  - Enoncé de la loi d'attraction universelle de Newton

Deux corps ponctuels A et B, de masses respectives m_A et m_B, situés à une distance r l'un de l'autre, s'attirent mutuellement avec des forces d'intensités proportionnelles à leurs masses et inversement proportionnelles au carré de la distance r.

Ces forces sont appelées **forces gravitationnelles.**

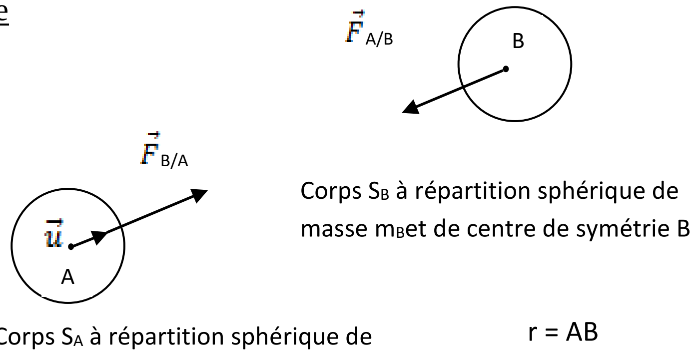
  - Expression de la force gravitationnelle

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

avec $F_{A/B} = F_{B/A} = \frac{Gm_Am_B}{r^2}$

G est la constante gravitationnelle.

$G = 6{,}67.10^{-11}$ $N.m^2.kg^{-2}$ ou en $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$



Corps S_B à répartition sphérique de masse m_B et de centre de symétrie B

Corps S_A à répartition sphérique de masse m_A et de centre de symétrie A

- **Champ gravitationnel**
  - **Définition**

Soit le corps S_A à répartition sphérique de masse m_A et de centre de symétrie A. Tout point P de l'espace environnant de S_A est caractérisé par un vecteur $\vec{\mathcal{G}}_A$ appelé **vecteur champ de gravitation**

  - **Expression du champ gravitationnel**

Vecteur champ de gravitation : $\vec{\mathcal{G}}_A = -\frac{Gm_A}{AP^2}\vec{u}_{AP}$ avec AP = r

  - **Expression du champ gravitationnel à une altitude z**

Le champ gravitationnel créé par S au point P d'altitude z est : $\mathcal{G}_Z = \frac{Gm}{(R+z)^2}$ avec R rayon de S.

A la surface de S, z = 0 donc $\mathcal{G}_0 = \frac{Gm}{R^2}$ ce qui conduit à $\mathcal{G}_Z = \mathcal{G}_0\frac{R^2}{(R+z)^2}$

- **Mouvement des satellites**
  - **Nature du mouvement des satellites**

Le mouvement du satellite est circulaire et uniforme.

  - **Grandeurs caractéristiques du mouvement des satellites**

- La vitesse linéaire v du satellite

$v = \sqrt{\frac{Gm_T}{R_T+z}}$ ou $v = R_T.\sqrt{\frac{g_0}{R_T+z}}$

- La vitesse angulaire ω du satellite

$\omega = \frac{v}{(R_T+z)}$

- La période T du satellite

$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi(R_T+z)}{v}$

  - **Troisième loi de Kepler**

Le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ avec r = $(R_T + z)$ est constant au cours du mouvement**.**

Pour la Terre on a : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{Gm_T}$

- **Satellite géostationnaire**
  - **Définition**

C'est un satellite qui tourne dans le même sens et à la même vitesse angulaire que la terre, en décrivant un cercle dans le plan équatorial. Il paraît donc immobile pour un observateur terrien.

  - **Caractéristiques du mouvement d'un satellite géostationnaire**

- La période : Elle est identique à la période de rotation de la terre : **T = 23h 56min 4s, soit 86 164 s**

- La vitesse angulaire : $\omega = \frac{2\pi}{T}$ = 7,29.10^{-5} s

- L'altitude : 36 000 km.

- **Intérêt des satellites géostationnaires**

Grâce à leur immobilité apparente, les satellites géostationnaires sont utilisés pour assurer des communications intercontinentales permanentes dans plusieurs domaines, comme par exemple en météo.

3. SITUATION D'EVALUATION

Lors d'une activité de recherche sur l'intérêt des satellites, des élèves d'une classe de Terminale C découvrent que les satellites « Meteosat » sont exploités pour obtenir des données spécifiques sur l'ozone, les océans ainsi que sur l'évolution du climat.
Ces satellites sont placés sur orbite géostationnaire d'altitude Z égale à 36 000 km, dans le champ de pesanteur terrestre.
Avec les données suivantes :
- constante gravitationnelle : G = 6,67.10^{-11} N.m^2.kg^{-2} ;
- rayon terrestre : R_T = 6370 km.
- Période de rotation de la terre : 24h (environ).

Tu es sollicité pour aider ces élèves, en plus des résultats de leurs recherches, à estimer la masse de la terre autour de laquelle tournent les satellites.

1- Définis un satellite géostationnaire puis donne la valeur approximative de sa période de rotation.

2-
   2-1 Calcule la vitesse angulaire des satellites « Meteosat ».
   2-2 Déduis-en leur vitesse linéaire.

3- Détermine la masse de la terre, autour de laquelle tournent les satellites (valeur approximative).
4- Déduis de la question précédente, la valeur du champ gravitationnel créé par la terre à l'altitude du satellite.

Solution

1- Un satellite géostationnaire est un satellite qui tourne dans le même sens et à la même vitesse angulaire que la terre autour de l'axe des pôles, en décrivant un cercle dans le plan équatorial.
Sa période est : 24 h × 3600s/h = **86 400 s** (celle de la terre).
2- Vitesse angulaire et vitesse linéaire
- Vitesse angulaire (c'est aussi celle de la terre).
$\boldsymbol{\omega = \frac{2\pi}{T} = 7{,}27.10^{-5}\ s}$
- Vitesse linéaire
$\boldsymbol{v = (R_T + Z).\omega}$ A.N. $\boldsymbol{v} = (6\,370 + 36\,000)\ 10^3 \times 7{,}27.10^{-5}$ = **3080,3 m.s^{-1}**
3- Masse de la terre.
$\frac{T^2}{(R_T+Z)^3} = \frac{4\pi^2}{Gm_T}$ (loi de Kepler)
D'où $\boldsymbol{m_T = \frac{4\pi^2(R_T+Z)^3}{GT^2}}$ A.N.$m_T = \frac{4\pi^2(6370000+36000000)^3}{6{,}67.10^{-11}\times 86400^2}$ $\boldsymbol{m_T = 6{,}03.10^{24}\ kg}$
4- Valeur du champ gravitationnel terrestre à l'altitude du satellite.
$\boldsymbol{g_z = \frac{Gm_T}{(R+Z)^2}}$ A.N. $\boldsymbol{g_z = \ = \frac{6{,}67.10^{-11}\times 6{,}03.10^{24}}{(6370000+36000000)^2} = 0{,}224\ N/kg}$

4. EXERCICES

Exercice 1

Calcule le champ gravitationnel terrestre à l'altitude Z = 100 km, puis en un point très proche de la surface de la terre d'altitude négligeable.
On donne : $m_T = 5{,}98.10^{24}$ kg, la masse de la terre ; R_T = 6370 km, le rayon de la terre ;
G = $6{,}67.10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}, la constante gravitationnelle.

Solution

a- Champ gravitationnel terrestre à Z = 100 km
$g_z = \frac{Gm_T}{(R_T+Z)^2} = \frac{6{,}67.10^{-11}\times 5{,}98.10^{24}}{(6370.10^3+100.10^3)^2}$ g_z = 9,53 N.kg^{-1}

b- Champ gravitationnel terrestre à la surface de la terre
$g_0 = \frac{Gm_T}{(R_T)^2} = \frac{6{,}67.10^{-11}\times 5{,}98.10^{24}}{(6370.10^3)^2}$ g_z = 9,83 N.kg^{-1}

Exercice 2

Un satellite assimilable à un point matériel tourne sur son orbite autour de la terre, à une altitude de 10 000 km. On donne R_T = 6370 km, le rayon de la terre, $m_T = 5{,}98.10^{24}$ kg, la masse de la terre et G = $6{,}67.10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}, la constante gravitationnelle.
a- Calcule la vitesse de ce stellite.
b- Calcule alors sa vitesse angulaire et sa période.

Solution

a- Vitesse du satellite : $\boldsymbol{v = \sqrt{\frac{Gm_T}{R_T+Z}}}$ A.N. $\boldsymbol{v} = \sqrt{\frac{6{,}67.10^{-11}\times 5{,}98.10^{24}}{(6370+10000).10^3}}$= 4936,16 m.s^{-1}

b- Sa vitesse angulaire et sa période ; $\boldsymbol{\omega = \frac{v}{(R_T + Z)}}$ A.N. $\omega = \frac{4936{,}16}{(6370+10000).10^3}$ = 3,015.10^{-4} rad.s^{-1}
T = $\frac{2\pi}{\omega}$ = 20 839,75 s

<u>Exercice</u> 3

Pour chacune des propositions suivantes:

a- un satellite géostationnaire paraît immobile pour un observateur terrien: V, F
b- La période d'un satellite géostationnaire est de deux jours.V, F
c- Le mouvement de rotation de la terre s'effectue d'Ouest en Est (dans le sens contraire des aiguilles d'une montre), alors que les satellites géostationnaires tournent d'Est en Ouest: V, F
d- Les satellites géostationnaires se situent à la même altitude : V, F

Recopie la lettre correspondant à chaque proposition puis indique par V si elle est vraie, ou par F si elle est fausse.

<u>Réponse</u> : a (V) ; b (F) ; c (F) ; d (V).

MOUVEMENT DANS LES CHAMPS $\vec{g}$ ET $\vec{E}$ UNIFORMES

1. SITUATION D'APPRENTISAGE

Thibaut, élève en classe terminale C, découvre dans une revue scientifique, que le mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme est indépendant de sa masse. Ce qui n'est pas le cas d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme. Soucieux d'en savoir davantage, il partage cette information avec ses camarades de classe. Ensemble, ils entreprennent de définir un champ uniforme, d'établir les équations horaires du mouvement du solide et de la particule et de déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire.

2. CONTENU

- **Champ uniforme**

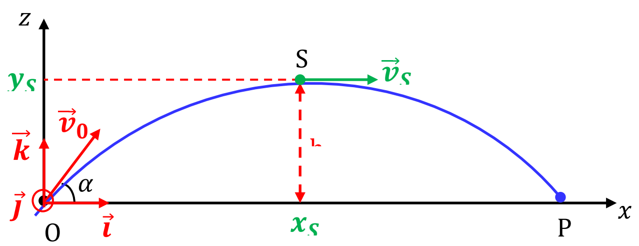
Un champ est uniforme dans une région de l'espace, si ses caractéristiques (direction, sens, intensité) sont les mêmes en tout point de cette région.

- **Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme**
  - **Vecteur accélération**

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

  - **Equations horaires du mouvement**

Dans le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$) on tire :



$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \qquad \vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = (v_0\cos\alpha).t \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2}g.t^2 + (v_0\sin\alpha).t \end{cases}$$

  - **Equation cartésienne de la trajectoire**

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

  - **La flèche**

Elle correspond à la hauteur maximale (h_{max}) atteinte par le projectile au cours de son mouvement.

$$h_{max} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2\,g}$$

  - **La portée**

C'est la distance entre le point O et le point de chute P du projectile sur l'axe horizontal (Ox).

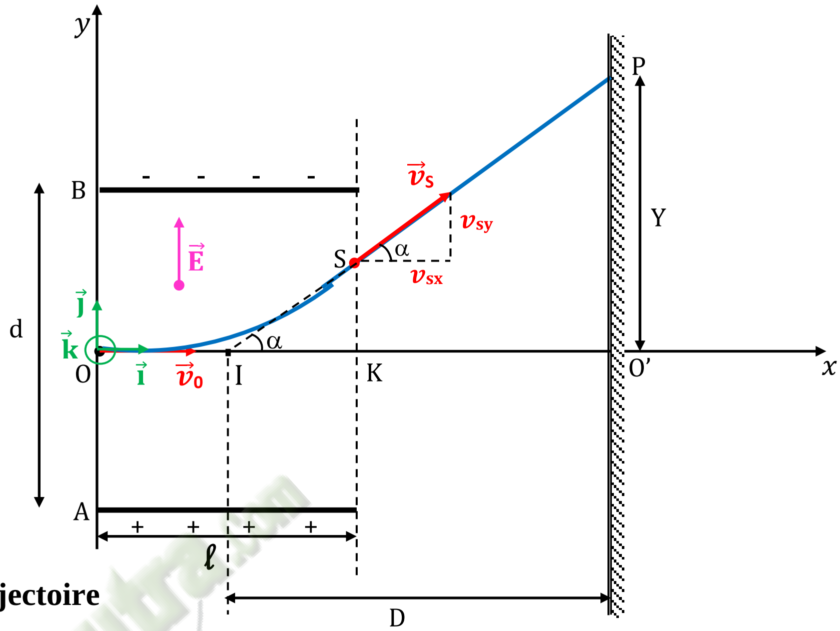
$$x_P = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}$$

- **Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme**
  - **Vecteur accélération**

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

  - **Equations horaires du mouvement**

Dans le repère (O, $\vec{\imath}$, $\vec{\jmath}$, $\vec{k}$) on tire :



$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{q}{m}E \\ a_z = 0 \end{cases}$$

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

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{q}{2\,m}E\,t^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

  - **Equation cartésienne de la trajectoire**

$$y = \frac{q\,E}{2\,m\,v_0^2}\,x^2$$

  - **Déviation électrostatique α**

C'est l'angle formé par les directions des vecteurs-vitesses $\vec{v}_0$ (vitesse de pénétration) et $\vec{v}_S$ (vitesse de sortie).

$$\tan\alpha = \frac{q\,E\,\ell}{m\,v_0^2}$$

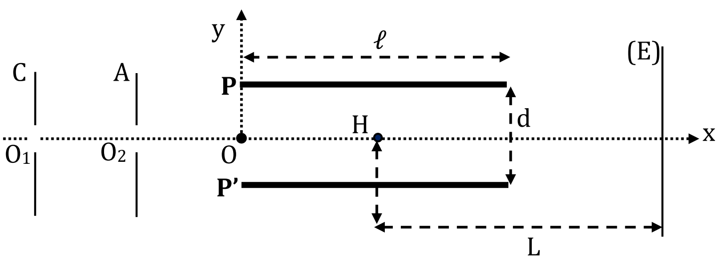
  - **Déflexion électrostatique Y**

C'est la distance Y = O'P où P est le point d'impact de la particule déviée sur un écran et O' son point d'impact si elle n'est pas déviée.

$Y = \frac{q\,\ell\,D}{m\,d\,v_0^2}U_{AB}$ avec U_{AB} tension entre les plaques A et B du condensateur plan.

3. SITUATION D'EVALUATION

La cathode C d'un oscillographe électronique émet des électrons avec une vitesse négligeable. Les électrons arrivent ensuite sur l'anode A et la traversent par l'ouverture O_2. On établit une différence de potentiel $U_0 = V_A - V_C$. Le poids d'un électron est négligeable par rapport aux autres forces appliquées.



Les électrons pénètrent en O entre les armatures horizontales P et P' d'un condensateur. Les armatures, de longueur ℓ, sont distantes de d. On établit entre les armatures une tension positive $U = V_P - V_{P'} = 120$ V. Le faisceau d'électrons arrive ensuite sur un écran fluorescent (E) situé à la distance L du centre de symétrie H des plaques.

Données : U_0 = 1,27 kV ; e = 1,6. 10^{-19}C ; m = 9,31. 10^{-31}kg ; L = 18 cm ; d = 3 cm ; ℓ = 8 cm

1. Indique le signe de U_0 .
2. Calcule l'énergie cinétique E_C et la vitesse v_0 des électrons en leur passage en O_2.
3. Détermine :
   3.1 la nature de leur mouvement entre O_2 et O ;
   3.2 la vitesse des électrons à l'entrée du condensateur.
4.
   4.1 Donne les caractéristiques du vecteur champ électrique $\vec{E}$ crée entre les plaques et le représenter qualitativement.
   4.2 Détermine l'accélération des électrons entre les deux armatures dans le système d'axes (Ox, Oy).
   4.3 Etablis l'équation de leur trajectoire en fonction de e, U, m, d, v_0 et x.
   4.4 Exprime la condition que doit vérifier U pour que les électrons puissent sortir du condensateur PP'.
   4.5 Calcule le déplacement Y du spot sur l'écran et la sensibilité $s = \frac{Y}{U}$ de l'oscilloscope en cm/V.

Solution

*1. **Signe de la tension U_0** :*

Les électrons particules de charge négative, sont attirés par l'anode A :

Donc $V_A > V_C$ d'où $V_A – V_C = U_0 > 0$.

*2. **Energie cinétique et vitesse des électrons en O_2** :*

Système : L'électron

Référentiel : terrestre supposé galiléen

Bilan des forces : $\vec{F}$: force électrostatique

D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext})$ Soit $E_C - E_{C_{O1}} = W(\vec{F})$

Or $v_{O_1} = 0$ et $W(\vec{F}) = - e (V_C – V_A)$

Soit $\boldsymbol{E_C = e\, U_0}$ car $V_C – V_A = - U_0$;

A. N : E_C = 2,03.10^{-13}J

Calcul de la vitesse en O_2 :

On a : $E_C = e\, U_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2\, e\, U_0}{m}}$

A. N : v_0 = 2,11. 10^7 m/s

3.

*3.1 **Nature du mouvement des électrons entre O_2 et O** :*

Entre O_2 et O, les électrons ne sont soumis à aucune force

$\Rightarrow \vec{a} = \vec{0}$ D'où $\vec{v} = \overrightarrow{cst}$ de plus la trajectoire est une droite par conséquent le mouvement des électrons entre O_2 et

O est rectiligne uniforme.

*3.2 **Vitesse des électrons au point O** :*

M R U donc $v = v_0$ = 2,11. 10^7 m/s

4.

*4.1 **Caractéristiques de $\vec{E}$** :*

Direction : Perpendiculaire aux armatures

Sens : De l'armature P vers l'armature P'

Norme : $E = \frac{U}{d}$ = 4000 V/m

*4.2 **Déterminons l'accélération des électrons** :*

Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$\sum \vec{F}_{ext} = m\,\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = - e\,\vec{E} = m\,\vec{a}$

Soit : $\vec{a} = \frac{-e}{m}\vec{E}$ D'où : $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{e}{m} E \end{cases}$

*4.3 **Equation de la trajectoire des électrons** :*

- *Equations horaires :*

A l'instant t = 0 :

$\overrightarrow{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases}$ et $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases}$

A l'instant t ≠ 0 et par intégrations successives, on a :

$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{e\,E}{m} t \end{cases}$ et $\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = v_0\, t \quad (1) \\ y = \frac{e\,E}{2m} t^2 \quad (2) \end{cases}$

- *Etablissons l'équation cartésienne :*

(1) $\Rightarrow t = \frac{x}{v_0}$; Portons t dans (2) : $y = \frac{e\,E}{2m}(\frac{x}{v_0})^2$

D'où : $y = \frac{e\,E}{2mv_0^2}x^2$ or $E = \frac{U}{d}$

Par conséquent: $\boldsymbol{y = \frac{e\,U}{2\,m\,d\,v_0^2}x^2}$.

*4.4 **Condition vérifiée par U pour que les électrons sortent du condensateur** :*

Les électrons sortent du condensateur si $\begin{cases} x = \ell \\ y < \frac{d}{2} \end{cases}$

Soit $\boldsymbol{\frac{e\,U}{2\,m\,d\,v_0^2}\ell^2 < \frac{d}{2}}$

*D'où : $\boldsymbol{U < \frac{m\,d^2 v_0^2}{e\,\ell^2}}$; A.N : **U < 356,1 V***

*4.5 **Calcul du déplacement Y** :*

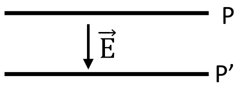
Y = L tanα or tanα = $\frac{2\,y_S}{\ell}$ avec $y_S = \boldsymbol{\frac{e\,U}{2\,m\,d\,v_0^2}\ell^2}$

*On a : $\boldsymbol{Y = \frac{e\,L\,\ell}{m\,d\,v_0^2}U}$; **Y = 2,27. 10^{-2} m = 2,27 cm***

***Calcul de la sensibilité** :*

*$S = \frac{Y}{U} = \frac{e\,L\,\ell}{m\,d\,v_0^2}$; A. N : **S = 1,89. 10^{-2} cm/V***

Représentation du vecteur $\vec{E}$:



4. EXERCICES

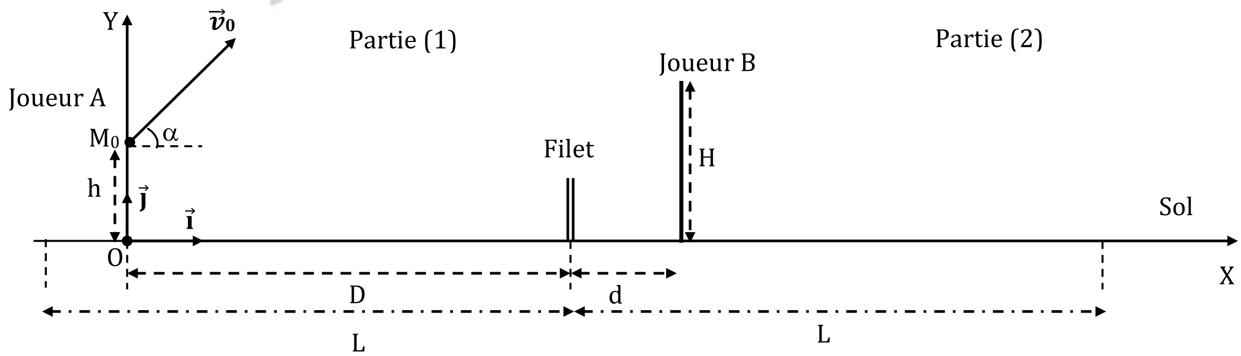
Exercice 1

(Dans tout l'exercice, la balle de tennis sera assimilable à un point matériel. On négligera la résistance de l'air sur la balle et on supposera la surface de jeu parfaitement horizontale.)

Au cours d'un match de tennis, un joueur A situé dans la partie (1) du court, frappe la balle en M_0 à la hauteur h = 0,5 m au dessus du sol et à la distance D = 9 m du filet. La balle part avec une vitesse v_0 = 12 m.s^{-1} inclinée d'un angle α = 60° par rapport à l'horizontale dans le plan perpendiculaire au filet. On prendra g = 10 m.s^{-2}.

Il souhaite faire passer la balle au dessus de son adversaire (joueur B) situé à une distance d = 2m derrière le filet dans la partie (2).

1. Etablis l'équation de la trajectoire de la balle après le choc avec la raquette.
2. L'adversaire immobile, tient sa raquette à bout de bras. Elle atteint la hauteur maximale H = 2,5 m par rapport au sol.
   2.1 Montre qu'il n'intercepte pas la balle.
   2.2 Détermine la distance D' qui sépare la balle et l'extrémité supérieure de la raquette.
   2.3 Montre que la balle retombe dans la surface de jeu. La ligne de fond étant à la distance L = 12 m du filet,
   2.4 Détermine alors la distance d' séparant le point de chute P de la balle à l'adversaire.
   2.5 Détermine la date t_B de passage de la balle au dessus de la raquette.
3. Détermine :
   3.1 par deux méthodes différentes la vitesse de la balle au point de chute P.
   3.2 la direction du vecteur-vitesse de la balle au point d'impact P.



Solution

1. ***Etablissons l'équation de la trajectoire*** :

Système : la balle de tennis

Référentiel : terrestre supposé galiléen muni du repère
$(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$

Bilan des forces :

– $\vec{P}$: *poids de la balle de tennis*

D'après le théorème du centre d'inertie :

$\sum \vec{F}_{ext} = m\,\vec{a} \implies \vec{P} = m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$ *Soit* $\vec{a} = \vec{g}$

A l'instant initial t = 0, on a :

2.3 ***Montrons que la balle retombe dans la surface de jeu*** :

Au point de chute P de la balle, $Y_P = 0$

$\implies -0{,}14\,x^2 + 1{,}73\,x + 0{,}5 = 0$

Calculons le discriminant : $\Delta = 3{,}2729 > 0 \quad \sqrt{\Delta} = 1{,}81$

Donc $X_1 = \frac{-1{,}73-1{,}81}{-2\times0{,}14} = 12{,}64$ *m et*

$X_2 = \frac{-1{,}73+1{,}81}{-2\times0{,}14} = -0{,}29$ *m*

$X_P = X_1 = 12{,}64$ *m car* $X_P > 0$

$X_P < D + L = 21$ *m donc la balle retombe dans la surface de jeu.*

$\overrightarrow{OM_0}\begin{cases}x_0 = 0\\ y_0 = h\end{cases}$ et $\vec{v}_0\begin{cases}v_{0x} = v_0 cos\alpha\\ v_{0y} = v_0 sin\alpha\end{cases}$

Coordonnées de l'accélération $\vec{a}$:

$\vec{a}\begin{cases}a_x = 0\\ a_y = -g\end{cases}$

A l'instant t ≠ 0 et par intégrations successives, on a :

$\vec{v}\begin{cases}v_x = v_0 cos\alpha\\ v_y = -gt + v_0 sin\alpha\end{cases}$ et

$\overrightarrow{OM}\begin{cases}x = (v_0 cos\alpha)\, t \quad (1)\\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 sin\alpha)t + h \quad (2)\end{cases}$

Equation cartésienne de la trajectoire :

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

D'où (2) devient : $y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha}x^2 + x\, tan\alpha + h$

A. N : $\boldsymbol{y = -0{,}14\, x^2 + 1{,}73\, x + 0{,}5}$

2

2.1 ***<u>Montrons qu'il ne peut intercepter la balle</u>*** *:*

Au point d'abscisse $x_B = D + d = 11$ *m,*

Déterminons l'ordonnée Y de la balle :

$Y = -0{,}14 \times (11)^2 + 1{,}73 \times 11 + 0{,}5$

Y = 2,59 m > H = 2,5 m donc le joueur B ne peut intercepter la balle.

2.2 ***<u>Déterminons la distance D'</u>*** *:*

D' = Y – H = 2,59 – 2,5 = 0,09

D' = 9 cm

2.4 ***<u>Déterminons la distance d'</u>*** *:*

$d' = X_P - (D + d) = 1{,}64$ *m*

2.5 ***<u>Déterminons la date</u>*** t_B *:*

Lorsque la balle passe au dessus de la raquette,

x = D + d

D'où $t_B = \frac{D + d}{v_0\, cos\alpha} = 1{,}83$ *s.*

3.

3.1 ***<u>Déterminons la vitesse de la balle en P</u>*** *:*

- *Détermination par application du théorème de l'énergie cinétique :*

$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext})$ *Soit* $\frac{1}{2}m\,(v_P^2 - v_0^2) = W(\vec{P}) = m\,g\,h$

D'où : $v_P = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$; $v_P = 12{,}41$ *m/s*

- *Détermination par les coordonnées de* v_P *:*

Au point P, $t_P = \frac{x_P}{v_0 cos\alpha} = 2{,}11$ *s*

D'où : $\vec{v}_P\begin{cases}v_{Px} = v_0 cos\alpha\\ v_{Py} = -gt_P + v_0 sin\alpha\end{cases}$

Soit : $\vec{v}_P\begin{cases}v_{Px} = 6\ m/s\\ v_{Py} = -10{,}71\ m/s\end{cases}$

Par conséquent : $v_P = \sqrt{v_{Px}^2 + v_{Py}^2} = 12{,}28$ *m/s*

3.2 ***Déterminons la direction du vecteur-vitesse*** $\vec{v}_P$ ***:***

$\cos\theta = \frac{v_{Px}}{v_P} \Longrightarrow \theta = cos^{-1}(\frac{v_{Px}}{v_P}) = 60{,}75°$

$\vec{v}_P$ *est incliné d'un angle θ =60,75° par rapport à l'horizontale.*

<u>Exercice</u> 2

Réponds par Vrai ou Faux aux affirmations suivantes :

1-Dans un référentiel galiléen l'accélération du centre d'inertie d'un point mobile dépend de sa masse.

2-Un champ électrostatique $\vec{E}$ est uniforme si sa norme est constante

3-Un champ est uniforme si ses caractéristiques sont les mêmes en tout point de l'espace.

4- Le mouvement du centre d'inertie de la particule dépend de sa masse.

<u>Solution</u>

1. Faux ; 2. Faux ; 3. Vrai ; 4. Vrai.

<u>Exercice</u> 3

Un projectile de masse 860 g est lancé dans l'air à une vitesse v_o = 200 m/s.

Le vecteur vitesse v_o fait un angle α = 20° par rapport à l'horizontal.

Calcule, pour une portée horizontale d = 2500 m.

1 la hauteur atteinte per le projectile.

2 la durée du lancer.

3 la vitesse du projectile au pont d'impact.

<u>Solution</u>

1 la hauteur Soit $\mathbf{h_{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2\,g}$

Valeur de h = 238.7 m

2 la durée du lancé $t_p = \frac{2vosin\alpha}{g}$ valeur de tp = 13.96 s

3 la vitesse $v_p = \sqrt{(vosin\alpha)^2 + ((vocos\alpha)^2)}$ valeur v_p= 200 m/s

OSCILLATIONS MECANIQUES LIBRES

1- SITUATION D'APPRENTISSAGE

Un élève en classe de $T^{le}C$ au Lycée Moderne d'Agnibilekrou découvre dans une revue scientifique les informations suivantes : « L'amortisseur d'une automobile fonctionne avec des ressorts de suspension pour assurer le confort à bord du véhicule ainsi que sa bonne tenue de route. Les amortisseurs maintiennent les roues en contact avec le sol. Chaque ressort subit une compression et une détente continue en perdant à chaque fois un peu d'énergie. La fréquence et l'ampleur des mouvements occasionnés par le ressort doivent être contrôlés. ».

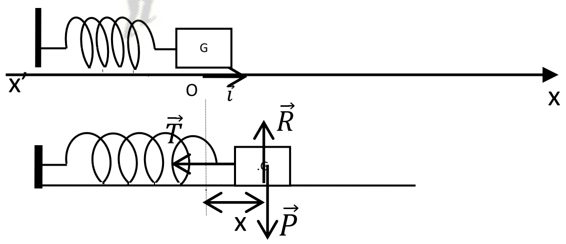
Voulant en savoir davantage, l'élève informe ses camarades et ensemble, ils entreprennent de définir un oscillateur mécanique, de déterminer son équation différentielle et les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti puis de montrer la conservation de l'énergie mécanique d'un oscillateur harmonique non amorti.

2- CONTENUS

- **QUELQUES DEFINITIONS**
  - **Un mouvement oscillatoire libre d'un solide** est un mouvement périodique autour de la position d'équilibre stable de ce solide lorsqu'il est abandonné à lui-même.
  - **Un oscillateur mécanique** est un système mécanique qui effectue un mouvement périodique autour de la position d'équilibre.
  - **La période** notée (**T**) est la durée d'une oscillation complète (ou d'un va et vient).
  - **La fréquence** notée (**f** ou **N**) est le nombre d'oscillations complètes par seconde.

    $\boldsymbol{T = \frac{1}{N}}$ et $\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}$

- **PENDULE ELASTIQUE**
  - **Le pendule élastique horizontal**



- **Equation différentielle du mouvement des oscillations libres non amorties**

$$\boxed{\boldsymbol{m\ddot{x} + kx = 0 \quad ou \quad \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0}}$$

- **Solution de l'équation différentielle**

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

Avec : $x(t)$: élongation du mouvement à t quelconque (m) ;
X_m : élongation maximale ou amplitude du mouvement (m) ;
$\omega_o t$: phase du mouvement à la date t (rad) ;
φ phase du mouvement à l'origine des dates (rad)

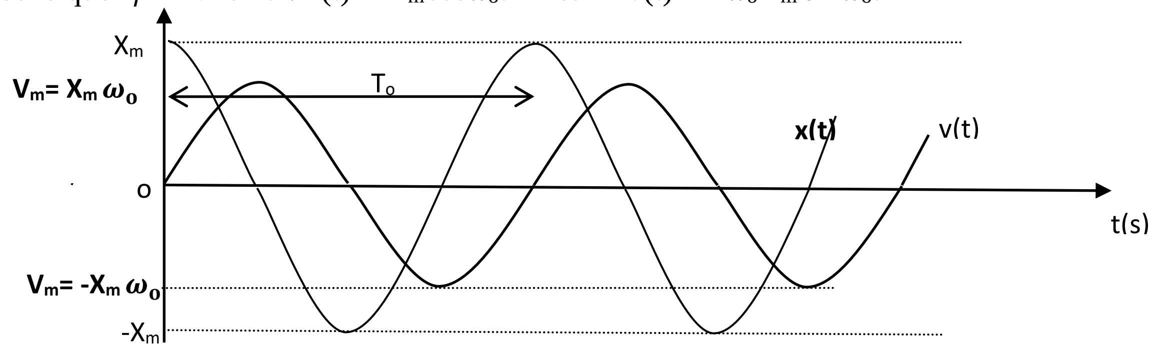
La pulsation propre de l'oscillateur est $\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (rad/s)

La période propre de l'oscillateur est $T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

La fréquence propre de l'oscillateur est $N_o = \frac{1}{T_o}$

- **Représentation de x(t) et v(t) sur deux périodes**

Supposons que $\varphi = 0$ on a : $x(t) = X_m \cos\omega_o t$ et $v(t) = -\omega_o X_m \sin\omega_o t$



- **ETUDE ENERGETIQUE**
  - **Energie potentielle élastique**

    $E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}\mathbf{k}X_m^2\cos^2(\omega_o t + \varphi)$
  - **Energie cinétique**

    $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\mathbf{k}X^2_m\sin^2(\omega_o t + \varphi)$ car $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
  - **Energie mécanique**

    $E_m = \frac{1}{2}kX^2_m = \frac{1}{2}mV^2_m = \frac{1}{2}m\omega^2_O X^2_m =$ **Cste**

3-SITUATION D'EVALUATION

Lors d'une séance de TP, ton groupe étudié les oscillations mécaniques libres d'un pendule horizontal afin de déterminer l'équation horaire. On dispose d'un ressort a spires non jointives de masse négligeable et de raideur $k = 10\ N.m^{-1}$. Ton groupe engage le ressort sur une tige horizontale Ax. L'une de ses extrémités est fixée en A, l'autre est reliée à un cylindre creux C de masse m=0,1Kg qui peut glisser le long de la tige. L'abscisse x du centre d'inertie G de C est repérée par rapport à O, position de G à l'équilibre.

~~On~~ Il écarte le cylindre de sa position d'équilibre et ~~on~~ le lâche. A l'instant t=0s, choisi pour origine des dates, son abscisse est $x_0 = 2cm$ et la vitesse sur Ax est $V_{Ox} = -0{,}2\ m.s^{-1}$.

Tu es le rapporteur.

Tu négligeras les frottements et tu considèreras que l'énergie potentielle pour la position d'équilibre du système est nulle.

1) Calcule l'énergie mécanique de l'oscillateur à t=0s.

2) Détermine, en appliquant le principe de la conservation de l'énergie mécanique,

2-1- la vitesse de C au passage par la position d'équilibre ;

2-2- les positions de C pour lesquelles la vitesse s'annule.

3)

3-1-Etablis l'équation différentielle du mouvement de C.

3-2- Déduis-en l'équation horaire du mouvement de C.

Solution

1) Energie mécanique de l'oscillateur à t = 0s

$E_0 = E_{C0} + E_{P0} = \frac{1}{2}m\,V_0^2 + \frac{1}{2}kx_0^2$ AN : $E_0 = 4.10^{-3}$ J

2)

2-1- La vitesse de C à la position d'équilibre

E= cste donc $E_0 = E_1 = \frac{1}{2}m\,V_1^2 \Rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2E_0}{m}}$ AN : $V_1 = 0{,}28\ m.s^{-1}$

2-2- Les positions de C

V=0 ; $E_0 = E_2 = \frac{1}{2}k X^2 \Rightarrow X = \mp\sqrt{\frac{2E_0}{k}}$ AN : $X = 0{,}028\,m$ ou $X = -0{,}028\,m$

3)

3-1-Equation différentielle et équation horaire.

- Système : le cylindre
- Bilan des forces : Poids $\vec{P}$ et la tension $\vec{T}$ du ressort ,la réaction normale $\vec{R}$

En appliquant le théorème du centre d'inertie on obtient : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = m\vec{a}$

Par projection sur l'axe Ax : $-T = m.a$ donc

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

3-2-**Equation horaire du mouvement**

Une des solutions de cette équation est de la forme : $x = X_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$

Déterminons φ : à **t=0s ,** $x = -2.10^{-2} = X_m\cos\varphi \Rightarrow \cos\varphi = -1$

$\varphi = \pi$ **rad ;** $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = 10\,rad.s^{-1}$

L'équation horaire est : $x = -2.10^{-2}.\cos(10t + \pi)$

4. EXERCICES

Exercice

L'équation horaire du mouvement d'un mouvement mobile ponctuel est données par :

x = $2.10^{-2}\cos(40\pi t - \frac{\pi}{6})$ en unités S.I. La constante de raideur du ressort est : k = 100N /m

1- Précise les valeurs de l'amplitude, de la période, de la fréquence et de la phase initiale du mouvement de ce point matériel.

2- Calcule la vitesse et l'accélération de ce point matériel à la date t = 0

3- Montre que l'énergie mécanique de l'oscillateur est constante et déduis-en sa valeur.

Solution

1-Précisons les valeurs de l'amplitude, la période, la fréquence et la phase initiale

La solution est de la forme $x(t) = X_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$**.**

L'équation horaire est : $x = 2.10^{-2}\cos(40\pi t - \frac{\pi}{6})$**.** Donc par identification on a**:**

- L'amplitude : $X_m = 2.10^{-2}m$ **;**
- La période propre : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ or $\omega_0 = 40\pi\,rad/s$ donc $T_0 = \frac{2\pi}{40\pi} = 0{,}05\,s$ ou 5.10^{-2} **s**
- La fréquence propre **:** $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0{,}05} = 20Hz.$
- La phase initiale : $\varphi = -\frac{\pi}{6}\,rad.$

2. Calculons la vitesse et l'accélération du point materiel à l'instant t= 0s.

Déterminons d'abord la vitesse v et l'accélération a du point materiel à chaque instant.

- $x = 2.10^{-2}\cos\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) \Longrightarrow v = \dot{x} = -2.10^{-2} \times 40\pi\sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right) = -0{,}8\,\pi\sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right).$
- $v = -0{,}8\,\pi\sin\left(40\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$

CHAMP MAGNETIQUE

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Un élève de la classe de Tle C d'un Lycée Moderne assiste à des travaux de réparation d'une télévision dans l'atelier de son ami. Le réparateur dispose entre autres matériels, d'une aiguille aimantée, d'un aimant et d'une bobine. L'élève constate que lorsque l'aiguille aimantée est proche de l'aimant ou de la bobine parcourue par un courant électrique, celle-ci dévie.
Pour comprendre ces observations, l'élève et ses camarades de classe décident de faire des recherches pour définir l'espace champ magnétique, représenter le vecteur-champ magnétique et déterminer ses caractéristiques.

2. CONTENUS

- ***Espace champ magnétique***

Un espace champ magnétique est une région de l'espace dont les propriétés sont modifiées par la présence d'un aimant ou d'un courant électrique.

- ***Vecteur champ magnétique***

En tout point de l'espace champ magnétique, le champ magnétique est caractérisé par un vecteur appelé vecteur champ magnétique. Il est noté $\vec{B}$

- ***Caractéristiques du vecteur champ magnétique***

Point d'application : tout point de l'espace où agit le champ ;
Direction : celle de l'axe de l'aiguille aimantée ;
Sens : celui du vecteur $\overrightarrow{SN}$ de l'aiguille aimantée ; S pôle Sud et N pôle Nord.
Intensité : mesurée en **Tesla (T)** à l'aide d'un **Teslamètre**.

- **Sources de champ magnétique :**
  - Les aimants
  - Les courants
  - La terre
- **Une ligne de champ** est une courbe tangente en chacun de ses points au vecteur champ magnétique $\vec{B}$ et orienté dans le même sens que $\vec{B}$.
- **Un spectre magnétique** est un ensemble de lignes de champ.
- Un solénoïde est une bobine dont la longueur L est très grande devant son rayon R (L > 10R).
- A l'intérieur d'un solénoïde infiniment long, le champ magnétique $\vec{B}$ est uniforme et a pour caractéristiques :

  Direction : celle de l'axe du solénoïde ;
  Sens : donné par la règle du bonhomme d'Ampère ;
  Intensité : $B = \mu_0 \frac{N}{L} I = \mu_0 n I$
  avec N : nombre de spires ; n : nombre de spires par mètre ; μ_0 : perméabilité du vide.
  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ S.I

  <u>Règle du bonhomme d'Ampère</u>

Le bonhomme d'Ampère, regardant l'axe du solénoïde, a son bras gauche tendu qui indique le sens du vecteur champ lorsqu'il est placé sur le fil de telle sorte que le courant entre par ses pieds et sort par sa tête.

3. SITUATION D'EVALUATION

Au cours d'une séance de TP en classe de Tle D_2 au Lycée Moderne Abengourou, un groupe d'élèves doit utiliser un solénoïde de longueur L, dont le nombre de spires N, réparti sur quatre (4) couches, n'est malheureusement pas indiqué. Il mesure alors la valeur du champ magnétique $\vec{B}$ à l'intérieur du solénoïde en faisant varier l'intensité I du courant qui le traverse. Les résultats qu'ils ont obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

I (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
B(mT)	0	1,00	2,00	2,95	4,10	5	5,95

Le Professeur leur demande de tracer la courbe B = f(I) afin de déterminer le nombre de spires N du solénoïde. Il leur donne : $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$ S.I. ; L = 40 cm ; échelle : 1 cm pour 1 mT et 2,5 cm pour 1 A

Tu es le rapporteur du groupe, réponds aux questions ci-dessous :

1- Donne :

1.1- la définition d'un solénoïde ;

1.2- l'expression du champ magnétique créé à l'intérieur d'un solénoïde en fonction de la longueur L du solénoïde, du nombre de spires N, de l'intensité I du courant et de la perméabilité du vide μ_0.

2- Trace la courbe B = f(I).

3- Détermine à partir de la courbe B = f(I) :

3.1- que B est proportionnel à I.

3.2- le coefficient de proportionnalité k (exprimé en S.I.).

4- Déduis-en :

4.1- le nombre de spires par unité de longueur n ;

4.2- le nombre de spires N.

4.3- le nombre de spires par couche.

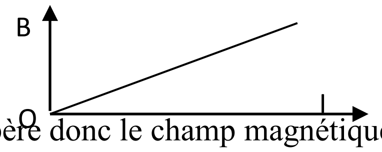
Solution

1.

1.1 Un solénoïde est une bobine dont la longueur L est très grande devant son rayon R

1.2 B = μ_0**Erreur !**.I

2. Tracé de la courbe B=f(I)



3.

3.1 la courbe est une droite passant par l'origine du repère donc le champ magnétique B est proportionnel à l'intensité du courant I

3.2 B = k .I $\Rightarrow$ k = **Erreur !** = **2.10^{-3} mT**

4.

4.1 $B = \mu_0.n.I = kI \Rightarrow n = \frac{K}{\mu 0} = \frac{2.10^{-3}}{4\pi.10^{-7}} \Rightarrow$ **n= 1592 spires/m**

4.2 $n = \frac{N}{L} \Rightarrow$ N = n.L = 1592*0.4 $\Rightarrow$ **N= 637 spires**

4.3. Le nombre de spire par couche est : $\frac{N}{4}$ = **160spires**

4. EXERCICES

Exercice 1

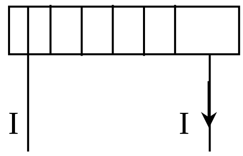
Un solénoïde parcouru par un courant d'intensité I crée un champ magnétique $\vec{B}_S$.

1- Reproduis le schéma du solénoïde ci-contre et représente

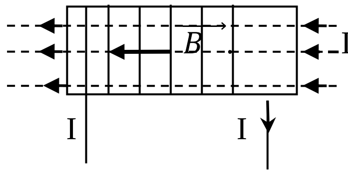
1.1- les lignes de champ magnétique ;

1.2- champ magnétique $\vec{B}_S$ créé au centre de la bobine.

2- Indique le nom des faces du solénoïde sur le schéma.



Solution



Exercice 2

Un solénoïde de longueur L = 40 cm comportant N = 1000 spires est traversé par un courant d'intensité I = 2 A.

Calcule l'intensité du champ magnétique B créé au centre du solénoïde.

Solution $B = \mu_0$**Erreur !**.I A.N: $B = 4\pi.10^{-7}.\frac{1000}{0,4}.5 \Rightarrow$ **$B = 1,57.10^{-2}$ T**

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

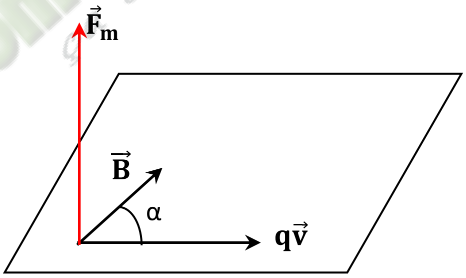
Suivant un documentaire scientifique à la télé, des élèves en classe de Terminale au Lycée Moderne 2 Adzopé apprennent que tout l'écran de la télévision à tube cathodique qu'ils regardent est illuminé par les spots produits par des faisceaux d'électrons soumis à l'action conjuguée de deux champs magnétiques uniformes. Voulant en savoir davantage, ils informent leurs camarades de classe, et ensemble, ils s'organisent pour définir la force de Lorentz, déterminer les caractéristiques cette force et analyser le mouvement d'une particule chargée dans un spectromètre de masse, dans un cyclotron et dans un filtre de vitesses.

2. RESUME DE LA LECON

- <u>**Force magnétique ou Force de Lorentz**</u>
  - **Définition et expression**

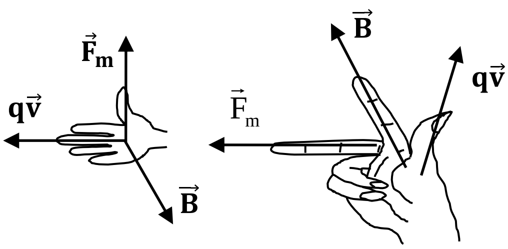
Une particule chargée, de charge q, en mouvement dans un champ magnétique $\vec{B}$ est soumise à une force magnétique ou force de Lorentz $\vec{F}_m$ donnée par l'expression : $\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$

- **Représentation**



- **Caractéristiques de la force de Lorentz**

- La direction de $\vec{F}_m$ est orthogonale au plan défini par $\vec{B}$ et $q\vec{v}$
- Le sens de $\vec{F}_m$ est tel que le trièdre ($q\vec{v}$, $\vec{B}$, $\vec{F}_m$) soit direct. Il est donné par une des deux règles d'orientation suivantes



- La norme F_m de $\vec{F}_m$ vérifie la relation
  $F_m = |q|.V.B.\sin\alpha$
  α est l'angle formé par $q\vec{v}$ et $\vec{B}$

- **Etude énergétique** (**Cas où** $\vec{v} \perp \vec{B}$)
    - **Puissance**

$P = \vec{F}_m . \vec{v} = 0$ car $\vec{F}_m \perp \vec{v}$

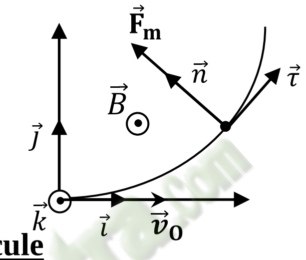
-
    - **Travail**

$P = \frac{dW}{dt} \Rightarrow dW = 0 \Rightarrow$ La force de Lorentz ne travaille pas

-
    - **Conséquence sur la vitesse**
- Le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique est **uniforme.**
- Un champ magnétique ne modifie pas l'énergie cinétique de la particule

- **Nature de la trajectoire lorsque** $\vec{v}_O \perp \vec{B}$

Lorsqu'une particule chargée pénetre dans un champ magnétique de avec une vitesse $\vec{v}_O$ perpendiculaire au champ magnétique $\vec{B}$ le mouvement de cette particule est **plan**, **circulaire** de rayon R = $\frac{mv_o}{|q|B}$ et **uniforme**.



- **Quantité de mouvement de la particule**

La quantité de mouvement de la particule charge q, animée d'une vitesse $\vec{V}$ dans un champ magnétique $\vec{B}$ est : P = mV =R|q|B

avec R rayon de courbure de la trajectoire.

- **Quelques applications**

-Le spectromètre de masse

- Le cyclotron

- Le filtre de Wien ou filtre de vitesses.

3. SITUATION D'EVALUATION

Au cours de ses recherches, ton voisin de classe découvre des informations sur l'importance industrielle du dispositif ci-dessous appelé spectrographe de masse. Ce dispositif permet de séparer les différents isotopes d'un élément chimique.

Ton voisin désire déterminer le nombre de nucléons x du deuxième isotope du potassium naturel. En effet, le potassium naturel est un mélange de deux isotopes ^{39}Ket ^{x}K. L'isotope ^{39}K est le plus abondant.

Pour augmenter ses chances de succès, il sollicite ton appui.

Le dispositif comprend :

- une chambre d'ionisation (C.I.) où les isotopes sont ionisés.

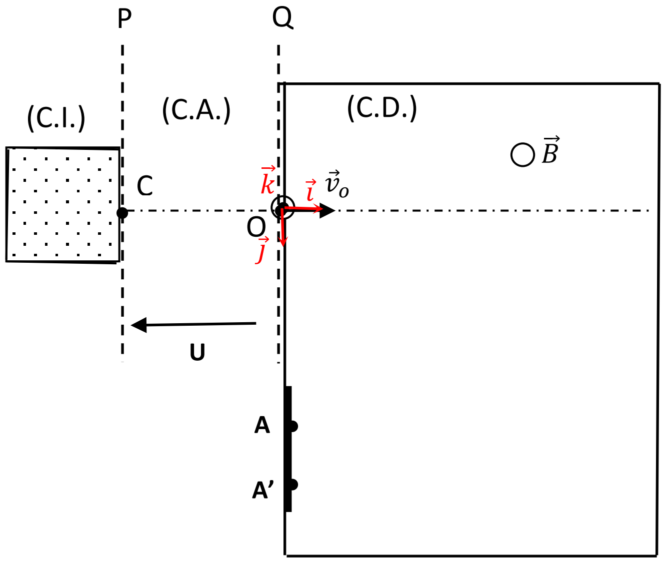
- une chambre d'accélération (C.A.) où les ions $^{39}K^+$ et $^{x}K^+$ produits sont accélérés entre les plaques P et Q par un champ électrique uniforme $\vec{E}$. La vitesse initiale v_c est nulle.

- une chambre de déviation (C.D.) où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, perpendiculaire à la vitesse des ions. Dans cette zone, les ions sont animés d'un mouvement circulaire uniforme.

- un écran luminescent permettant de repérer les impacts A et A' des ions.

Données : masse d'un ion $^{39}K^+$: m_1 = 39 u ; masse d'un ion $^{x}K^+$: $m_2 = x$ u ; u = 1.67.10^{-27} kg ;

e = 1,6.10^{-19} C ; U = 10^3 V ; B = 0,1T ; le poids des ions est négligeable devant les autres forces.
OA = 60 cm et AA' = 1,5 cm.



1- Accélération des ions.

1.1-Etablis l'expression de la vitesse v_1 d'un ion $^{39}K^+$ à son passage en O en fonction de e, U et u.

1.2-Déduis-en, sans nouveau calcul, l'expression de la vitesse v_2 d'un ion $^{x}K^+$ à son passage en O en fonction de e, U, x et u.

2- Déviation des ions.

2.1-Montre que la trajectoire des ions $^{39}K^+$ a un rayon $R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{78uU}{e}}$.

2.2-Déduis-en, sans nouveau calcul, l'expression du rayon R_2 de la trajectoire des ions $^{x}K^+$.

2.3-Calcule la distance OA où A est le point d'impact des ions $^{39}K^+$ sur l'écran fluorescent.

3- Détermination de l'isotope inconnu.

3.1-Exprime OA et OA' en fonction des rayons des trajectoires.

3.2-Montre que $\frac{OA'}{OA} = \sqrt{\frac{x}{39}}$.

3.3-Calcule la valeur de x.

Solution

1.1- La plaque P doit être portée au potentiel le plus élevé.

1.2- Les ions potassium sont chargés positivement. Pour être accélérés, ils doivent être attirés par une plaque chargée négativement. La plaque Q a le potentiel le plus bas.

$V_C > V_O \Rightarrow V_C - V_O > 0 \Rightarrow U_{CO} > 0$ et $U > 0$.

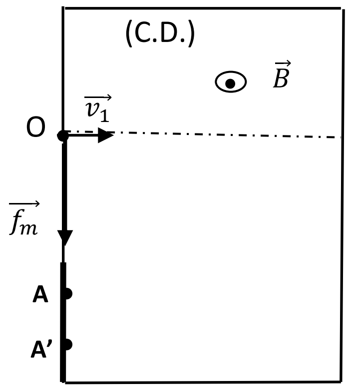
1.3- $\vec{F_e} = q\,\vec{E}$ et q>0 ; donc $\vec{F_e}$ et $\vec{E}$ ont même sens. Comme $\vec{F_e}$ doit être orienté vers la plaque Q, $\vec{E}$ aussi est orienté vers la plaque Q.

2.1- Vitesse v_1 :

Système : un ion $^{39}K^+$; Référentiel Terrestre supposé galiléen ; Bilan des forces : $\vec{F_e}$ et $\vec{P}$ tel que P négligeable devant F_e .

T.E.C. $\Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2eU}{39u}}$

2.2- Ion $^{x}K^+$: $v_2 = \sqrt{\frac{2eU}{xu}}$



3.1-

3.2- Voir figure

3.3- Dans le champ magnétique : Forces : $\vec{f_m}$ et $\vec{P}$ tel que P négligeable devant f_m.

T.C.I. : $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m_1\vec{a} = \overrightarrow{f_m} = q\,\overrightarrow{v_1} \wedge \vec{B} \Longrightarrow \vec{a} = \frac{q}{m_1}\overrightarrow{v_1} \wedge \vec{B}$

Dans la base de Frenet : $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\vec{n}$. Or le mouvement est uniforme $\Longrightarrow \frac{dv}{dt} = 0$.

$\Longrightarrow$ a = $\frac{|q|}{m_1} v_1 B = \frac{v_1^2}{R_1}$ $\Longrightarrow R_1 = \frac{m_1 v_1}{eB}$ et en remplaçant v_1 par son expression, on obtient $R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{78uU}{e}}$

3.4- Ion $^{x}K^{+}$: $R_2 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2xuU}{e}}$

3.5- Distance OA :

OA = $2R_1 = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{78uU}{e}}$

3.6- Le rayon (ou le diamètre) est proportionnel à la masse. Donc l'isotope $^{x}K^{+}$ est le plus lourd car le rayon de sa trajectoire est plus grand.

4.1- OA = $2R_1 = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{78uU}{e}}$ et OA' = $2\,R_2 = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{2xuU}{e}}$

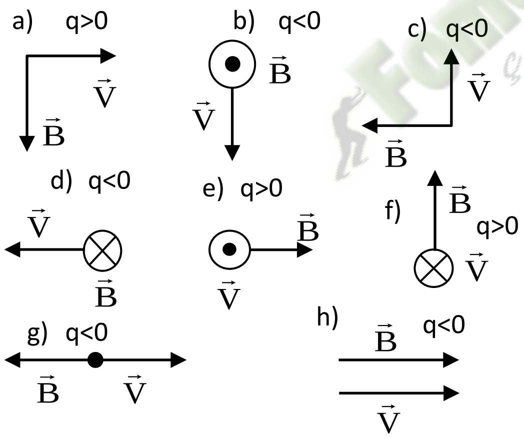
4.2- En faisant le rapport, on trouve $\frac{OA'}{OA} = \sqrt{\frac{x}{39}}$

4.3- x = 41

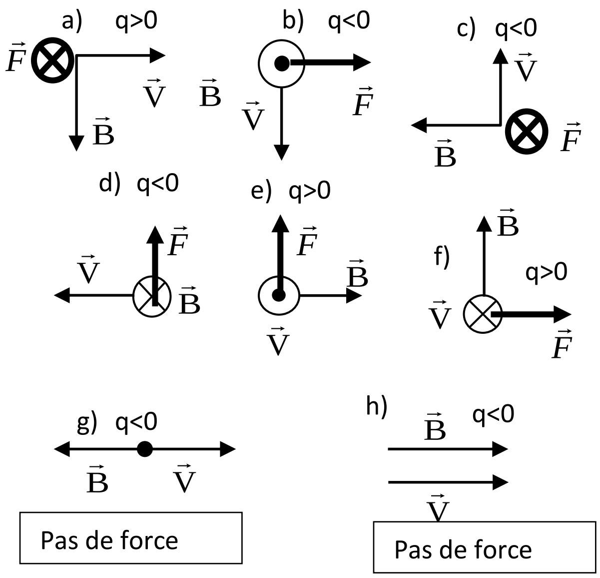
4. EXERCICES / DOCUMENTATION

Exercice 1

Représente la force magnétique de Lorentz $\vec{F}$ dans chacun des cas suivants :



Solution



<u>Exercice</u> 2

Une particule de masse m et de charge q>0 est lancée dans le vide à la vitesse $\vec{V}_0$ dans un plan P.

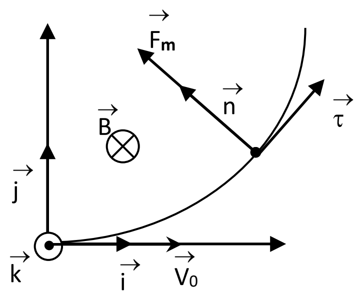
Perpendiculairement à ce plan, on crée un champ magnétique uniforme $\vec{B}$

1. Montre que la trajectoire de la particule est un cercle de rayon R, situé dans le plan P, et que son mouvement suivant ce cercle a lieu à vitesse constante.
2. 2.1 Exprime la période T de rotation, ainsi que de la fréquence N en fonction de q/m et B. On représentera sur une figure les vecteurs $\vec{V}_0$, $\vec{B}$ et $\vec{F}_m$ (force magnétique).

   2.2 Application numérique : calcule T et N pour des protons

   Données : B = 1 T q/m = 10^8 C.kg^{-1}

Solution



1. **Caractéristiques de la trajectoire de la particule**

∗ Montrons que le mouvement est plan

<u>système</u> : Particule

<u>Référentiel</u> : terrestre supposé galiléen

<u>Bilan des forces</u> : Force magnétique $\vec{F}_m$; poids $\vec{P}$ de la particule supposé négligeable:

<u>Théorème du centre d'inertie</u> :

$$\vec{F}_m = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q.\vec{V}_0 \wedge \vec{B}}{m} \quad (1)$$ Considérons le repère de projection $(O, \vec{\tau}, \vec{n}, \vec{k})$

A chaque instant, $\vec{a}$ est normal à $\vec{B}$, donc à $(O, \vec{k})$ ==> $a_z = 0$ et Vz = Voz (à t = 0, Vz = 0 = Voz) , d'où Vz = 0.

==> z = 0 = cte (car à t = 0, z = 0).

Le mouvement des ions s'effectue dans le plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$

∗ Montrons que le mouvement est uniforme.

La force de Lorentz, $\vec{F}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ est perpendiculaire à la vitesse $\vec{V}$ donc au déplacement.

Le travail de cette force entre deux instants t_1 et t_2 est donc nul. D'où d'après le théorème de l'energie cinétique, sa vitesse conservera la même norme. Le mouvement des ions est donc uniforme.

∗Montrons que le mouvement est circulaire.

L'accélération de l'ion est normale (V = cte ==> $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$)

La projection de la relation (1) sur l'axe (O, $\vec{n}$) donne:

$$a_n = \frac{qVB}{m} = \frac{V^2}{\rho} \quad ==> \quad \rho = \frac{mV}{qB} = Cte = R\ .$$

le rayon de courbure R étant constant, le mouvement des ions est donc circulaire.

2. 2.1 Période et fréquence

Période T = Temps mis pour parcourir deux demi-cercles :

$$T_{½} = \frac{\pi R}{V_B} \text{ or } R = \frac{mV_0}{qB} ;$$

D'où $T = 2.T_{½} = 2.\frac{\pi m}{qB}$; On en déduit $N = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$; $N = 1{,}5.10^7$ Hz

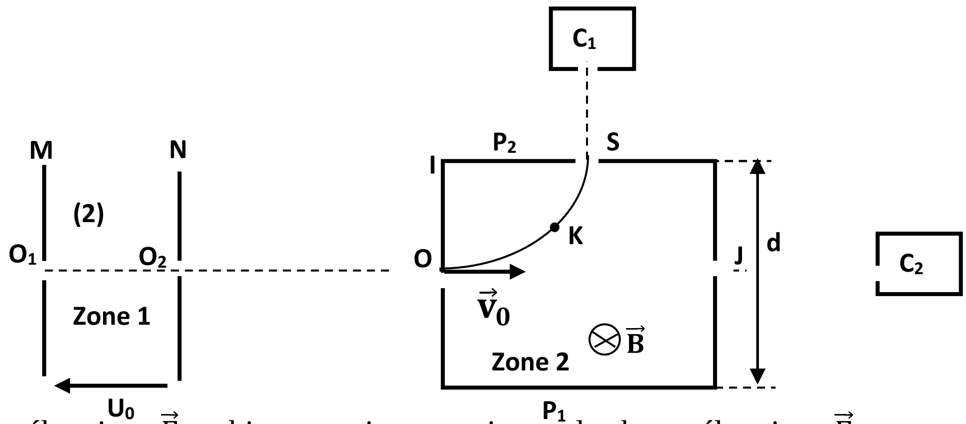
2.2 Application numérique : T = 6,28.10^{-8} s

<u>Exercice</u> 3

Au cours d'une séance de travaux dirigés, un groupe d'élèves décide d'étudier le mouvement des ions dans les champs électriques et magnétiques uniformes d'un spectromètre de masse (voir figure ci – dessous).

Des ions strontium 88 (Sr^{2+}) de masse m = 88u sortent en O_1 d'une chambre d'ionisation avec une vitesse négligeable. Ils sont d'abord accélérés entre O_1 et O_2 par une tension $U_O = V_M - V_N$ continue et réglable. Ils sont ensuite déviés de O vers S par un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure. Ils sont enfin recueillis dans un collecteur C_1. La portion OS est un arc de cercle de centre I et de rayon R = IO = IS.

Dans tout l'exercice, on néglige le poids des ions. On admettra que la masse d'un atome ${}^A_ZX$ est m = A.u avec 1u= 1,67.10^{-27} kg ; R = 0,70 m ; B = 0,16 T ; e = 1,6.10^{-19} C et d = 0,10 m.



1.

1.1 Représenter la force électrique $\vec{F}_0$ subie par un ion strontium et le champ électrique $\vec{E}_0$ entre les plaques M et N.

1.2 En déduire le signe de la tension U_O.

1.3 Exprimer la vitesse v_{O_2} d'un ion strontium au point O_2 en fonction de e, u et U_O.

2. Montrer que l'ion arrive en O avec une vitesse v_O telle que $v_O = v_{O_2}$.

3.

3.1 Représenter sur un schéma la force magnétique $\vec{F}$ subie par un ion au point K de la trajectoire.

3.2 Exprimer la tension U_O en fonction de e, u, R et B.

3.3 Calculer la tension U_O.

4. On maintient la valeur du champ magnétique $\vec{B}$ et on fixe la tension U_O à U_O = 13657,05 V. On crée dans la zone (2), à l'aide d'une tension positive $U = V_{P_2} - V_{P_1}$, un champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques P_1 et P_2 distantes de d afin de recueillir les ions strontium 88 dans le collecteur C_2.

4.1 Donner le nom du dispositif ainsi réalisé ;

4.2 Représenter entre les plaques P_1 et P_2, le vecteur champ $\vec{E}$, la force électrique $\vec{F}_e$ et la force magnétique $\vec{F}_m$ que subit chaque ion recueilli dans le collecteur C_2 ;

4.3 Exprimer l'intensité du champ $\vec{E}$ en fonction de e, u, B et U_O ;

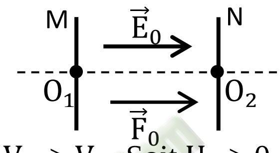
4.4 Calculer la valeur de E ;

4.5 Déduire la tension $U = V_{P_2} - V_{P_1}$.

Solution

1.

1.1 Représentation de $\vec{F}_0$ et $\vec{E}_0$



$\vec{F}_0$ est dirigée de O_1 vers O_2.

Or $q = 2e > 0 \Longrightarrow \vec{F}_0$ et $\vec{E}_0$ ont le même sens

1.2 Signe de U_0

$\vec{E}_0$ est dirigé vers les potentiels décroissants d'où $V_M > V_N$. Soit $U_0 > 0$

1.3 Expression de v_{O_2}

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, l'ion est soumis à la force électrostatique $\vec{F}_0$

D'après le théorème de l'énergie cinétique

$\Delta Ec = \sum W_{O_1O_2}(\vec{F}_{ext})$, $\quad E_{C_2} = W_{O_1O_2}(\vec{F}_0)$

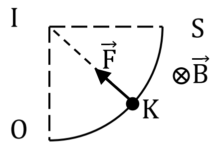
soit $E_{C_2} = 2eU_0$ ou encore $\frac{1}{2}mv_{O_2}^2 = 2eU_0 \Longrightarrow v_{O_2} = \sqrt{\frac{4eU_0}{m}} = \sqrt{\frac{eU_0}{22u}}$

2. $v_O = v_{O_2}$?

Entre O_2 et O, les ions ne sont soumis a aucune force extérieure donc ΔEc = 0 J d'où $v_O = v_{O_2}$.

3.

3.1 Représentation de la force magnétique $\vec{F}$



3.2 Expression de U_O

On a : $R = \frac{mv_o}{2eB} = \frac{88u\sqrt{\frac{eU_O}{22u}}}{2eB}$ soit $U_O = \frac{eB^2R^2}{88u}$

3.3 Calcul de U_O

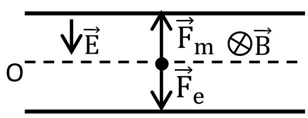
<u>A.N.</u> : U_O = 13657 V

4.

4.1 Nom du dispositif

Filtre de Wien ou filtre de vitesse

4.2 Représentation de $\vec{F}_m$, $\vec{F}_e$ et $\vec{E}$



4.3 Expression de E

Les ions sortent en J si $F_e = F_m$ soit $2eE = 2ev_0B$

ou encore $E = v_0B = B\sqrt{\frac{eU_O}{22u}}$

4.4 Calcul de E

<u>A.N.</u> : $E = 3{,}9.10^4$ V/m

4.5 Valeur de U

U = E.d

$U = 3{,}9.10^3$ V

Leçon 7 (TD) Leçon 8 (TCE) : LOI DE LAPLACE

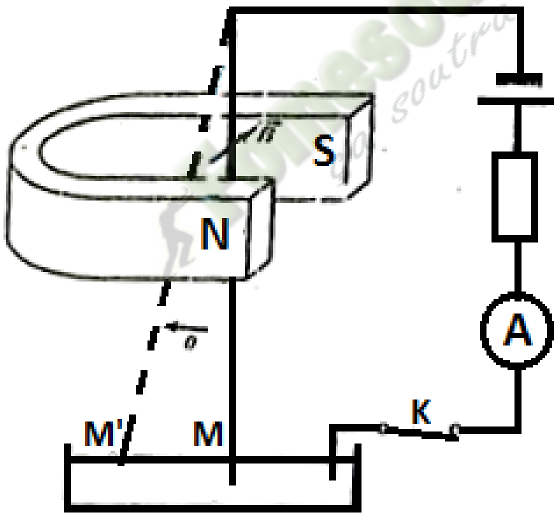
SITUATION D'APPRENTISSAGE :

Lors de la lecture d'une revue scientifique, un élève de la classe de Terminale D du Lycée Municipal 2 Attécoubé, apprend que lorsqu'une tige métallique parcourue par un courant électrique continu est plongée dans un champ magnétique, elle subit une force électromagnétique. L'élève partage cette information avec ses camarades de classe. Voulant en savoir plus, ces élèves entreprennent avec l'aide de leur professeur de s'informer sur la force de Laplace, de déterminer ses caractéristiques et d'analyser quelques applications de la loi de Laplace.

CONTENU DE LA LEÇON

1. Force de Laplace

1.1 Mise en évidence expérimentale : la tige de Laplace



A la fermeture de l'interrupteur K, on fait les observations suivantes :

- le conducteur en cuivre dévie ;
- cette déviation change de sens si l'on modifie le sens du champ magnétique ou le sens du courant (changement de bornes) :
- le conducteur reprend sa position si on supprime $\vec{B}$ ou si on ouvre l'interrupteur K.

Le conducteur (ou la tige) subit une force électromagnétique. Le sens de cette force dépend de ceux de $\vec{B}$ et I

1.2 Rails de LAPLACE
1.2.1 Expérience

Deux rails horizontaux et parallèles sont reliés aux bornes d'un générateur de courant continu. Une barre conductrice est placée sur les rails et ferme le circuit. L'ensemble (rails+ conducteur) est placé dans l'entrefer d'un aimant en U. (voir figure 1)

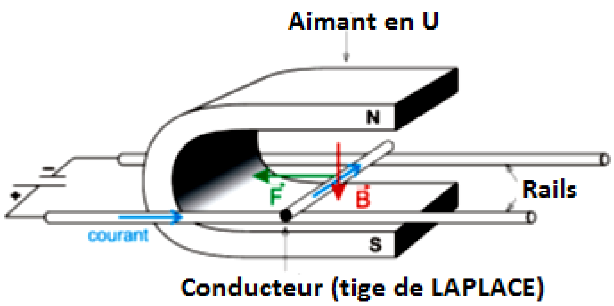


Figure 1

Pour voir une vidéo de l'expérience, faire (Ctrl+click) sur le lien suivant :
https://www.youtube.com/watch?v=a9FBe7aHlgQ

1.2.2 Observations

Lorsque la barre est parcourue par un courant la tige se met en mouvement. Le sens de déplacement de la barre change si le sens du courant change ou si le sens du champ $\vec{B}$ change. Sa vitesse augmente avec l'intensité de courant.

1.2.2 Interprétation

La barre est soumise à une force électromagnétique dont la valeur dépend de l'intensité I du courant électrique et celle du champ magnétique $\vec{B}$.

1.2.3 Conclusion

Un conducteur placé dans un champ magnétique et traversé par un courant électrique subit une force électromagnétique appelée force de LAPLACE.

2. Loi de Laplace

2.1 Énoncé

Un conducteur rectiligne de longueurℓ, parcouru par un courant électrique d'intensité I, placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, est soumis à une force $\vec{F}$ appelée force de LAPLACE d'expression : $\boxed{\vec{F} = I\vec{\ell} \wedge \vec{B}}$

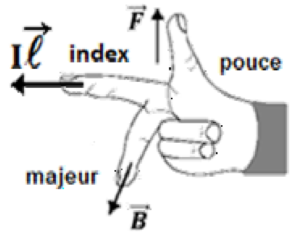
2.2 Caractéristiques de la force de Laplace

Les caractéristiques de la force de Laplace sont :

- Point d'application : le milieu de la partie du conducteur placée dans le champ magnétique
- Direction : la perpendiculaire au plan formé par le conducteur rectiligne et le champ $\vec{B}$
- Sens : le sens de $\vec{F}$ est tel que le trièdre ($\vec{\ell}$, $\vec{B}$, $\vec{F}$) est direct.

Le sens de $\vec{F}$ est déterminé par plusieurs règles, dont celle des trois doigts de la main droite

- Si l'index indique le sens du courant électrique I ;
- et le majeur indique le sens de $\vec{B}$;
- alors le pouce indique le sens de $\vec{F}$.



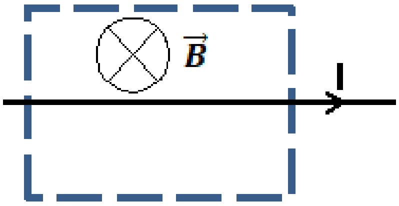
Règle de la main droite

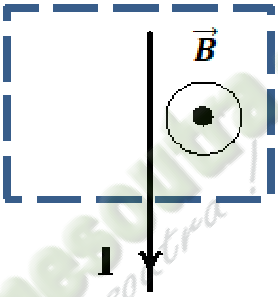
- **valeur** : $F = I.\ell.B|sin\alpha|$ **avec** $\alpha = (\widehat{\vec{\ell}\ ,\ \vec{B}})$

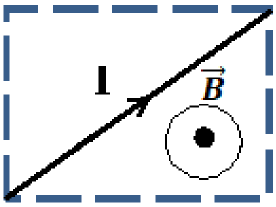
Pour $\vec{\ell} \perp \vec{B}$ **:** $\alpha = \left(\widehat{\vec{\ell}\ ,\ \vec{B}}\right) = \frac{\pi}{2} \Rightarrow sin\alpha = 1$ **donc** $F = I.\ell.B$

__Activité d'application__

Représente sur chacun des conducteurs placés dans l'espace champ magnétique $\vec{B}$ délimité par le rectangle, la force de LAPLACE.

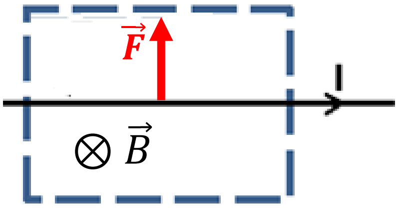


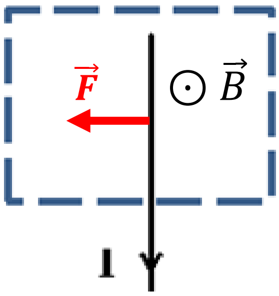


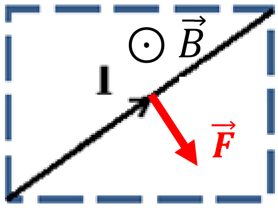


CORRECTION

En utilisant la règle des trois doigts de la main droite



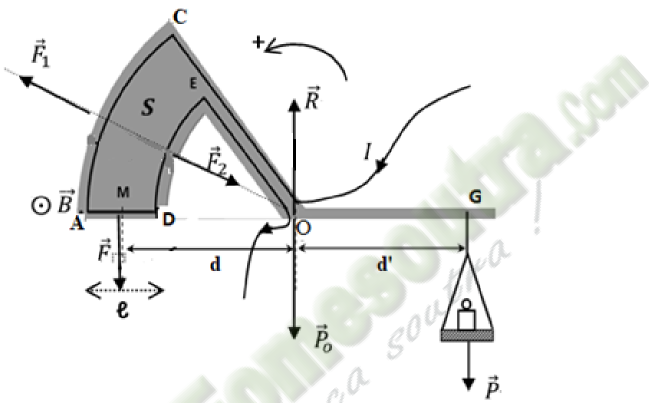




3. Applications de la loi de Laplace

3.1 Balance de Cotton ;

3.1.1 Schéma et description



Elle comprend :

- un bras de fléau supportant un plateau ;
- un circuit électrique OCADE fixé sur l'autre bras de fléau.

La partie CADE est plongée dans le champ magnétique à mesurer. $\widehat{CA}$ et $\widehat{DE}$ sont des arcs de cercle de centre O.

La balance est mobile autour de l'axe horizontal (Δ) passant par O, perpendiculaire au plan de figure. Elle est équilibre en l'absence de courant électrique.

3.1.2 Détermination de la valeur du champ magnétique

- Système : ensemble (fléau + plateau + masse)
- Référentiel terrestre supposé galiléen
- Bilan des forces extérieures au système :
- La réaction $\vec{R}$,
- les poids $\vec{P}$, $\vec{P}_0$,
- les forces de Laplace $\vec{F}$, $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$
- À l'équilibre, on a $\sum M_{(\Delta)}(\vec{F}_{ext}) = 0$

$$M_{(\Delta)}(\vec{P}) + M_{(\Delta)}(\vec{R}) + M_{(\Delta)}(\vec{P}_0) + M_{(\Delta)}(\vec{F}) + M_{(\Delta)}(\vec{F}_1) + M_{(\Delta)}(\vec{F}_2) = 0$$

Compte tenu de la forme des conducteurs MN et PQ (arcs de cercle de centre O), les moments des forces $\vec{R}$, $\vec{F}_1$,$\vec{F}_2$et $\vec{P}_0$ sont nuls car leurs droites d'action coupe l'axe de rotation (Δ) en O.

$$M_{(\Delta)}(\vec{P}) + M_{(\Delta)}(\vec{F}) = 0$$

$$-P \times d' + F \times d = 0 \Leftrightarrow F \times d = P \times d'$$

Or $F = I\ell B$ et $P = mg$

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

Pour $d' = d$ alors $\boldsymbol{B} = \frac{mg}{I\ell}$

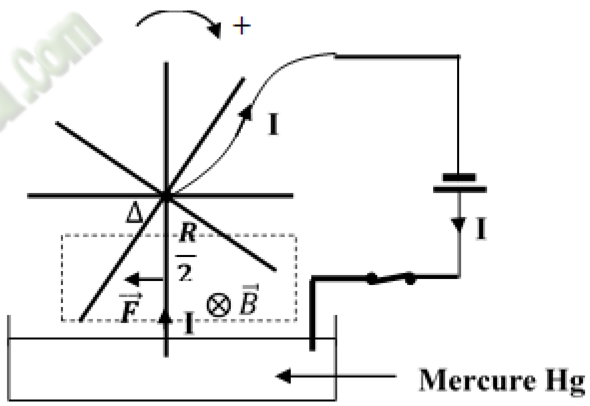
3.1.3 Intérêt du dispositif

Il permet de déterminer la valeur du champ magnétique $\vec{B}$

3.2 Roue de Barlow

3.2.1 Schéma et description

La roue de Barlow est constituée d'un disque de cuivre, mobile autour d'un axe horizontal Δ ; cet axe est relié à l'une des bornes d'un générateur de tension continue. L'autre borne est reliée à une cuve contenant une solution conductrice, lui-même en contact avec le disque. Un aimant en U crée, autour de la portion basse du disque, un champ magnétique uniforme $\vec{B}$.



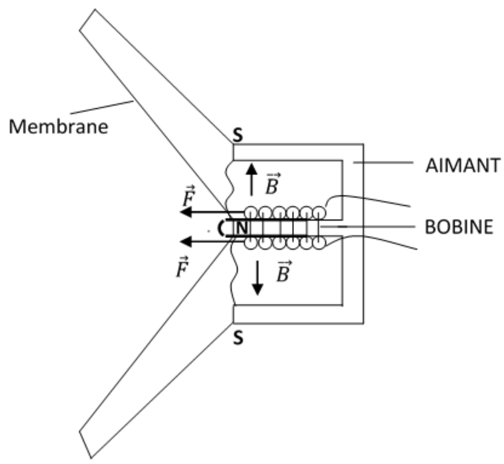
3.2.2 Fonctionnement

A la fermeture du circuit, le rayon qui plonge dans la solution conductrice est traversé par le courant I et subit la force de la Laplace. Si l'intensité de $\vec{F}$ est grande, ce rayon sort de la solution et un autre y pénètre. Les rayons se suivent ainsi les uns après les autres dans la solution et l'ensemble tourne dans le sens de $\vec{F}$.

3.3 Haut-parleur

Un haut-parleur est un appareil qui transforme des courants électriques en ondes sonores.

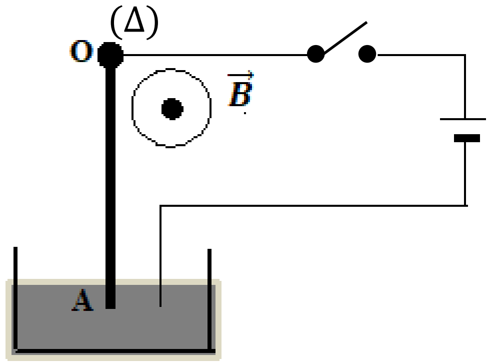
Il est constitué d'un aimant, d'une bobine et d'une membrane. La membrane est solidaire de la bobine. Les variations du courant électrique dans la bobine créent une force (force de Laplace) qui fait vibrer la membrane. Cette vibration de la membrane crée le son.



SITUATION D'ÉVALUATION

Au cours d'une séance de T.P. un groupe d'élèves de terminale D, sous la supervision de leur professeur de Physique – Chimie, réalise le montage schématisé ci-contre. OA est une tige de cuivre mobile de l'axe horizontal (Δ). Le groupe veut déterminer l'angle de déviation α du fil dans différentes situations.

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.



1. Première partie

Précise ce qui se passe au niveau de la tige dans chacun des cas suivants :

1.1 le circuit est fermé et le champ magnétique $\vec{B}$ existe ;
1.2 on intervertit les bornes du générateur, en présence du même champ magnétique $\vec{B}$; le circuit étant fermé ;
1.3 le circuit est fermé et le champ magnétique est supprimé ;
1.4 le circuit est ouvert en présence du champ magnétique $\vec{B}$.

2. Deuxième partie

Un élève du groupe fixe la valeur de $\vec{B}$ à 5.10^{-2} T et I = 5 A. La tige OA de longueur $\ell = 20\ cm$ est entièrement plongée dans le champ $\vec{B}$. La masse de la tige est m = 10 g.

2.1 Fais le bilan des forces s'exerçant sur la tige OA. Représente-les sur un schéma.
2.2 Écris la condition d'équilibre de la tige OA.
2.3 Détermine l'inclinaison α de la tige OA par rapport à la verticale.

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

CORRECTION

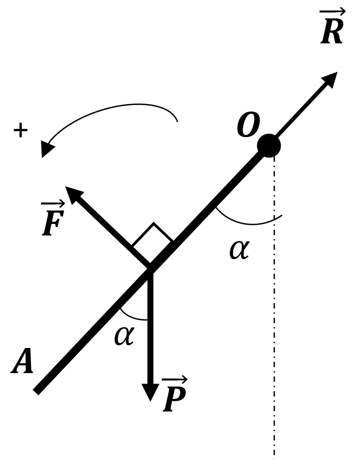
1. Première partie

1.1 Circuit fermé et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle
La tige rectiligne de cuivre (tige OA) est déviée

1.2 On intervertit les bornes du générateur et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle.
La tige est déviée dans l'autre sens.

1.3 Circuit fermé et la valeur de $\vec{B}$ est nulle
La tige reste dans sa position d'équilibre verticale.

1.4 Circuit ouvert et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle
La tige reste dans sa position d'équilibre verticale



2. Deuxième partie

2.1 Le bilan et représentation des forces

Système : tige OA

Bilan des forces extérieures à la tige OA

- La réaction $\vec{R}$ du support
- Le poids de la tige $\vec{P}$
- La force de LAPLACE $\vec{F}$

2.2 La condition d'équilibre de la tige OA autour d'un axe fixe (Δ).

Lorsque la tige OA est en équilibre autour d'un ace de rotation(Δ) fixe alors :

$$\sum \vec{F}_{(ext)} = \vec{0}$$

$$\sum M_{(\Delta)}(\vec{F}_{ext}) = 0$$

2.3 Détermination de l'inclinaison α de la tige OA par rapport à la verticale.

$$M_{(\Delta)}(\vec{P}) + M_{(\Delta)}(\vec{F}) + M_{(\Delta)}(\vec{R}) = 0$$

$$-F \times \frac{\ell}{2} + P \times \frac{\ell}{2} sin\alpha = 0 \Leftrightarrow F = P \times sin\alpha$$

Or $F = I\ell B$ et $P = mg$ alors $I\ell B = mgsin\alpha$

$sin\alpha = \frac{I\ell B}{mg}$ $d'où$ $\alpha = \sin^{-1}(\frac{I\ell B}{mg})$ A.N $\alpha = \sin^{-1}(\frac{5\times 0,2\times 5.10^{-2}}{10\times 10.10^{-3}})$ $soit$ $\alpha = 30°$

TERMINALE CE
PHYSIQUE

CÔTE D'IVOIRE

ÉCOLE NUMÉRIQUE

Leçon 9 : INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

1) Situation d'apprentissage

Des élèves en classe de Terminale C au Lycée Moderne de Séguéla ont découvert dans une revue scientifique, l'information suivante : « la génératrice de bicyclette est un appareil très simple : une bobine de fil conducteur et un aimant. La rotation de l'aimant devant la bobine crée un courant électrique induit : c'est l'induction électromagnétique ». Afin de s'approprier cette information, avec leurs camarades de classe ils veulent expliquer le phénomène d'induction électromagnétique, comprendre les lois de l'induction électromagnétique et appliquer la loi de Lenz à un circuit soumis à une variation de flux magnétique.

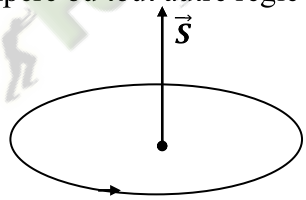
2) CONTENU DE LA LECON

1. Notion de flux magnétique

1.1 Vecteur surface

Soit un circuit fermé plan situé dans une région où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Ce circuit limite une surface plane S.

On appelle vecteur-surface $\vec{S}$ du circuit, le vecteur normal au plan du circuit dont le sens est déterminé par la règle de l'observateur d'Ampère ou tout autre règle équivalent.

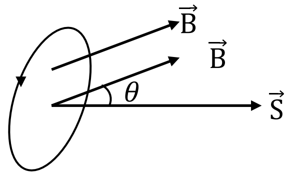


Remarque : Si le circuit est parcouru par un courant électrique, le sens positif est celui du courant électrique.

1.2 Flux magnétique

Soit un circuit fermé, plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, on appelle flux magnétique du champ $\vec{B}$, à travers cet circuit, la grandeur algébrique définie par :

$\phi = \vec{B}.\vec{S} = B.S.\cos\theta$



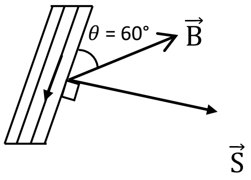
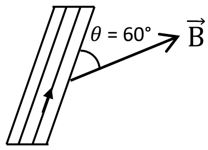
Remarque :

- L'unité légale du flux magnétique est le Weber (Wb).
- Le flux magnétique se mesure à l'aide d'un fluxmètre.
- Pour N spires, $\phi = N\,B\,S\,\cos\theta$.

Activité d'application

Une bobine plate de rayon moyen r = 2,5 cm et comportant N= 50 spires est plongé dans un champ magnétique uniforme de valeur B= 0,02T.
Calculer le flux magnétique à travers la bobine.

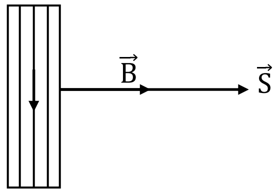
Solution

La solution dépend de l'orientation de la bobine	
1[er] Cas *Représentons* $\vec{S}$ $\phi = N\,B\,S\cos(\frac{\pi}{2} - \theta)$ $\phi = N\,B\pi\,r^2\sin\theta$ $\phi = 1{,}7.10^{-3}$ *Wb*  	*2[e] Cas* $\phi = N\,B\,S\cos(\frac{\pi}{2} + \theta)$ $\phi = -\,N\,B\pi\,r^2\sin\theta$ $\phi = -\,1{,}7.10^{-3}$ *Wb* 

1.3 ***Règle du flux maximal***

Un circuit fermé, parcouru par un courant électrique continu, mobile dans un champ magnétique uniforme, s'oriente de telle sorte que le flux magnétique, soit maximal dans sa position d'équilibre, le sens positif étant celui du courant électrique.

$$\phi = \boldsymbol{N\,B\,S}$$



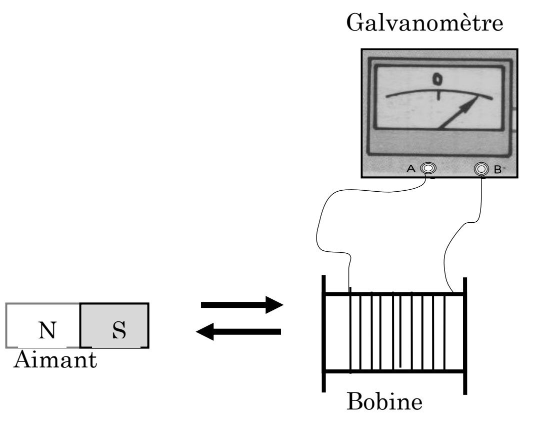
2. Mise en évidence de l'induction électromagnétique

2.1 Expériences et observations

2.1.1 Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine

Soit le circuit ci-contre ne comportant pas de générateur.

- Le déplacement de l'aimant au voisinage de la bobine provoque l'apparition d'un courant électrique appelé ***courant induit***.
- L'aimant qui crée le champ est ***l'inducteur***.
- La bobine, siège du courant induit est le ***circuit induit*** ou ***l'induit.***
- Le phénomène qui engendre le courant induit est appelé ***induction électromagnétique***

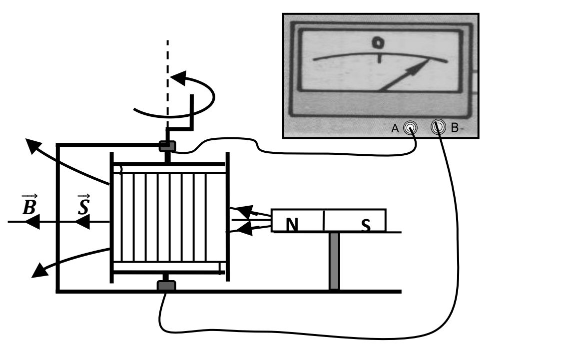


Remarque :

- *L'intensité du courant induit augmente avec la vitesse de déplacement de l'aimant.*
- *Le sens du courant induit dépend du sens du déplacement et de la nature du pôle le plus proche.*
- *Le courant induit s'annule lorsque le déplacement cesse.*

2.1.2 Rotation d'un circuit fermé à proximité d'un aimant

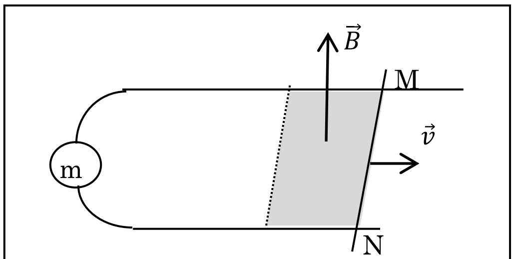
La variation de l'angle entre le champ magnétique et le vecteur surface fait apparaître un courant induit dans la bobine.



Rotation d'une bobine au voisinage d'un aimant

2.1.3 *Variation de la surface du circuit induit*

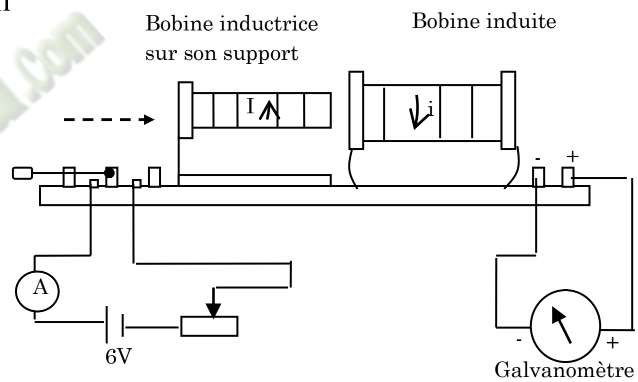
La variation de la surface du circuit plongé dans le champ magnétique donne naissance à un courant induit.



Conducteur mobile sur les rails de Laplace

2.1.4 *Déplacement d'une bobine inductrice*

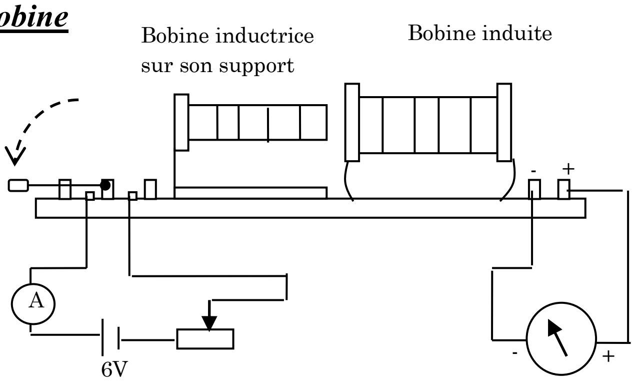
- En approchant la bobine mobile de la bobine fixe, il naît dans cette dernière un courant induit i de sens différent de I. Le flux croit.
- En éloignant la bobine inductrice, il naît dans la bobine induite un courant i de même sens que I (le flux décroit).



Déplacement de la bobine inductrice

2.1.5 *Ouverture et fermeture du circuit dans une bobine*

- *Fermeture*
  Le flux croit d'où la naissance dans la bobine induite d'un courant i de sens contraire à I.
- *Ouverture*
  Le flux décroit d'où la naissance dans la bobine induite d'un courant induit i.

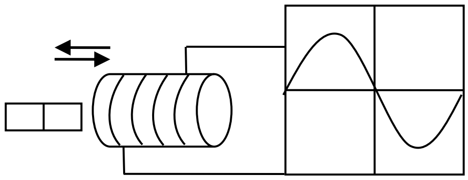


Ouverture et fermeture du circuit dans la bobine inductrice

2.2 Conclusion

Un courant induit est créé dans un circuit fermé, chaque fois qu'il y a une variation du flux magnétique dans le circuit. Ce courant induit ne dure que le temps de la variation du flux.

2.3. Visualisation du courant induit i à l’oscilloscope



3. Lois de l’induction électromagnétique

3.1 Loi de Lenz

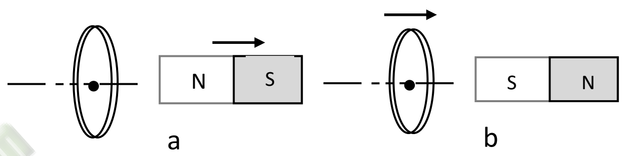
Le sens du courant induit est tel que par ses effets, il s’oppose à la cause qui lui donne naissance.

Remarque :

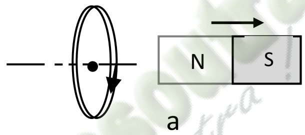
La loi de Lenz permet de prévoir le sens du courant induit.

Activité d’application

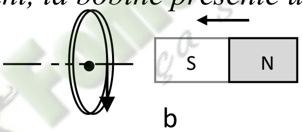
Déterminer le sens du courant induit dans les circuits fermés suivant en appliquant la loi de Lenz



- *En éloignant l’aimant, la bobine présente devant le pôle nord de l’aimant une face Sud qui tend à retenir l’aimant*



- *En approchant l’aimant, la bobine présente une face sud qui tend à repousser le pôle sud l’aimant.*



3.2 Loi de Faraday

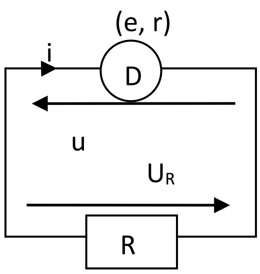
Tout circuit électrique, soumis à une variation de flux magnétique est le siège d’une force électromotrice (f.é.m.) induite e donnée par la relation :

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

V

4. Courant induit et force électromotrice induite.

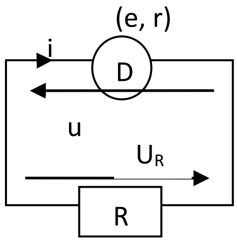
4.1. Intensité du courant induit



Loi des mailles : $u = -U_R$

$ri - e = Ri \rightarrow i = \frac{e}{R+r} = -\frac{1}{R+r}\frac{d\phi}{dt}$

4.2. ***Tensions aux bornes du circuit induit***



$u = ri - e$ et $\mathbf{i} = \frac{\mathbf{e}}{\mathbf{R+r}}$

$\mathbf{u} = \mathbf{e}\left(\frac{\mathbf{r}}{\mathbf{R+r}} - 1\right) = -\frac{\mathbf{R}}{\mathbf{R+r}}\mathbf{e}$

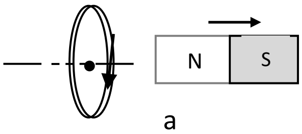
Lorsque le circuit est ouvert i = 0, $\mathbf{u = - e = \frac{d\phi}{dt}}$

4.3. ***Quantité d'électricité induite***

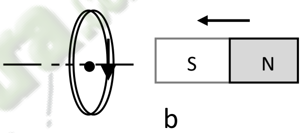
$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{R+r}\frac{d\phi}{dt} \rightarrow dq = -\frac{1}{R+r}d\phi$ et par intégration $Q = -\frac{1}{R+r}(\phi_f - \phi_i)$ $\begin{cases} \phi_f \text{ : flux final} \\ \phi_i \text{ : flux initial} \end{cases}$

4.4. ***Sens du courant induit.***

4.4.1. ***Par la loi de Lenz.***



a



b

4.4.2. ***Par la loi de Faraday.***

On choisit un sens positif qui donne le vecteur surface $\vec{S}$.

Pour N spires, le flux est : $\phi = N\vec{B}.\vec{S}$ soit $\phi = NBS\cos\theta$

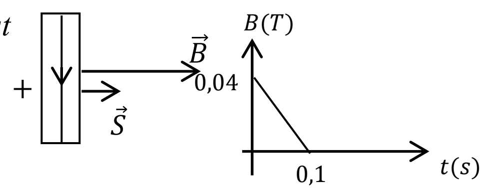
D'après la loi de Faraday $e = -\frac{d\phi}{dt}$

- La loi de Faraday permet de déterminer le sens et l'intensité du courant induit.
- Si e > 0 alors le courant induit circule dans le sens positif choisi.
- Si e < 0 alors le courant circule dans le sens opposé au sens positif.
- $e = -\frac{d\phi}{dt}$: le signe (–) traduit la loi de Lenz compte tenu des conventions de signe adopté.
- Si le circuit est fermé, il y a apparition d'un courant induit ; s'il est ouvert, on n'aura pas de courant induit mais la f.é.m. existe toujours.

Activité d'application

Une bobine comporte N=100 spires de rayon moyen r = 4 cm. Elle est placée dans un champ magnétique parallèle à son axe et qui varie linéairement de 0,04 T à 0,00T en 0,1 s (voir figure).

Calculer la f.é.m. d'induction qui apparait aux bornes de la bibine.



Solution

Calculons la f.é.m. d'induction qui apparaît aux bornes de la bobine :

$\phi = N\,B\,S$ *avec* $B = a.t + b$

Or $e = -\frac{d\phi}{dt} = -N\,S\frac{dB}{dt} = -N.\,S.\,a$

De plus : $a = \frac{\Delta B}{\Delta t} = -0{,}4\ T.\,s^{-1}$

D'où : $e = -N.\,\pi r^2 a = 0{,}2\ V$

Remarque: e > 0 donc le courant induit circule dans le sens positif.

Méthode de résolution :
Pour résoudre un problème portant sur les courants induits, on oriente arbitrairement le circuit. Cette orientation donne le sens de $\vec{S}$ et détermine le signe de ϕ.

3.3 f.é.m. induite moyenne

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

5. APPLICATIONS DE L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

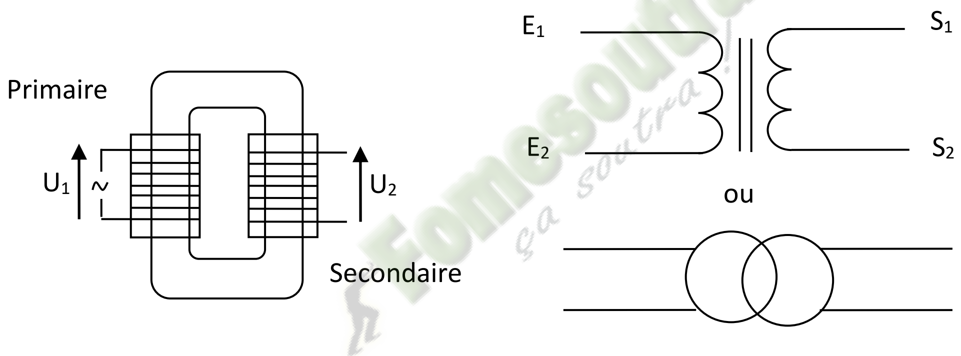
5.1 Les transformateurs

5.1.1 Généralités

Un transformateur est constitué de deux bobines placées face à face sur un circuit magnétique.

- L'une des bobines est branchée à une source alternative de courant : c'est le circuit primaire ; elle constitue l'inducteur.
- Les variations alternatives du flux magnétique engendré par le primaire créent un champ magnétique dans l'autre bobine et donnent naissance à une f.é.m. induite alternative : cette bobine est le secondaire ou l'induit.

Les transformateurs ne fonctionnent pas en courant continu.



5.1.2 Relation entre tensions aux bornes du primaire et du secondaire

Soient N_1 et N_2, les nombres de spires du primaire et du secondaire.
Soient U_1 et U_2 les tensions efficaces correspondantes.

$U_1 = 6$ V	$U_2 = 3$ V	$N_1 = 66$ spires	$N_2 = 33$ spires
$\frac{U_2}{U_1} = 0{,}5$		$\frac{N_2}{N_1} = 0{,}5$	

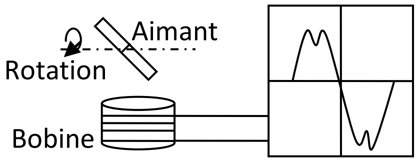
On a : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$ **: C'est le rapport de transformation**

Remarque :

- Si $\frac{N_2}{N_1} < 1$ alors $U_2 < U_1$: le transformateur est dit abaisseur de tension.
- Si $\frac{N_2}{N_1} > 1$ alors $U_2 > U_1$: le transformateur est dit élévateur de tension
- Si $\frac{N_2}{N_1} = 1$ alors $U_2 = U_1$: on a un transformateur d'isolement.

5.2 Les alternateurs

Ils servent à produire des tensions alternatives, en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique. En effet lorsqu'on fait tourner un aimant devant une bobine, une f.é.m. induite apparaît aux bornes de la bobine qui devient ainsi génératrice de courant. Dans la production industrielle, l'aimant est remplacé par plusieurs électroaimants (rotor) et l'induit fixe (stator) est constitué de plusieurs bobines montées en série.

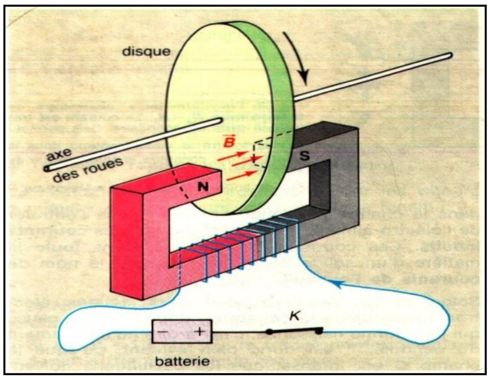


5.3 Les courants de Foucault

Ce sont des courants qui apparaissent dans la masse de tout matériau conducteur en mouvement dans un champ magnétique ou dans tout matériau conducteur placé dans un champ magnétique variable.

Applications :

- Freinage des véhicules lourds : les courants de Foucault qui apparaissent dans le disque donne naissance à des forces de Laplace qui s'opposent au mouvement du disque.



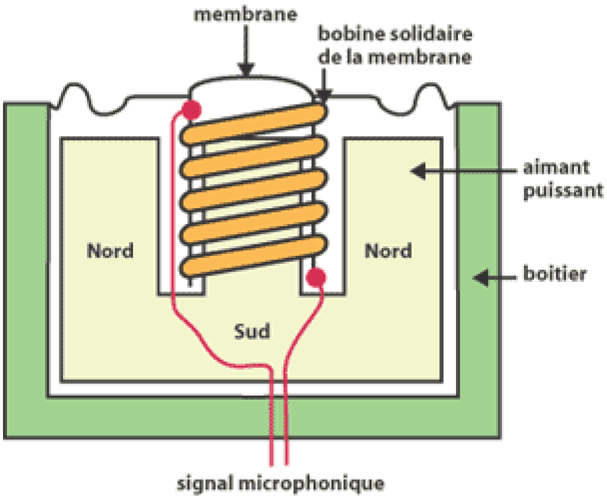
Exemples :

- les freinages des véhicules lourds

- les fours à induction

5.4.Le microphone électrodynamique à bobine mobile

Il utilise une bobine de cuivre et une source magnétique (aimant).
La bobine, solidaire de la membrane, est placée dans le champ magnétique de l'aimant. Chaque mouvement mécanique de la membrane est traduit en tension électrique. Ce microphone a l'avantage d'être robuste et de supporter de très hauts niveaux de pression acoustique. Il est peu sensible au vent ou à l'humidité, mais sensible aux champs magnétiques. On note en revanche une perte de définition dans les fréquences aiguës (à partir de 15 kHz).



Utilisation :
ce micro trouvera sa place sur scène où la qualité du son est moins importante qu'en studio. Les micros adaptés à la voix ont une courbe de réponse remontée vers 5 000 Hz pour donner une meilleure intelligibilité et proposent généralement un filtre antivent et pop (atténuation des plosives et des sifflantes).

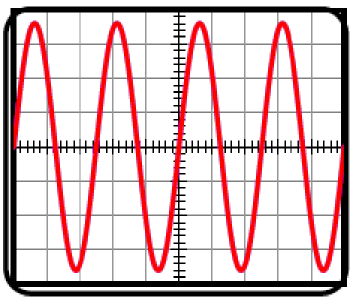
6. Production de l'électricité par les alternateurs

L'alternateur est constitué d'une bobine fixe devant laquelle un aimant est animé d'un mouvement de rotation (θ varie) alors une f.e.m. induite apparait aux bornes de la bobine qui devient une génératrice de tension alternative.

On sait que ϕ = NBScosθ. Si θ = ωt alors ϕ = NBScosωt

En plus $e = -\frac{d\phi}{dt}$ d'où e = NBSωcosωt

e est une tension alternative sinusoïdale



TERMINALE CDE
PHYSIQUE

CÔTE D'IVOIRE
ÉCOLE NUMÉRIQUE

LEÇON 8 (TD) 10 (TCE) AUTO-INDUCTION

SITUATION D'APPRENTISSAGE

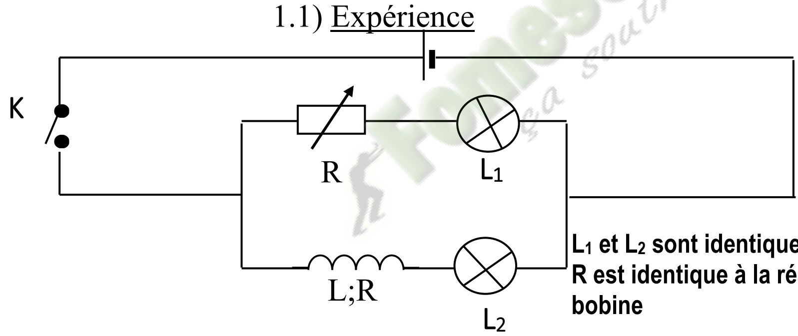
Salimata est élève en classe de T^le^ C du Lycée Moderne HKB2 de Daoukro. Il a observé que le voyant lumineux, témoin d'allumage de certains appareils s'allume ou s'éteint quelques instants après avoir appuyé le bouton de mise sous tension. En cherchant à comprendre ce phénomène elle apprend que cela est dû à l'auto- induction dans les bobines qu'ils contiennent.
Toute contente, elle partage l'information avec ses camarades de classe. Sous la supervision de leur professeur ; la classe décide de s'informer sur le phénomène de l'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.

CONTENU DE LA LECON

I- MISE EN ÉVIDENCE DE L'AUTO-INDUCTION

1. Retard à l'allumage d'une ampoule

1.1) Expérience



L1 et L2 sont identiques
R est identique à la résistance de la bobine

1.2) Observations

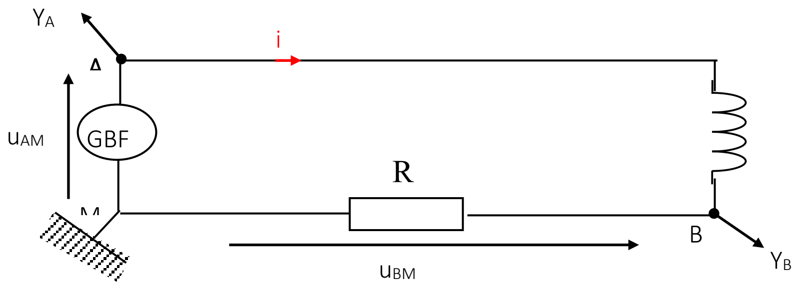
- K fermé : L_1 s'allume instantanément tandis que L_2 s'allume progressivement.
- À l'ouverture de K, L_1 s'éteint avant L_2.

1.3) Conclusion

La bobine s'oppose à l'installation et à l'annulation du courant électrique dans le circuit. Ce phénomène porte le nom d'auto-induction.

2. Visualisation à l'oscilloscope

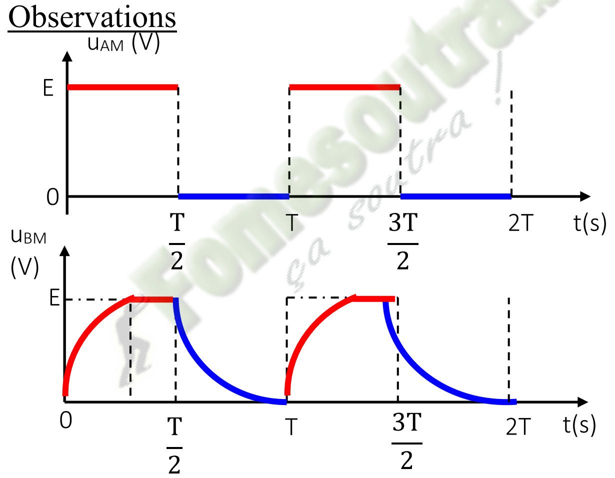
2.1. Dispositif expérimental



Y_A : Visualisation de la tension U_{AM} aux bornes du générateur Y_B : Visualisation de la tension u_{BM} = R i aux bornes du conducteur ohmique.

N.B : u_{BM} = Ri donc la courbe représentant u_{BM} à la même forme que i.

2.2. Observations



2.3. Interprétation

- *A la fermeture du circuit électrique* :

La tension aux bornes du générateur passe de 0 à E tandis que l'intensité du courant électrique dans le conducteur ohmique de résistance R croit progressivement pour atteindre sa valeur maximale qu'au bout d'un certain temps.

- *À l'ouverture du circuit électrique :*

La tension aux bornes du générateur s'annule tandis que l'intensité du courant électrique décroit progressivement pour s'annuler au bout d'un certain temps.

Remarque :

Le régime au cours duquel i varie (croit ou décroit) est appelé régime transitoire.

Le régime où i est constant (i = I_{max}) est appelé régime permanent.

2.4. Conclusion

La bobine s'oppose aux variations (installation ou annulation) du courant électrique i.
Ce phénomène est appelé auto-induction. Elle résulte de la variation du flux magnétique à travers la bobine.

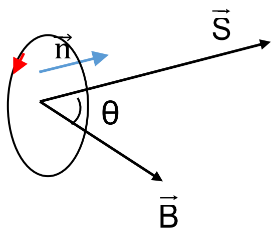
II- FLUX PROPRE ET INDUCTANCE D'UNE BOBINE

1. Définition du flux magnétique propre

On appelle flux magnétique propre Φ_P, le flux créé par le champ magnétique $\vec{B}$, dans la bobine à travers la surface fermée S . C'est une grandeur algébrique définie par : $\Phi_p = \vec{B}.\vec{S}$
Où $\vec{S} = S\,\vec{n}$: vecteur surface. Il est normal au plan défini par le circuit.

soit : $\boxed{\Phi_p = B\,S\cos\theta}$

weber (Wb) T m²



L'expression du flux créé à travers une spire de la bobine est :
$\Phi_p = \vec{B}.\vec{S} = B.\,S$ or $B = \mu_0\frac{N}{\ell}\,I$
Soit $\Phi_p = \mu_0\frac{N}{\ell}\,I.\,S$ où S représente la surface d'une spire.
Pour les N spires de la bobine, on a :

$$\boxed{\Phi_p = \mu_0\frac{N^2}{\ell}\,I.\,S}$$

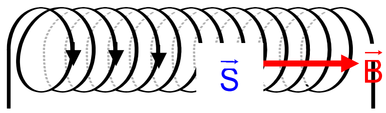
Exercice d'application 1

Un solénoïde comporte N spires uniformément enroulées sur un cylindre de longueur L et de section S.
1 – Donne les caractéristiques du champ $\vec{B}$ à l'intérieur de la bobine lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité I = 100 mA.
2 – Calcule le flux à travers les spires de la bobine.
Données : N = 100 spires; ℓ =40 cm; S = 20 cm^2 ; $\mu_0 = 4\pi\,.\,10^{-7}$ S.I

Solution

1. Donnons les caractéristiques du champ $\vec{B}$ à l'intérieur de la bobine :
Point d'application : Centre du solénoïde
Direction : L'axe du solénoïde
Sens : De la face sud vers la face nord
Norme : $B = \mu_0\frac{N}{\ell}I$; $B = 3{,}14.\ 10^{-5}T$

2. Calculons le flux à travers la bobine :
$\Phi = B.\,S$; $\Phi = 6{,}28.\ 10^{-8}Wb$



2. Inductance d'une bobine

L'inductance L d'une bobine est égale au quotient du flux propre Φ_p à l'intérieur de la bobine par l'intensité I du courant électrique qui la traverse.

$$\boxed{L = \frac{\Phi p}{I} = \mu_0\frac{N^2}{\ell}.\,S}$$

henry (H)

Remarque : L est le coefficient de proportionnalité entre le flux propre Φ_p et l'intensité du courant électrique I.

Exercice d'application 2

Un solénoïde de longueur ℓ =0,5 m et de diamètre d = 5 cm comporte 2.10^4 spires. L'inductance L de ce solénoïde vaut :

a) 0,97 H ;

b) 1,5 H ;

c) 1,97 H.

Entoure la lettre correspondant à la bonne réponse.

Solution

c) 1,97 H.

3. Force électromotrice d'auto-induction

La variation du flux engendre un courant induit qui donne naissance à une force électromotrice induite d'induction e.

La spire se comporte comme un générateur en opposition avec le générateur d'alimentation du circuit.

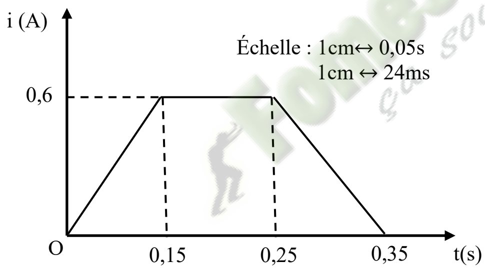
La force électromotrice d'auto-induction e a pour expression :

$e = -\frac{d\phi}{dt}$ or $\Phi_p = L.i$

$\boxed{e = -L.\frac{di}{dt}}$ e s'exprime en volts (V).

Exercice d'application 3

Une bobine d'inductance L = 12 mH et de résistance négligeable est parcourue par un courant dont les variations sont représentées ci-dessous



1- *Calcule la f.é.m. de la bobine dans chaque intervalle de temps.*
2- *Représente la fonction e = f(t) de la f.é.m. auto-induite* aux bornes de la bobine.

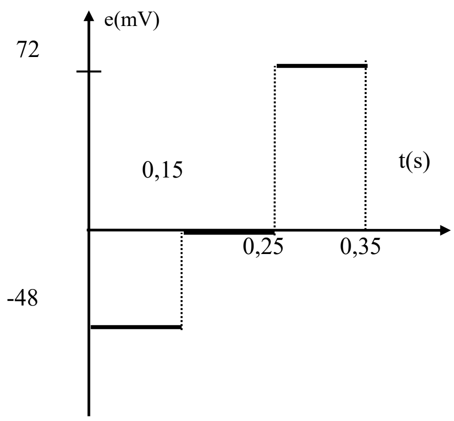
Solution

** pour 0<t<0,15s* $\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t}$ *=4 A/s ⇒ e = -48 mV*

** pour 0,15<t<0,25s* $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ *=0 A/s ⇒ e = 0 V*

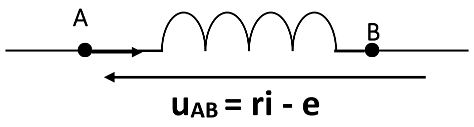
** pour 0,25<t<0,35ms* $\frac{\Delta i}{\Delta t} = -6$ *A/s ⇒ e = 72mV*

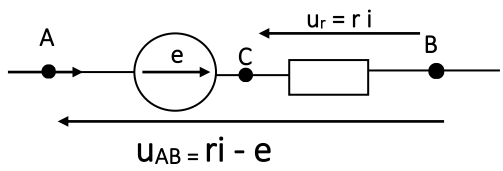
(Voir schéma ci-dessus pour la représentation)



III- TENSION AUX BORNES D'UNE BOBINE

1. Schéma d'une bobine





3.2. Loi d'Ohm

u_{AB} = ri – e or e = - L $\frac{di}{dt}$

d'où

$$\boldsymbol{u_{AB}} = \mathbf{r\,i + L\frac{di}{dt}}$$

Remarques:

- *Si r = 0 : on a une inductance pure et* $\boldsymbol{u_{AB}} = -\boldsymbol{e}$
- *En régime continu ou permanent, I est constante, la bobine se comporte comme une résistance pure :* $U_{AB} = \boldsymbol{r\,I}$

Exercice d'application 4

Une bobine d'auto-inductance L = 0,5 H et de résistance r = 8 Ω est parcourue par un courant dont l'intensité varie selon la loi i = 5 – 2,5 t (i en A).
1) Détermine la tension à ses bornes.
2) Calcule cette tension à la date t =1 s.

Solution

1) u = 38,75 – 20 t
2) u = 18,75 V

IV- ÉNERGIE MAGNÉTIQUE EMMAGASINEE DANS UNE BOBINE

1. Puissance échangée

La puissance électrique reçue par une bobine est :

P = u_{AB}.i = r i^2 + Li $\frac{di}{dt}$ car u_{AB} = ri + L $\frac{di}{dt}$

$$\mathbf{P = r\,i^2 + \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}L\,i^2)}$$

Avec :

- $\mathbf{r\,i^2}$: puissance dissipée par effet joule
- $\mathbf{\frac{d}{dt}(\frac{1}{2}\,L\,i^2)}$ puissance emmagasinée par la bobine

2. Énergie emmagasinée

$$\varepsilon = \int_0^t P.\,dt = \int_0^t r\,i^2\,dt + \int_0^t \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}L.\,i^2)\,dt$$

$$\mathbf{E = r\,i^2\,t + \frac{1}{2}L\,i^2} \text{ avec } \begin{cases} r\,i^2 t : \text{énergie dissipée par effet joule} \\ \mathbf{\frac{1}{2}\,L\,i^2} : \text{énergie emmagasinée par la bobine} \end{cases}$$

Exercice d'application 6

Calcule l'énergie emmagasinée E dans une bobine d'inductance L = 1,5 H parcourue par un courant d'intensité I = 2 A.

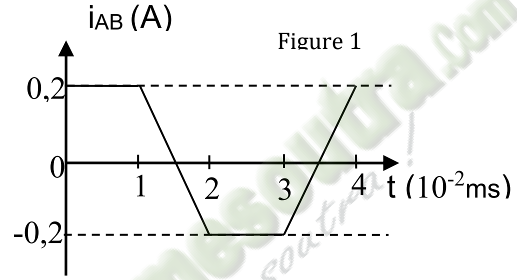
Dis ce que devient cette énergie lorsque l'intensité du courant double.

Solution

$E = \frac{1}{2} Li^2 = 3\ J$; *E est multipliée par 4.*

SITUATION D'EVALUATION

Lors d'une séance de TP, un groupe d'élèves est chargé de déterminer la tension u_{AB} aux bornes d'une bobine AB sans noyau, d'inductance L = 5mH et de résistance r = 2Ω.
Dans une expérience, le groupe utilise un générateur de courant variable dont l'intensité visualisée est représenté comme l'indique la figure 1.



Appartenant au groupe, tu es désigné pour répondre aux consignes.

1) Donne l'expression de l'inductance L de la bobine fonction du flux propre Φ et de l'intensité du courant i.
2) Calcule la valeur du flux propre à travers cette bobine quand elle est parcourue par un courant i_{AB} = 0,2A.
3)
   3.1) Détermine les intervalles de temps durant lesquels il y a variation du flux propre Φ_P à travers la bobine dans l'intervalle $0 \leq t \leq 4.10^{-2}$ s.
   3.2) Calcule cette variation ΔΦ dans chaque cas.
   3.3) Détermine la force électromotrice d'auto induction e dans la bobine dans chaque intervalle de temps.
   3.4) Établis l'expression littérale de la tension u_{AB} aux bornes de la bobine dans chaque intervalle.
   3.5) Représente-la graphiquement en fonction du temps. (Précise les échelles choisies)

TERMINALE
CDE
PHYSIQUE

CÔTE D'IVOIRE
ÉCOLE NUMÉRIQUE

Leçon 11(TCE) 9 (TD) : MONTAGES DERIVATEUR ET INTEGRATEUR

1) Situation d'apprentissage

Au cours d'une conférence prononcée sur les TIC au foyer du Lycée Moderne 2 de Man, les élèves en général et ceux de la Terminale C en particulier ont été édifiés par le rôle joué par les TIC dans notre vie. Ils ont ainsi appris l'existence de circuits intégrés réalisant toutes sortes d'opérations en particulier des dérivations et des intégrations.
De retour en classe les élèves décident avec l'aide de leur Professeur de Physique-Chimie de déterminer la relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie d'un montage dérivateur puis d'un montage intégrateur, d'interpréter ces deux montages et de dégager l'intérêt de chacun de ces montages.

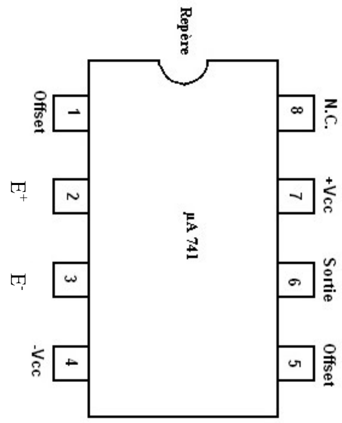
2) Contenu de la leçon

I) RAPPELS : PROPRIÉTÉS DE L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL IDÉAL

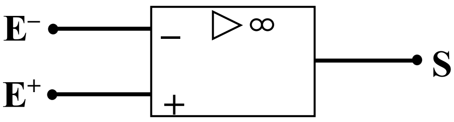
1- Description d'un AOP

L'amplificateur opérationnel (AOP) est un **circuit intégré linéaire** comportant 8 bornes dont :

- une borne d'entrée Inverseuse E^-
- une borne d'entrée Non Inverseuse E^+
- une borne de sortie S
- deux bornes d'alimentation –Vcc et +Vcc.



Son symbole est :



2- Fonctionnement d'un AOP

Un amplificateur opérationnel fonctionne soit en régime **linéaire** (amplificateur) ou en régime **saturé** (comparateur).

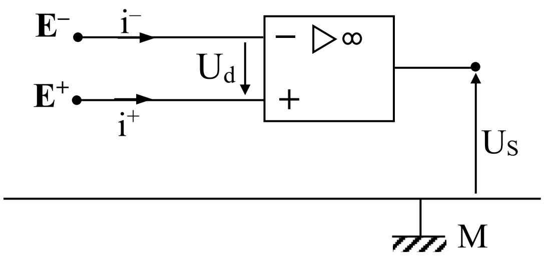
Lorsque l'amplificateur est **idéal (AOP)**, on a les propriétés caractéristiques suivantes :

* En régime linéaire

- Les courants d'entrée sont négligeables : $i^- = i^+ = 0$.
- L'entrée inverseuse E^- et l'entrée non inverseuse E^+ sont pratiquement au même potentiel : $V_{E^+} - V_{E^-} = U_d \approx 0$.
- La tension de sortie est toujours inférieure à la tension de saturation de l'AOP : $|U_S| < V_{sat}$

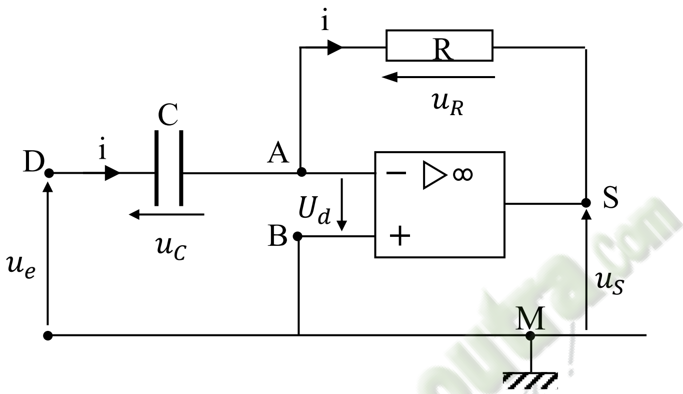
* <u>En régime saturé</u>

  $U_S = \pm V_{sat}$



II) MONTAGE DÉRIVATEUR

1- Schéma du dispositif expérimental



2- Relation entre la tension d'entrée u_e et la tension de sortie u_S

* Considérons à l'entrée la maille MDABM :

La loi des mailles : $u_{MD} + u_{DA} + u_{AB} + u_{BM} = 0$

Or $u_{MD} = -u_e$; $u_{DA} = u_C = \frac{q}{C}$; $u_{AB} = -U_d = 0$; $u_{BM} = 0$

D'où on a: $-u_e + \frac{q}{C} = 0$; q = C.u_e

$i = \frac{dq}{dt}$; $i = C\frac{du_e}{dt}$

* Considérons à la sortie la maille MBASM:

La loi des mailles : $u_{MB} + u_{BA} + u_{AS} + u_{SM} = 0$

$u_{MB} = 0$; $u_{BA} = U_d = 0$; $u_{AS} = u_R = Ri$; $u_{SM} = u_S$

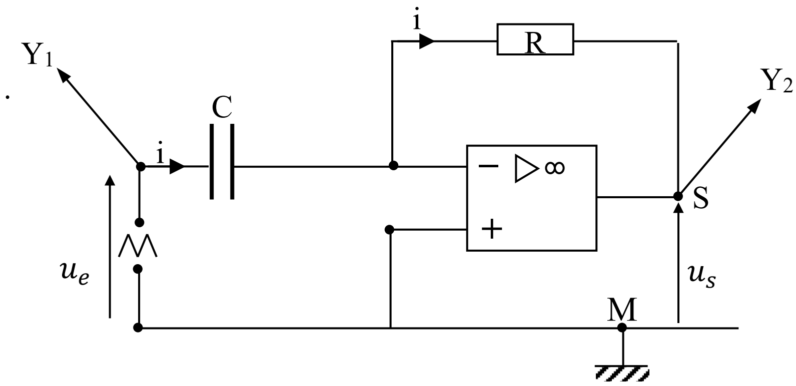
Soit $Ri + u_S = 0$; $u_S = -Ri$

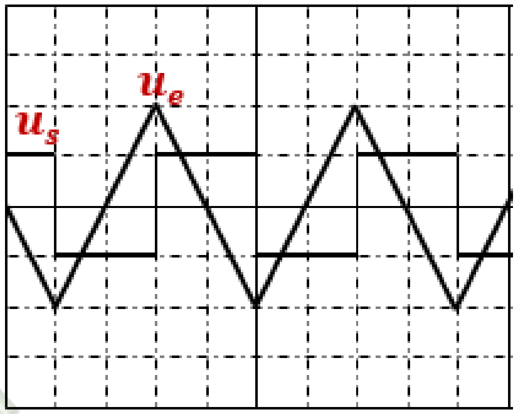
Or $i = C.\frac{du_e}{dt}$; $\boldsymbol{u_S = -RC.\frac{du_e}{dt}}$

La tension de sortie u_S est proportionnelle à la dérivée de la tension d'entrée u_e .

3- Cas pratique : visualisation des tensions u_e et u_S à l'oscilloscope

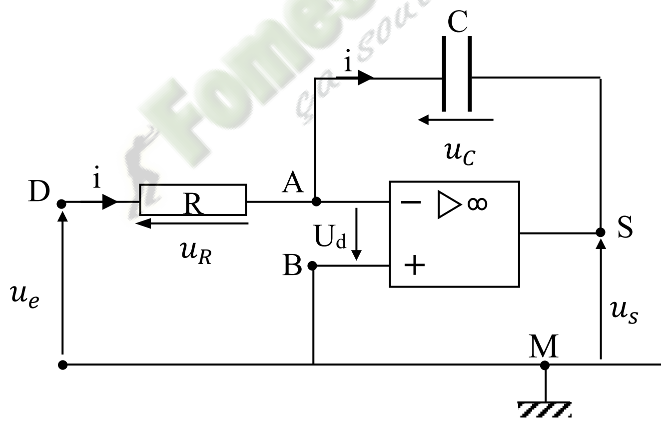
Si la tension d'entrée u_e est un signal triangulaire, la tension de sortie u_S est un signal carré





III- MONTAGE INTÉGRATEUR

1- Dispositif expérimental



2- Relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie

* Considérons à l'entrée la maille MDABM :

La loi des mailles : $u_{MD} + u_{DA} + u_{AB} + u_{BM} = 0$

$$u_{MD} = -u_e \; ; \; u_{DA} = u_R = Ri \; ; \; u_{AB} = -U_d \; ; \; u_{BM} = 0$$

D'où : $-u_e + Ri = 0$; $u_e = Ri$; : $i = \frac{u_e}{R}$

* Considérons la maille MBASM à la sortie :

La loi des mailles : $u_{MB} + u_{BA} + u_{AS} + u_{SM} = 0$

$$u_{MB} = 0 \; ; \; u_{BA} = U_d = 0 \; ; \; u_{AS} = u_C = \frac{q}{C} \; ; \; u_{SM} = u_S$$

$$u_C + u_S = 0 \; ; \; u_S = -u_C = -\frac{q}{C}$$

$$\frac{du_S}{dt} = -\frac{1}{C}\frac{dq}{dt} \qquad \text{or } i = \frac{dq}{dt} = \frac{u_e}{R}$$

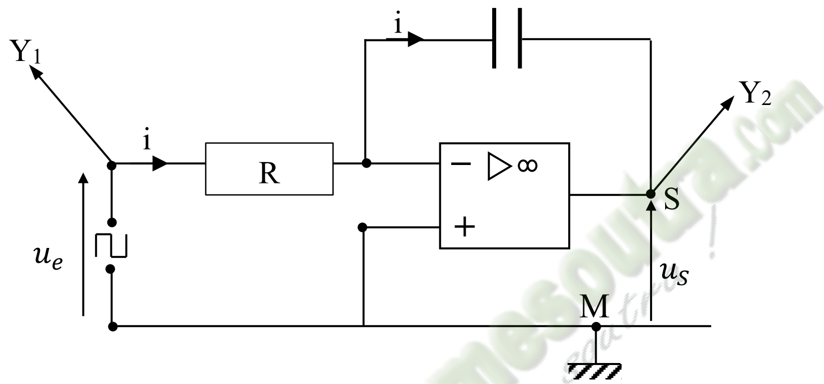
$$\frac{du_S}{dt} = -\frac{1}{RC}u_e \ \text{ soit } \boldsymbol{u_S = -\frac{1}{RC}\int_0^t u_e dt}$$

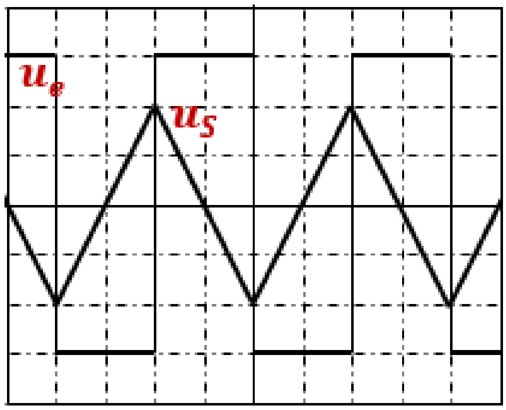
La dérivée de la tension de sortie u_S est proportionnelle à la tension d'entrée u_e.

La tension de sortie u_S est proportionnelle à une primitive de la tension d'entrée u_e.

3- Cas pratique : visualisation des tensions u_e et u_S à l'oscilloscope

La réponse à une tension d'entrée u_e rectangulaire est une tension de sortie u_S triangulaire.



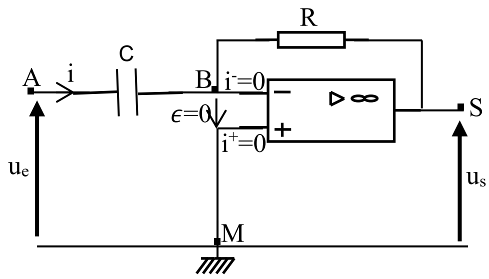


IV- INTÉRÊT DES MONTAGES

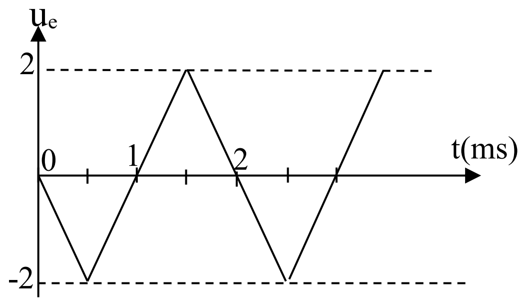
- Un montage dérivateur permet de transformer une tension d'entrée en sa dérivée.
- Un montage intégrateur permet de transformer une tension d'entrée en primitive.

SITUATION D'ÉVALUATION

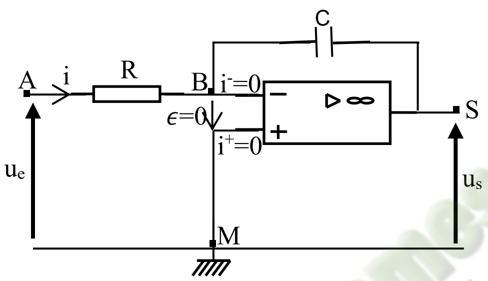
Tu es chargé d'expliquer la leçon sur les montages et dérivateur à ton voisin de classe absent à ce cours pour raison de santé. À cet effet, le professeur de physique chimie réalise les montages représentés ci-dessous. Pour chaque montage, il applique respectivement la tension d'entrée u_e ci-dessous représentée.



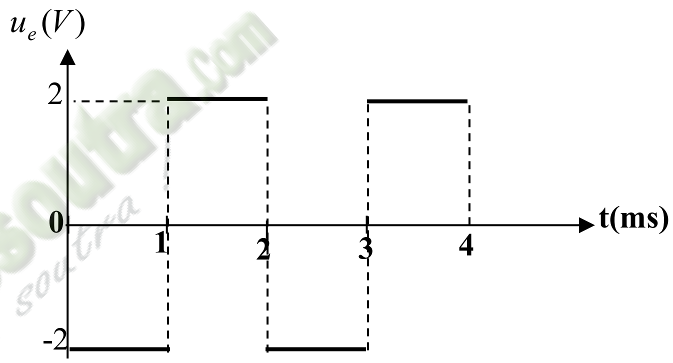
Montage 1



Tension d'entrée du montage 1



Montage 2



Tension d'entrée du montage 2

Échelle : $\begin{cases} 1\ cm & \leftrightarrow & 1\ V \\ 1\ cm & \leftrightarrow & 0{,}5\ ms \end{cases}$

Données : R = 20kΩ , C = 50nF

1- Nomme chaque montage
2- Détermine
   2.1- la période T
   2.2- la fréquence N de ce signal.
   2.3- la tension de sortie u_s(t) pour chaque montage.
3- Représenter sur le même graphe u_e et u_s .

TERMINALE
CDE
PHYSIQUE

CÔTE D'IVOIRE
ÉCOLE NUMÉRIQUE

LEÇON 12 (TCE) 10 (TD) OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

Situation d'apprentissage

Au cours d'une journée carrière au Lycée Moderne de Danané, les élèves de la Tle D_2 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.

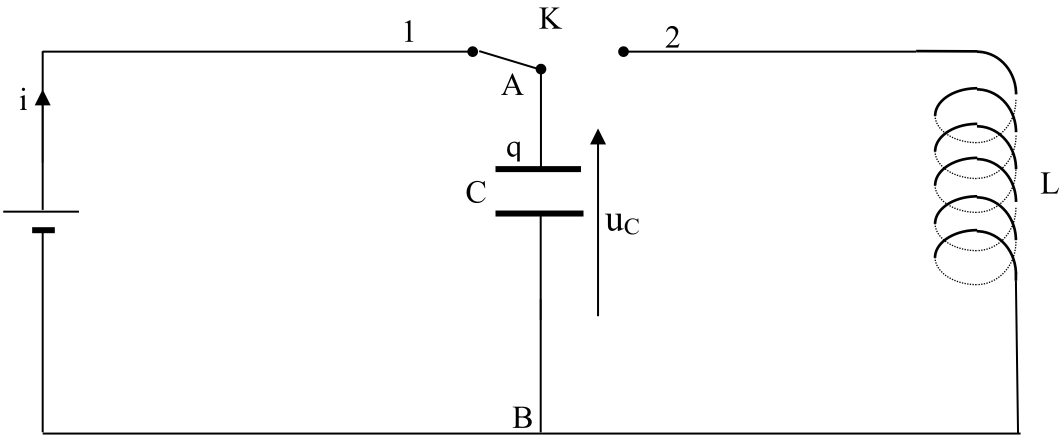
Contenu

I- DEFINITION D'UN OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE

Soit un condensateur chargé de charge q et de capacité C. Relions les bornes de ce condensateur à celles d'une bobine purement inductive d'inductance L. le circuit obtenu est un oscillateur électrique libre ou un circuit L, C.

CHARGE ET DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR DANS UN CIRCUIT LC

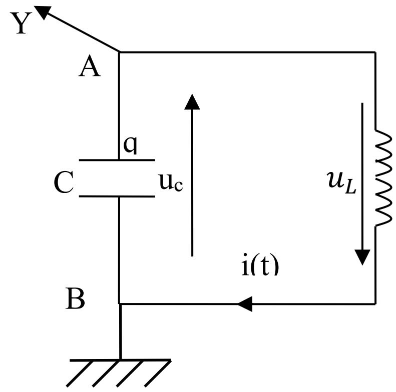
1. Montage expérimental de la charge d'un condensateur par un générateur de tension continue



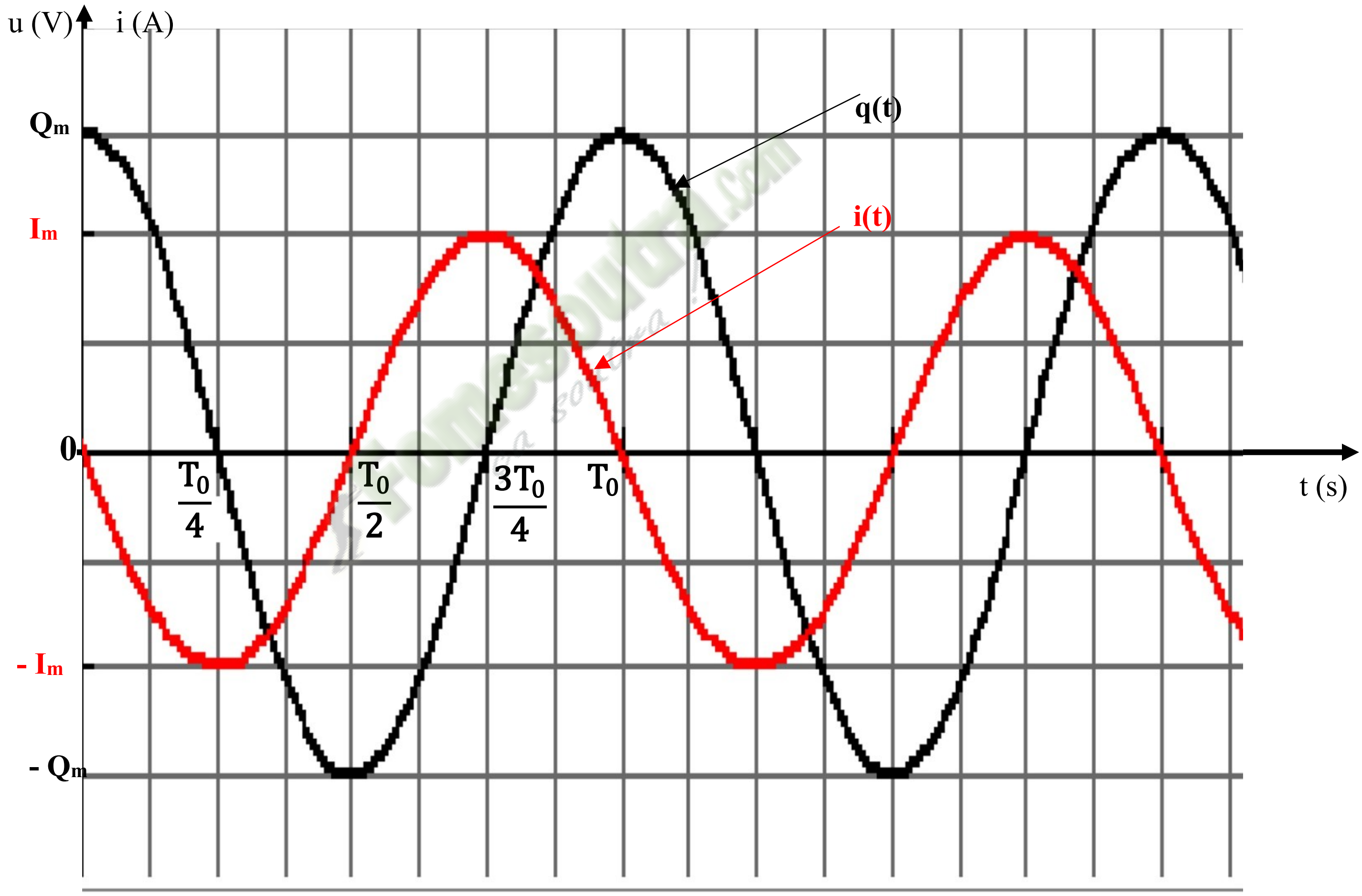
Le commutateur K est en position 1, le condensateur se charge. Selon la polarité du générateur, la charge de l'armature A est $q = Q_m > 0$ à la fin de la charge.

2. **Étude de la charge et de la décharge du condensateur**

2.1) Visualisation à l'oscilloscope



Le commutateur K est en position 2, le circuit oscillant est ainsi constitué.



2.2) Interprétation de la charge et de la décharge

- La charge du condensateur a lieu lorsque sa charge q varie de **0 à ± Q_m**
- La décharge se produit lorsque sa charge q varie de **± Q_m à 0**.
- La charge ou la décharge du condensateur s'effectue en un **quart de période** ($\frac{T_0}{4}$), ainsi, sur une période $\mathbf{T_0}$, il y a deux quarts de périodes de décharges et deux quarts de périodes de charge du condensateur.

Dans notre exemple sur une période $\mathbf{T_0}$:

- les deux intervalles de décharge du condensateur dans la bobine sont : de **0 à** $\frac{T_0}{4}$, la charge q varie de **Q_m à 0**, puis de $\frac{T_0}{2}$ à $\frac{3T_0}{4}$, la charge q varie de **-Q_m à 0**.
- les deux intervalles de charge du condensateur par la bobine sont : de $\frac{T_0}{4}$ à $\frac{T_0}{2}$, la charge q varie de **-Q_m à 0**; puis de $\frac{3T_0}{4}$, à $\mathbf{T_0}$, la charge q varie de **0 à Q_m** et le cycle recommence.

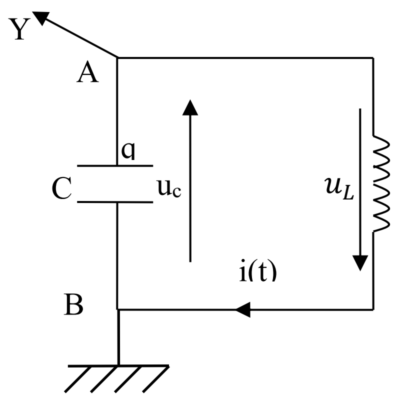
Remarque:

Durant la demi-période de 0 à $\frac{T_0}{2}$, le courant circule du point A au point B. Le courant i est négatif car la charge q de l'armature A reçoit des électrons (charge négative) donc q diminue, sa variation par rapport au temps $\mathbf{i} = \frac{\mathbf{dq}}{\mathbf{dt}}$ est négative.

De $\frac{T_0}{2}$ à T, le courant i circule de B vers A. La charge q perd des électrons, q augmente par rapport au temps, $\mathbf{i} = \frac{\mathbf{dq}}{\mathbf{dt}}$ est positif.

II- ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE DE CHARGE ET DÉCHARGE DU CONDENSATEUR

1- Équation différentielle du circuit



Aux bornes du condensateur : $u_C = \frac{q}{C}$

Aux bornes de la bobine : $u_L = L.\frac{di}{dt}$

$u_C = u_{AB}$ et $u_L = u_{BA}$

Or $u_{AB} + u_{BA} = 0$ donc $\boldsymbol{u_L + u_C = 0}$

Or $i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{dq}{dt}) \Rightarrow i = \frac{d^2q}{dt^2} = \ddot{q}$

Soit $L\ddot{q} + \frac{q}{C} = 0 \Rightarrow \boxed{\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0}$ C'est l'équation différentielle de charge et décharge du condensateur.

2- <u>Solution de l'équation différentielle</u>

2-1. V*<u>érification de la solution de l'équation différentielle</u>*

Montrons que $q(t) = Q_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$, q est appelée la charge à l'instant t est une solution de l'équation différentielle:

$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$

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

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

donc $\ddot{q}(t) = -\omega_0^2 . q$ d'où $\boldsymbol{\ddot{q}(t) + \omega_0^2 . q = 0}$

$q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ est solution si et seulement si $\boldsymbol{\omega_0^2 = \frac{1}{LC}}$

2-2. *<u>Caractéristiques de la solution</u>* :

- $\mathbf{Q_m}$ est l'amplitude de charge ou charge maximale, en coulomb (C)
- **φ** est la phase à l'origine des dates, t = 0 en radian (rad)
  Q_m et φ sont des constantes qui dépendent des conditions initiales
- $\boldsymbol{\omega_0 t + \varphi}$ est la phase à l'instant t.
- pulsation propre : $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (rad/s)
- période propre : $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$ (s)
- fréquence propre : $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (Hz)

III- <u>ENERGIE EMMAGASINÉE DANS LE CIRCUIT LC</u>

L'énergie totale emmagasinée dans le circuit LC à chaque instant est donnée par l'expression : $E = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

avec $E_C = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ énergie électrostatique du condensateur ;

$E_m = \frac{1}{2}Li^2$ énergie magnétique de la bobine.

On a : $q = Q_m\cos(\omega_0 t + \varphi)$ et $i = -Q_m\omega_0\sin(\omega_0 t + \varphi)$

$$\Rightarrow \quad E = \frac{1}{2} L Q_m^2\omega_0^2\sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2}\frac{Q_m^2\cos^2(\omega_0 t + \varphi)}{C}$$

Or $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow L\omega_0^2 = \frac{1}{C}$ d'où

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

$\Rightarrow \quad E = \frac{Q_m^2}{2C}$ c'est l'énergie initiale du condensateur chargé **,** elle est **constante.**

En utilisant $I_m = \omega_0 Q_m$, on obtient :

$E = \frac{1}{2} L I_m^2$ énergie maximale emmagasinée dans la bobine.

L'**énergie totale** d'un circuit oscillant **se conserve**. Il y'a **transformation mutuelle** d'énergie électrostatique en énergie électromagnétique.

Remarque : Si la résistance du circuit n'est **pas nulle**, l'énergie **diminue** progressivement à cause des **pertes par effet joule** dans la résistance.

IV- Analogie Oscillateur mécanique-oscillateur électrique.

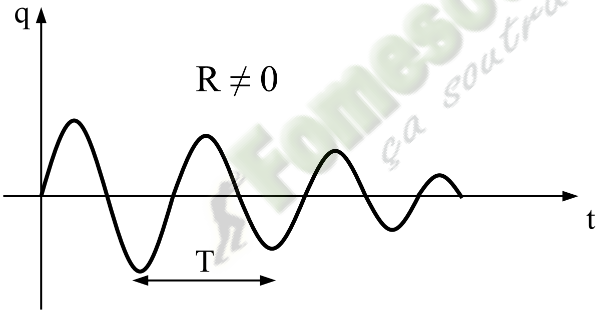
Analogie	Oscillateur électrique	Oscillateur mécanique
Équation différentielle	$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$	$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$
	Charge électrique **q**	Élongation **x**
	Intensité $\mathbf{i = \dot{q}}$	Vitesse $\mathbf{v = \dot{x}}$
	Auto – inductance **L**	Masse **m**
	Inverse de la capacité du condensateur $\frac{1}{C}$	Raideur du ressort **k**
Pulsation propre	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$
Période propre	$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$	$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
	Énergie électrique du condensateur $\mathbf{E_e = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}}$	Énergie potentielle élastique $\mathbf{E_p = \frac{1}{2} k x^2}$

	Énergie magnétique dans la bobine $E_m = \frac{1}{2} Li^2$	Énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} mv^2$
Énergie totale	$E = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$	$E = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} mv^2$

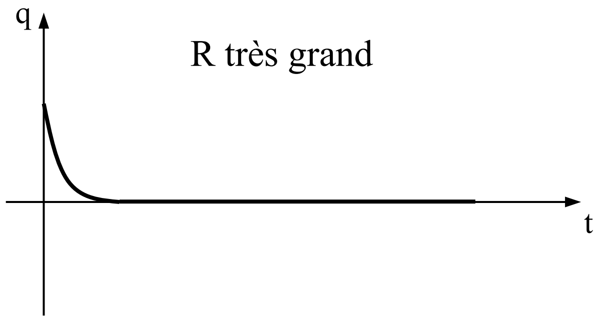
V- <u>ENTRETIEN DES OSCILLATIONS</u>

1- <u>Cas d'un circuit avec bobine résistive</u>

Dans la pratique, la bobine présente une faible résistance : il y a donc perte d'énergie par effet joule. Dans ce cas on observe des oscillations amorties ou à un régime apériodique quand la résistance **R** augmente.



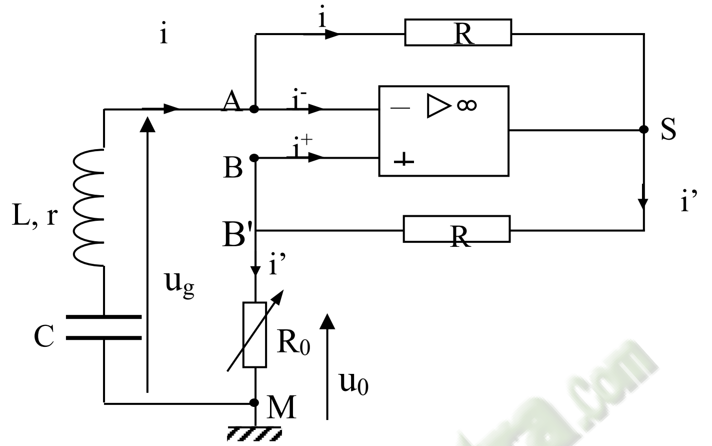
- Oscillations amorties
- Régime pseudo-périodique (pseudo-période T)

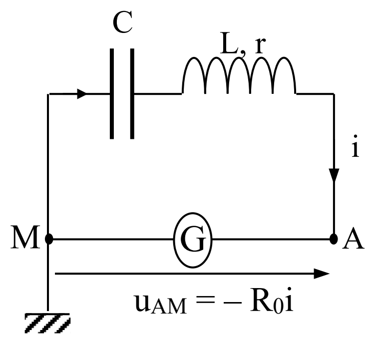


- Pas d'oscillations
- Régime apériodique

2- Entretien des oscillations

Pour entretenir les oscillations il faut placer un **générateur auxiliaire** qui compense l'énergie perdue par effet joule (**ri^2**). L'utilisation d'un amplificateur opérationnel selon le dispositif ci-après permet de réaliser cette opération.





L'équation différentielle s'écrit: $\frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} + ri = R_0 i$

D'où $\frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} + (r - R_0)i = 0$

On obtient un générateur équivalent à un conducteur ohmique à résistance négative (**– R_0**) avec **$R_0 = r$**, r étant la résistance interne de la bobine.

Le système oscillant est entretenu : $\frac{q}{C} + L\frac{di}{dt} = 0$

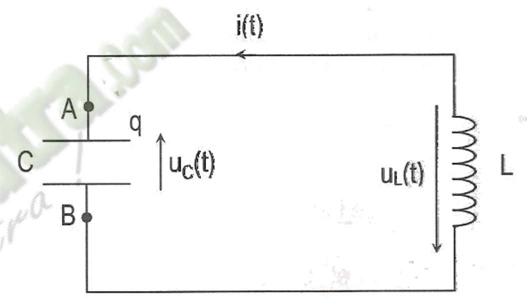
Situation d'évaluation :

Au cours d'une séance de TP, Le professeur de Physique - Chimie propose à votre groupe d'étudier l'évolution des énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine au cours du temps. Cette étude se fait en deux étapes. Il s'agira d'abord d'établir l'équation horaire du circuit puis d'en faire l'étude énergétique

Pour ce faire, il réalise l'expérience dont le montage comprend un condensateur de capacité C = 0,10 µF et une bobine d'inductance, L = 1,0 H et de résistance négligeable.

A la date t = 0, le condensateur, initialement chargé sous une tension U_o= 12 V, est connecté à la bobine.

On note i(t) l'intensité algébrique du courant à l'instant t et q(t) la charge portée par l'armature du condensateur reliée au point A.



1- Établissement de l'équation horaire

1.1. Calcule l'énergie emmagasinée dans le condensateur en fin de charge.

1.2. Établis l'équation différentielle $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{L.C}q = 0$ du circuit, où q est la charge portée par l'armature A.

1.3. Vérifie que la solution de cette équation différentielle est de la forme: $q(t) = Q_m \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi\right)$

1.4. Détermine Q_m et φ.

1.5. Calcule la pulsation propre ω_0 et la période propre T_0 du circuit.

2- Étude énergétique

2.1- Détermine les expressions en fonction du temps de :

2.1.1- L'intensité i(t) du courant électrique;

2.1.2-L'énergie E_c (t) emmagasinée dans le condensateur;

2.1.3- L'énergie E_L (t) emmagasinée dans la bobine.

2.2- Montrer qu'à chaque instant l'énergie totale E est conservée.

TERMINALE CDE
PHYSIQUE CHIMIE

CÔTE D'IVOIRE
ÉCOLE NUMÉRIQUE

Leçon 13(TCE) Leçon 11(TD)

CIRCUIT RLC SERIE EN REGIME SINUSOIDAL FORCE

Situation d'apprentissage

Dans la cour du Collège Blon de Man, deux élèves de la Terminale D_1 échangent sur quelques composés électroniques vus dans les classes antérieures. L'un soutient qu'il est impossible d'étudier en courant sinusoïdal, l'association en série d'un résistor, d'un condensateur et d'une bobine, mais seulement en courant continu. L'autre soutient le contraire.

Afin de s'accorder et de comprendre le comportement du dipôle RLC série en régime sinusoïdal forcé, ils entreprennent avec leurs camarades sous la conduite de leur Professeur de Physique-Chimique 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.

Contenu de la leçon

1.COURANT ALTERNATIF SINUSOÏDAL

1.1-Définition

C'est un courant dont l'intensité est une fonction sinusoïdale du temps.

1.2. Expressions du courant et de la tension alternatifs

Intensité du courant alternatif : $\mathbf{i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i)}$;

Tension alternative sinusoïdale : $\mathbf{u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_u)}$ avec

- I_m amplitude ou valeur maximale de i(t) en ampères (A)
- U_m : amplitude ou valeur maximale de u(t) en volts (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) ;
- $\omega t + \varphi$: phase à l'instant t (rad).

1.3. Valeurs efficaces

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.

$$\mathbf{I = I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}} \qquad\qquad \mathbf{U = U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}}$$

Remarque :

- *Les valeurs efficaces I et U sont mesurées respectivement à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre ou d'un multimètre.*
- *La valeur maximale d'une tension peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.*

Activité d'application1

Soit la tension $u_{AB} = 311\cos(314,2t - \frac{\pi}{2})$ avec u_{AB} en volts et t en secondes.

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.

Résolution :

***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}* *$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$; $U_{eff} = 220V$* *La période T :* *$T = \frac{2\pi}{\omega}$; $T = 0,02$ s*	*La fréquence N* *$N = \frac{1}{T}$; $N = 50$ Hz*

2. ETUDE EXPERIMENTALE D'UN CIRCUIT RLC SERIE

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

2.1.1 Expérience

Schéma

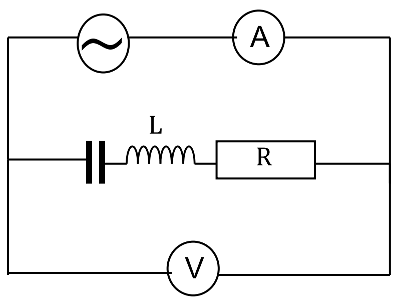
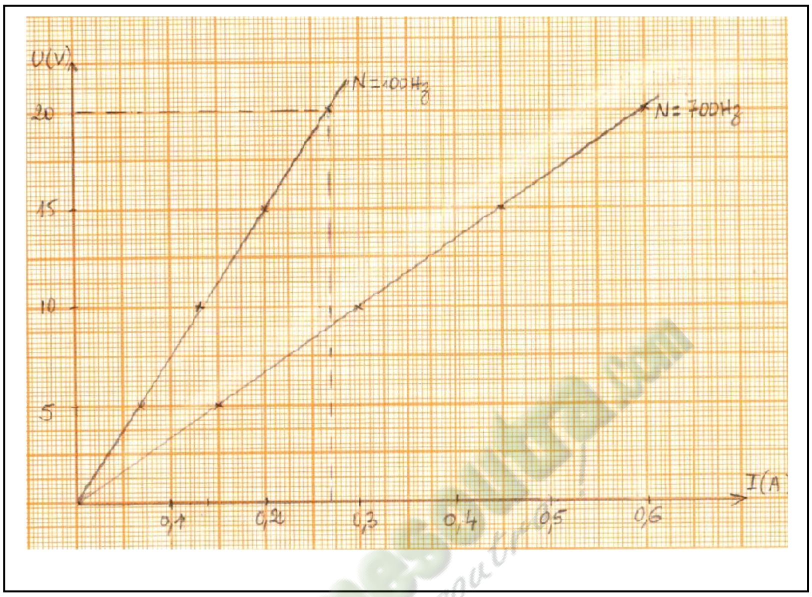


Tableau de mesures

N(Hz)	**U(V)**	**5**	**10**	**15**	**20**
100	I(A)	0,07	0,13	0,20	0,27
700	I(A)	0,15	0,30	0,45	0,60

2.1.2 <u>Exploitation</u>

_Graphes U = f(I)



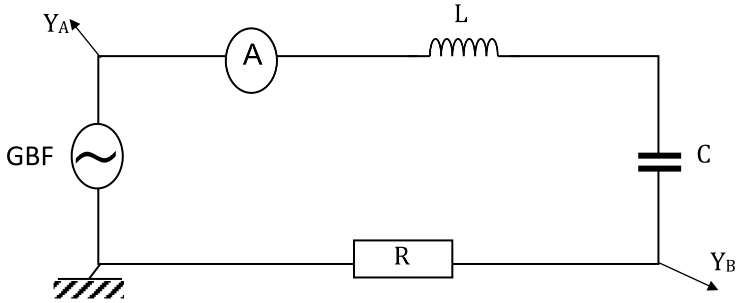
Pour chaque fréquence on obtient une droite qui passe par l'origine des axes. La tension efficace est donc proportionnelle à l'intensité efficace I. Le coefficient de proportionnalité noté Z est appelé l'impédance du circuit RLC.

Donc $\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}}$ (en ohm (Ω))

2.2. Visualisation à l'oscilloscope

2.2.1 Expérience

Schéma du montage

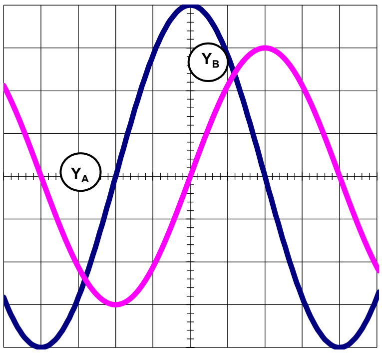


Y_A : tension u aux bornes du GBF ;

Y_B : tension aux bornes du conducteur ohmique R ; U_R = Ri.

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 courant qui le traverse.

Réglages : Y_A : 2V/div   et Y_B : 1 V/div



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 :
  $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ 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, i(t) atteint en premier son maximum : on dit qu'elle est en avance sur u(t) donc $\varphi < 0$

2.2.3. <u>Détermination graphique de φ</u>

La phase φ de u(t) par rapport à i(t) est donnée par la relation : $|\boldsymbol{\varphi_{u/i}}| = \frac{\mathbf{2\,\pi\,\tau}}{\mathbf{T}}$ avec τ : décalage horaire entre u et i.

<u>Exemple</u> : T $\Leftrightarrow$ 8 div et $\tau \Leftrightarrow 2\ div$ d'où $|\varphi_{u/i}| = \frac{\pi}{2}\ rad$ $\quad \varphi_{u/i} = -\frac{\pi}{2}\ rad$

<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 = 15cos(314t + 0,5)

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.

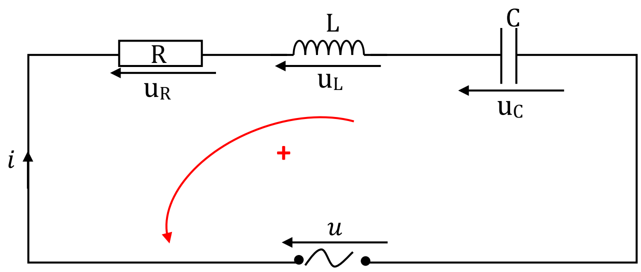
3. Donne la phase de la tension par rapport à l'intensité.

corrigé

1. ω = 314 rad.s^{-1} .2. Z = $\frac{U_m}{I_m}$; Z = 375 Ω .3. φ = - 0.5 rad.

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

3.1 Equation différentielle



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$\frac{di}{dt}$ +$\frac{q}{C}$ donc u (t) = Ri + L$\frac{di}{dt}$ +$\frac{1}{C}\int idt$

En posant i = I_m cosωt ,u = $U_m$cos(ωt +φ)

Soit   **u (t) = RIcosωt + LωIcos (ωt + $\frac{\pi}{2}$) +$\frac{1}{C\omega}$ cos (ωt -$\frac{\pi}{2}$)**

3.2- Construction de Fresnel

3.2.1 Vecteur de Fresnel

À toute grandeur sinusoïdale x (t) = X_m cos(ωt + φ) est associé un vecteur de Fresnel $\vec{x}$ dont les caractéristiques sont les suivantes à la date t = 0 :

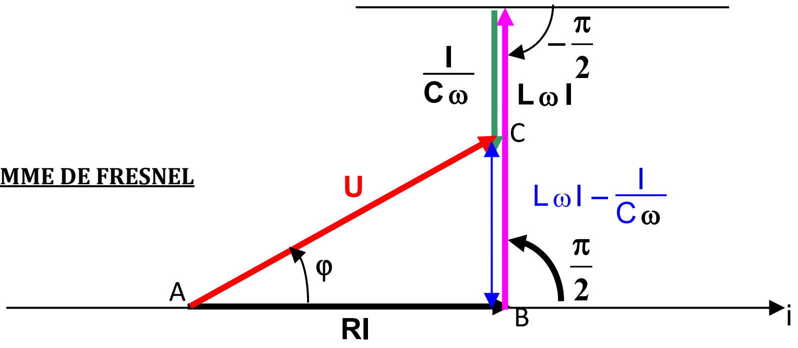
$$\vec{x}\begin{cases} Norme : X_m \\ Phase \text{ à } l'origine : \varphi \\ Direction : inclinée\ de\ \varphi\ par\ rapport\ \text{à}\ l'origine\ des\ phases \end{cases}$$

3.2.2 Construction de Fresnel

u_R = RI cosωt	$\vec{V_1}\begin{cases}\lVert\vec{V_1}\rVert = RI \\ (\vec{i},\vec{V_1}) = 0°\end{cases}$
u_L = LωI cos (ωt + $\frac{\pi}{2}$)	$\vec{V_2}\begin{cases}\lVert\vec{V_2}\rVert = L\omega I \\ (\vec{i},\vec{V_2}) = \frac{\pi}{2}\end{cases}$
U_C =$\frac{I_m}{C\omega}$cos (ωt - $\frac{\pi}{2}$)	$\vec{V_3}\begin{cases}\lVert\vec{V_3}\rVert = \frac{I}{C\omega} \\ (\vec{i},\vec{V_3}) = -\frac{\pi}{2}\end{cases}$
U = U_m cos (ωt +φ)	$\vec{V}\begin{cases}\lVert\vec{V}\rVert = U_m \\ (\vec{i},\vec{V}) = \varphi\end{cases}$

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

DIAGRAMME DE FRESNEL



3.3 Détermination de l'impédance Z et la phase φ

3.3.1 Impédance Z

Le triangle ABC rectangle en B. Et selon le théorème de Pythagore : $AC^2 = AB^2 + BC^2$ soit $U^2 = R^2I^2 + [(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2 I^2] = (R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2)I^2$

$\frac{U^2}{I^2} = R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2$ or $\qquad Z = \frac{U}{I}$ $\qquad$ Donc : $\boxed{Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$

Remarque : *Si la résistance interne de la bobine n'est pas négligeable alors on a :*

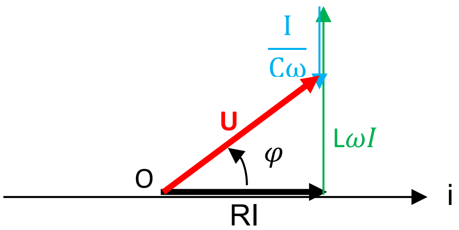
$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

3.3.2 Phase φ

$$\tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{c\omega}}{R} \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z} \qquad \text{et} \quad \sin\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{c\omega}}{Z}$$

3.3.3 Nature du circuit selon le signe de φ

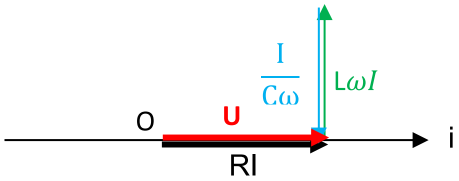
- Si $\varphi > 0$ c'est-à-dire $L\omega > \frac{1}{C\omega}$; u aux bornes de RLC est en avance sur i ; le circuit est inductif et le diagramme de Fresnel est :



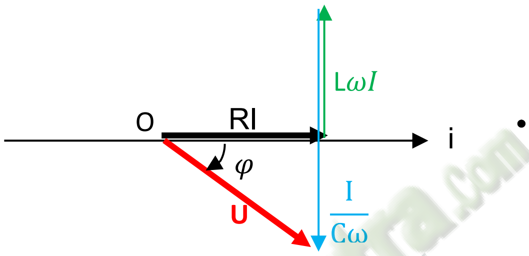
•

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

D'intensité et le circuit est dit résistif. Le diagramme de Fresnel est :



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.

Lors d'un TP, un professeur de Physique-Chimie met à la disposition d'un groupe d'élèves de Terminale D du Lycée Municipal 2 d'ATTECOUBE, un circuit électrique en série constitué d' un générateur basse fréquence (GBF) qui délivre une tension sinusoïdale d'expression $u(t) = 10\sqrt{2}\cos(10^3\pi t)$,d'un conducteur ohmique de résistance R = 1000 Ω, d'un condensateur de capacité C = 2 µF , d'un ampèremètre et d'une bobine d'inductance L = 0.5 H de résistance négligeable.

1 Fais le schéma du montage

2. indique sur le schéma les branchements d'un oscilloscope pour visualiser l'allure des variations de la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique de résistance R sur la voie Y_1 et les variations de la tension u(t) aux bornes du générateur sur la voie Y_2.

3 Donne l'expression de l'impédance Z du circuit en fonction de R, C, L et ω.

4. Calcule :

4.1 la valeur de Z.

4.2 l'intensité efficace I du courant dans le circuit.

5. Détermine :

5.1 la phase $\phi_{u/i}$ de la tension u(t) par rapport à l'intensité i(t)

5.2 la nature du circuit.

6. Le professeur demande aux élèves de retrouver la nature du circuit par la construction de FRESNEL.

6.1 Détermine les tensions efficaces :

6.1.1. U_C aux bornes du condensateur ;

6.1.2. U_L aux bornes de la bobine ;

6.1.3. U_R aux bornes du conducteur ohmique .

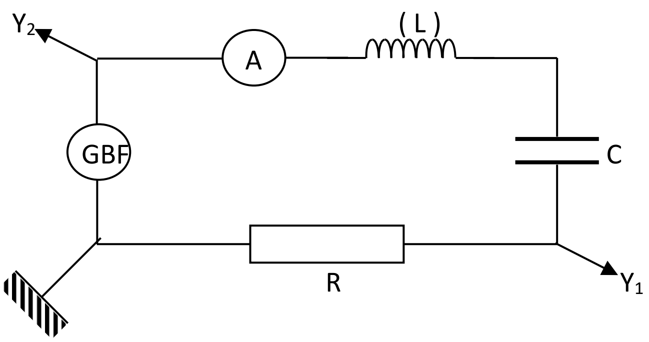
6.2 Réalise le diagramme de Fresnel des tensions efficaces de ce circuit.

Echelle : 1 cm représente 1 V.

6.3 Donne à partir de ce diagramme la nature du circuit.

RESOLUTION

1. Schéma du montage



2. voir schéma

3. Impédance : Expression

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

4.1 Valeur de Z : $Z = 1729\ \Omega$ car :

$L\omega = 1570\ \Omega$, $\frac{1}{C\omega} = 159\ \Omega$ donc $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 1411\ \Omega$

4.2 intensité du courant : $I = \frac{U}{Z}$ $A.N\ I = \frac{10}{1729} = 5{,}8.10^{-3} A = 5{,}8\ mA$

5.1 Phase de u par rapport à i :

$$tan\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = 1{,}411 \Rightarrow \varphi = 0{,}95\ rad$$

5.2 Le circuit est inductif car $\varphi > 0$

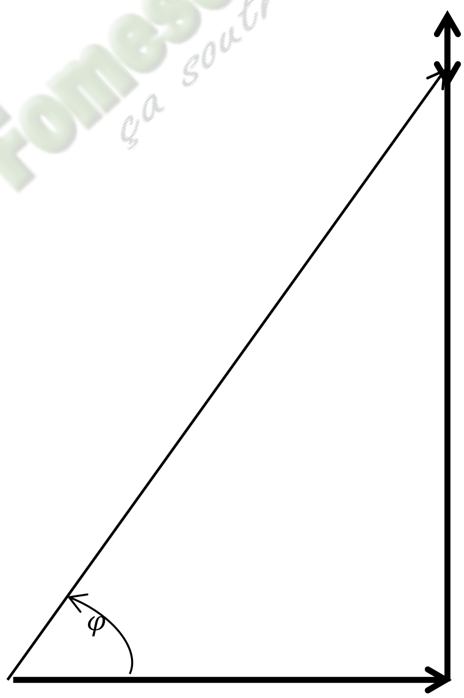
6.1.1 Uc = $\frac{I}{C\omega}$ = 0.9 V ;

6.1.2 U_L = $L\omega I$ = 9V

6.1.2. U_R = RI = 5.8 V

6.2 voir construction/ Echelle : 1 cm pour 1 V

6.3 A partir du diagramme on retrouve $\varphi > 0$ (valeur qu'on peut même mesurer.



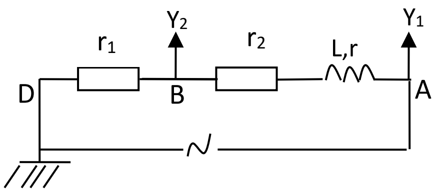
Exercice de consolidation

Sous l'autorité du professeur de Physique-Chimie, un groupe d'élèves de terminale D du lycée 2 de Man se propose de déterminer les caractéristiques d'une bobine et d'un condensateur. Pour cela, ils réalisent deux dipôles et on les alimente successivement par la même tension alternative sinusoïdale $U_{AD} = U_{ADm} \cos \omega t$.

- Le dipôle (1) comprend en série deux résistances r_1=10Ω, r_2=32Ω et une bobine d'inductance L et de résistance r (figure 1).
- Le dipôle (2) comprend en série les deux résistances r_1, r_2, la bobine précédente et un condensateur de capacité C (figure 2).

Ils visualisent sur le même oscilloscope bicourbe les tensions U_{AD} (voie Y_1) et U_{BD} (voie Y_2).Les réglages de l'oscilloscope sont les suivantes :

Base des temps : $2{,}5.10^{-3}$ s/div; Voie Y_1 : 5V/div ; Voie Y_2 : 0,5V/div



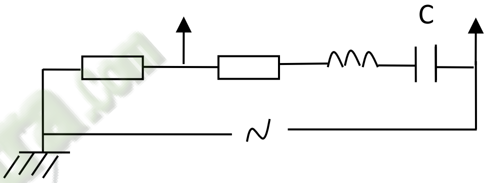


Figure1

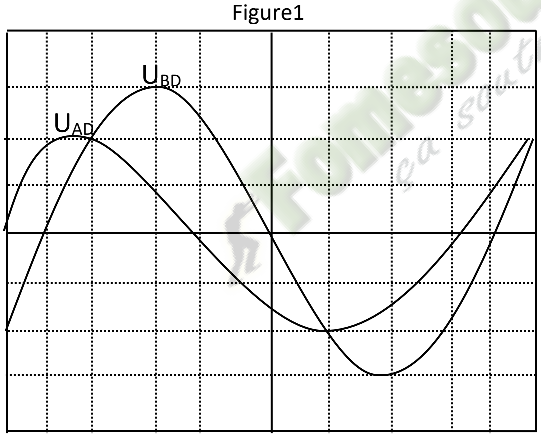
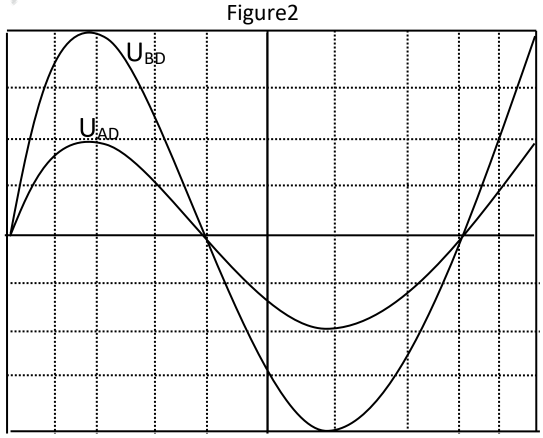


Figure2



Tu es désigné pour répondre aux questions suivantes.

1) A partir de l'oscillogramme de la figure 1, détermine :
   1.1) La période T et la pulsation ω.
   1.2) Les valeurs maximales de la tension U_{AD} et l'intensité i_{AD}.
   1.3) La phase φ de $U_{AD/iAD}$ et l'impédance totale Z_t du circuit.
   1.4) Ecris en fonction du temps les expressions de i_{AD} et de U_{AD}.
   1.5) Donne les expressions littérales de tan φ et de cos φ.
   1.6) Calcule les valeurs de L et de r
2) On considère l'oscillogramme de la figure 2.
   2.1) Trouve la nouvelle valeur de la phase φ' de U par rapport à i.
   2.2) Détermine la capacité C en supposant L = 0,15H.

LEÇON14 (TCE) 12 (TD)
RESONANCE D'INTENSITE D'UN CIRCUIT RLC SERIE

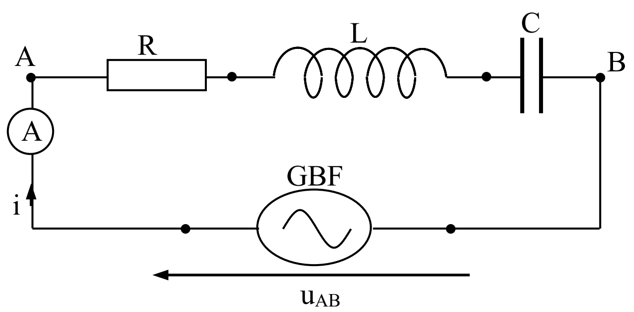
Situation d'apprentissage

Lors d'une visite d'étude à la RTI, les élèves d'une classe de Terminale C du Lycée Sainte Marie de Cocody apprennent d'un technicien que la Radio Fréquence 2 peut-être captée sur la fréquence 92.0 kHz sur la bande FM. De retour en classe, elles veulent vérifier cette information. Elles décident alors sous la conduite de leur professeur, de tracer la courbe de résonance d'intensité, d'expliquer le phénomène de résonance d'intensité et de déterminer la fréquence de résonnance

Contenu de la leçon

1. Tracé de la courbe I=f(N) de résonance d'intensité

1.1. Montage expérimental



Données : L = 0.1 H et C = 5700 nF R = 36 Ω ou R = 200 Ω

1.2 Expériences

La tension efficace U du GBF étant fixée, on fait varier sa fréquence N et on note les valeurs de l'intensité efficace I du courant qui circule dans le circuit RLC. Les résultats des mesures les deux valeurs de R figurent dans les tableaux ci-dessous.

1. 3 Tableau de mesures

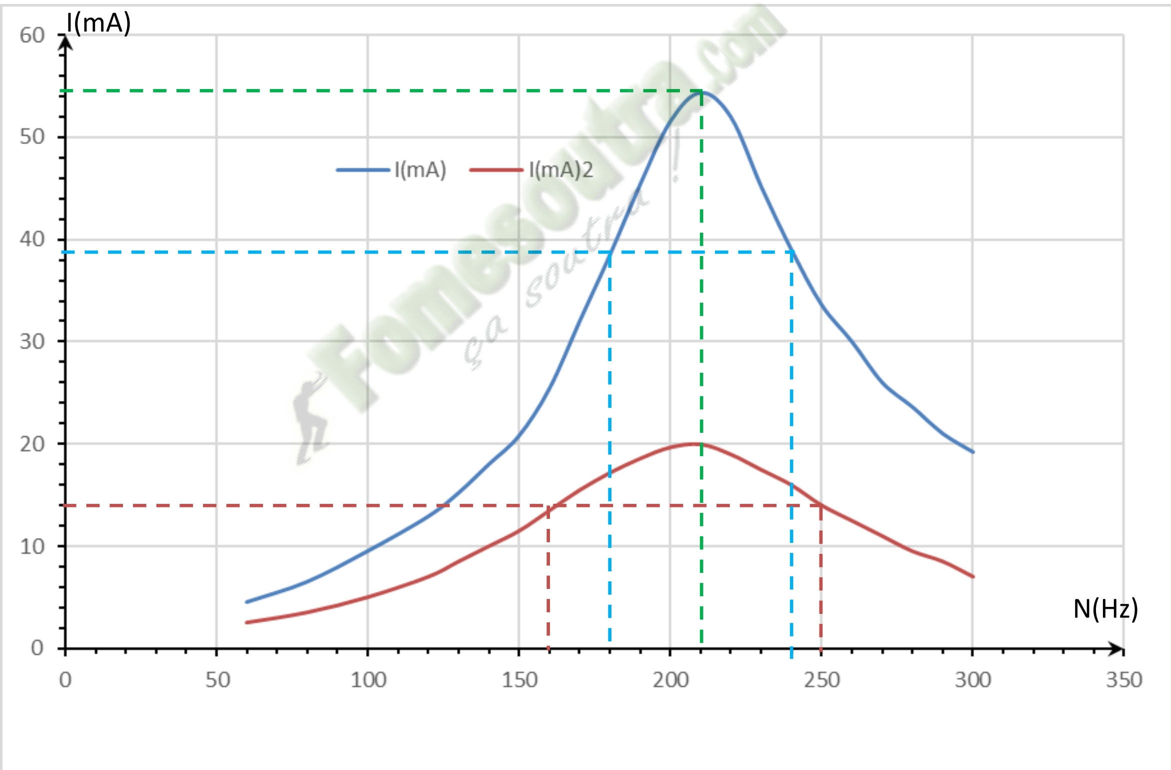
Pour **R = 36Ω**

N(Hz)	60	80	100	120	130	140	150	160	170	180	190
I (mA)	**4,5**	**6,5**	**9,5**	**12,9**	**15,2**	**18**	**20,8**	**25,4**	**32**	**38,5**	**45,4**
N(Hz)	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
I (mA)	**51,6**	**54,4**	**52,0**	**45,2**	**39,6**	**33,6**	**30,0**	**26,0**	**23,6**	**21,0**	**19,2**

Pour R = 200Ω

N(Hz)	60	80	100	120	130	140	150	160	170	180	190
I (mA)	2,5	3,5	5,0	7,0	8,5	10	11,5	13,5	15,5	17,2	18,6
N(Hz)	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
I (mA)	19,7	20,0	19,0	17,5	16,0	14,0	12,5	11,0	9,5	8,5	7,0

1.4 Tracé des courbes I = f(N)



2. Exploitation de la courbe de résonance d’intensité

2.1 Intensité et fréquence de résonance.

2.1.1 Intensité de résonance

• Lorsque la fréquence du GBF est égale à la fréquence propre du circuit, l’intensité efficace I du courant atteint sa valeur maximale notée I_0: c’est la résonance d’intensité.

Pour R =36 Ω

Le maximum d’intensité efficace I_0 est : I_0 =54,4 mA.

Pour R =200 Ω

Le maximum d'intensité efficace I'_0 est : I'_0 =20 mA.

Conclusion

L'intensité efficace I_0 du courant à la résonance diminue lorsque R augmente.

2.1.2 Fréquence de résonance

- La fréquence propre du circuit est donnée par la relation : $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Application numérique : $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,1.5700.10^{-9}}}$ =210,9 Hz

$N_0 = 211\text{Hz}$

- Exploitation des courbes

Pour R=36 Ω **et R = 200 Ω**

La fréquence de résonance N_0 correspond à l'intensité I maximale.

Graphiquement, on obtient pour les deux valeurs des résistances une même fréquence de résonance : N_0 = 211 Hz.

Conclusion :

La fréquence de résonance d'un circuit RLC est indépendante de la résistance R. La fréquence propre du circuit est égale à la fréquence de résonance.

2.2 Bande passante à 3 décibels (3 dB)

Définition :

La bande passante à 3 dB d'un circuit RLC série est l'intervalle des fréquences pour lesquelles $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

La largeur de la bande passante est donnée par la relation : $\Delta N = N_2 - N_1$

Pour R = 36 Ω

Le maximum d'intensité efficace, I_0 pour la fréquence N_0, est : I_0 =54,4mA d'où $\frac{Io}{\sqrt{2}}$ = 38,47 mA

Les fréquences correspondant à $\frac{Io}{\sqrt{2}}$ sont :

N_1= 180 Hz et N_2 = 240 Hz

La bande passante est donc $\Delta N = N_2 - N_1 = 60$ Hz.

Pour R = 200 Ω

$I'_0 = 20$ mA soit $\frac{I'_0}{\sqrt{2}} = 14{,}14$ mA

On lit sur la courbe : $N'_1 = 160$ Hz et $N'_2 = 250$ Hz

D'où : $\Delta N' = N'_2 - N'_1 = 90$ Hz.

Conclusion

- La largeur de la bande passante est aussi donnée par la relation : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$, où

ω_1 et ω_2 correspondent aux fréquences N_1 et N_2. Elle augmente avec la résistance R.

Remarque

- A la résonance d'intensité, $L\omega = \frac{1}{C\omega}$. L'expression de l'impédance du circuit est donc:

Z = R.

- A la résonance d'intensité, le circuit RLC se comporte comme un conducteur ohmique.

$Z = R$ et $\phi = 0$

III- <u>Définitions et expressions des grandeurs caractéristiques.</u>

1- **<u>Fréquence de résonance</u>**

I est maximale $\Longrightarrow L\omega_0 = \frac{1}{C\omega 0}$ d'où $LC\omega_0^2 = 1$ on a alors $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ en Hz

2- **<u>Bande passante à 3 décibels (3 dB)</u>**

Elle est donnée par la relation $\Delta N = \frac{R}{2\pi L}$ (en Hz) ou $\Delta\omega = \frac{R}{L}$ (en rad/s)

3- **<u>Facteur de qualité</u>**

Le facteur de qualité d'un dipôle RLC est défini par :

$$Q = \frac{N_0}{\Delta N} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\omega_0 = 2\pi N_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$ est la pulsation propre du circuit RLC série.

Pour R = 36 Ω

Le facteur de qualité est $Q = \frac{No}{\Delta N} = \frac{211}{60} = 3{,}52$.

Pour R = 200 Ω

Le facteur de qualité est $Q = \frac{N'_0}{\Delta N'} = \frac{211}{90} = 2{,}3$

Conclusion

Le facteur de qualité diminue lorsque la résistance **R** du circuit augmente.

Le facteur de qualité d'un circuit RLC mesure l'acuité de la résonance.

Plus Q est grand, la bande passante est étroite, la résonance est aiguë et le circuit est plus sélectif.

Plus Q est petit, la bande passante est large, la résonance floue et le circuit est peu sélectif.

Le circuit le plus sélectif est celui qui a la résistance la plus petite.

4- <u>Surtension à la résonance</u>

A la résonance, on a : $U_C = \dfrac{I_0}{C\omega_0}$ or $Q = \dfrac{1}{RC\omega_0} = \dfrac{I_0}{RC\omega_0 I_0} = \dfrac{I_0 / C\omega_0}{RI_0}$

$\Rightarrow Q = \dfrac{U_C}{U}$ avec $U = RI_0$ tension efficace à la résonance.

D'où : $U_C = Q \times U$

Q étant très grand alors $U_C \gg U$: il y'a une **surtension** aux bornes du condensateur. Cette surtension, également observée aux bornes de la bobine ($U_L = Q \times U$), peut avoir des conséquences néfastes c'est-à-dire détériorer (claquer) le condensateur.

IV- <u>Applications de la résonance.</u>

- En acoustique, elle est importante pour la fabrication d'instrument de musique car il absorbe plus d'énergie quand la fréquence des oscillations arrive à la fréquence de résonance.
- En électronique, la résonance aiguë permet qu'on n'entende pas plusieurs fréquences à la fois.
- En mécanique, la balançoire ne prend un mouvement d'amplitude notable que si on lui communique des impulsions accordées sur ses propres oscillations.

<u>Situation d'évaluation</u>

En séance de travaux pratiques, Koné et Dro élèves en classe de terminale D réalisent un dipôle en montant en série une résistance R, une inductance pure L, un condensateur C.
Ils l'alimentent sous une tension alternative sinusoïdale, de valeur efficace U de fréquence réglable. Ils font varier la fréquence N de la tension délivrée par le GBF tout en maintenant sa valeur efficace constante. Puis ils relèvent pour chaque valeur de N, la valeur de l'intensité I du courant lue sur un ampèremètre monté dans le circuit. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

f (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

Tu es invité à exploiter les mesures faites par les deux élèves afin d'étudier la résonance.

Données : U = 2,00 V ; R = 14,0 Ω; L = 69,6 mH; C = 10,0 μF.

1.

1.1 Exprime :

1.1.1 l'impédance Z du circuit ;

1.1.2 l'intensité efficace I du courant ;

1.1.3 la phase $\Phi_{u/i}$ de la tension d'alimentation par rapport au courant.

1.2 Calcule Z, I et $\varphi_{u/i}$ si $f = 175$ Hz.

1.3 Donne les expressions de $u(t)$ et de $i(t)$; on prendra i comme référence pour la phase.

2.

2.1 Trace la courbe représentant I en fonction de f, sur papier millimétré avec les échelles suivantes :

1 cm pour 20 Hz et 1 cm pour 10 mA.

2.2 Détermine graphiquement la fréquence f_0 et l'intensité efficace I_0 du courant correspondant à la résonance.

2.3 Calcule ces valeurs et compare à celles déterminées graphiquement.

3.

3.1 Donne l'expression littérale de la tension efficace U_C aux bornes du condensateur pour la fréquence de résonance f_0.

3.2 Montre que cette tension peut se mettre sous la forme $U_C = Q.U$ où Q est indépendant de U.

3.3 Indique un autre nom possible pour Q est coefficient de surtension

3.4 Calcule numériquement Q et U_C.

3.5 Indique l'inconvénient que peut présenter le phénomène de surtension.

4- On appelle bande passante en fréquence l'intervalle de fréquence pour lequel l'intensité efficace I est supérieure ou égale à $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$.

Détermine graphiquement la bande passante $B = f_2 - f_1$, f_2 et f_1 étant les fréquences pour lesquelles $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

Leçon 15 (TCE) 13 (TD)PUISSANCE EN REGIME SINUSOIDAL

Situation d'apprentissage

Des élèves en classe de Terminale C au Lycée Moderne de Danané ont découvert dans un livre que le courant alternatif transporté sous haute tension transite dans les centres de transformation, pour être traité afin d'avoir un rendement intéressant.
En classe, ils partagent ces informations avec leurs camarades et ensemble, sous la conduite de leur Professeur, ils cherchent à 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.

Contenu de la leçon

1 Puissance instantanée

La puissance instantanée reçue par un dipôle RLC est :

$$P = u \times i$$

En posant : $i(t) = I_m\cos(\omega t)$ et $u(t) = U_m\cos(\omega t + \varphi_{u/i})$, on obtient :,

$$P = U_m I_m \cos(\omega t) \times \cos(\omega t + \varphi_{u/i})$$

or $\cos(\omega t) \times \cos(\omega t + \varphi_{u/i}) = \dfrac{1}{2}[\cos(\omega t + \varphi_{u/i} + \omega) + \cos(\omega t + \varphi_{u/i} - \omega t)]$;

d'où : $\boxed{P = UI\,[\cos(2\omega t + \varphi_{u/i}) + \cos\varphi_{u/i}]}$

2 Puissance moyenne

La puissance moyenne consommée par un dipôle RLC est : $P = UI\cos\varphi_{u/i}$

Le produit U × I est la **puissance apparente**, exprimée en **volt-ampère (V.A)**.
Le terme $\cos\varphi_{u/i}$ s'appelle **facteur de puissance** du circuit RLC.

3 La puissance moyenne reçue par un dipôle RLC

La puissance moyenne reçue par un dipôle RLC est **$P = UI\cos\varphi_{u/i}$**
Elle apparaît sous forme thermique dans la résistance $P = UI\cos\varphi_{u/i} = RI^2$ car $\cos\varphi_{u/i} = \frac{R}{Z}$

Un condensateur parfait et une bobine parfaite ne consomment donc pas de puissance.

4 <u>Energie consommée dans le circuit RLC série</u>

L'énergie consommée par un dipôle RLC pendant une durée Δt est :

$$E = P \times \Delta t = UI\,\Delta t \cos \varphi_{u/i}\ .$$

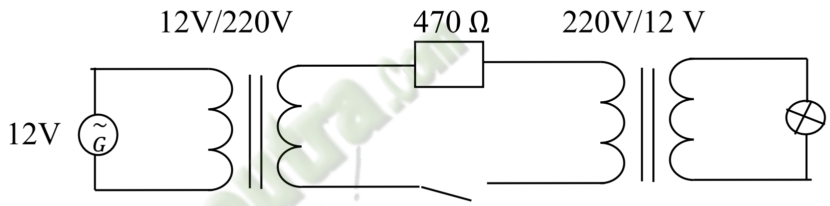
Cette énergie est transformée en chaleur (énergie thermique).

5 Facteur de puissance.

Le facteur de puissance $\cos \varphi_{u/i}$ doit être proche de 1 pour réduire ou minimiser les pertes par effet joule dans les lignes.

6 <u>Transport du courant électrique.</u>

6-1 Expérience.



6-2 <u>Interprétation</u>

Le conducteur ohmique de résistance $R = 470\ \Omega$ représente les résistances des lignes électriques. Pour la même puissance fournie par le générateur, les pertes par effet joule sont plus faibles sous 220 V que sous 12 V. C'est pour cela que le transport du courant s'effectue sous haute tension.

<u>Activité d'application</u>

1. Calcule le facteur de puissance d'une bobine d'inductance $L = 10$ mH et de résistance $R = 10\ \Omega$ soumis à une tension sinusoïdale de fréquence $f = 100$ Hz.
2. Une compagnie d'électricité doit fournir une puissance $P_{AB} = 10$ kW à une installation électrique fonctionnant sous une tension efficace $U = 220$ V.

   2.1.Calcule l'intensité du courant dans les cas suivant :
   - Le facteur de puissance de l'installation est 0,9
   - Le facteur de puissance vaut 0,6.

   2.2.Compare les pertes par effet joule dans les deux cas.

Leçon 18 (TCE) 14(TD) : REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANEES

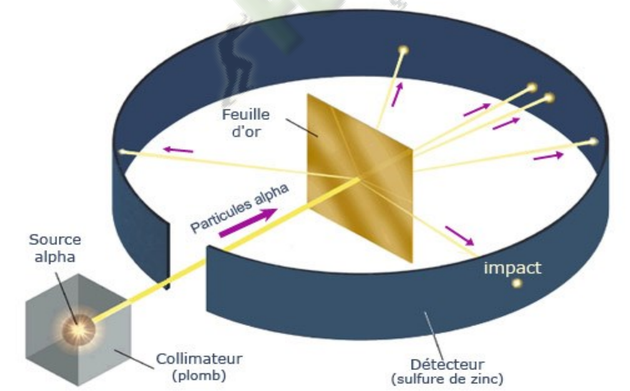
Situation d'apprentissage

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

Contenu de la leçon

1 La structure de la matière

1-1 Expérience de Rutherford



En bombardant une feuille mince d'or par des particules α en 1909, Rutherford constate que :

- la grande majorité des particules α traverse la feuille d'or sans déviation ;

- quelques unes sont déviées par une charge positive contenue dans l'atome.

Il conclut alors que :

- un atome est principalement vide : on dit qu'il a une structure lacunaire ;

- un atome est formé d'un noyau positif autour duquel gravitent très loin des électrons.

1-2 Constitution du noyau d'un atome

Le noyau d'un atome est formé de particules appelées nucléons : les **protons** et les **neutrons**.
Caractéristiques des nucléons :

Nucléon	proton	neutron
Charge (C)	$1,602.10^{-19}$	0
Masse (kg)	$1,6726.10^{-27}$	$1,6749.10^{-27}$

Le nombre de protons dans le noyau est son **numéro atomique** (ou nombre de charge) **Z**. Le nombre total de nucléons dans le noyau est son **nombre de masse A**. Son **nombre de neutron N** est donné par la relation : **N = A – Z**

2- L'élément chimique

C'est l'ensemble des espèces chimiques ayant le même numéro atomique Z.

3- Le nucléide

Un nucléide est un type de noyaux caractérisés par son nombre de masse A et son numéro atomique Z. on le note $^{A}_{Z}\mathbf{X}$

4- Les isotopes

Les isotopes sont des nucléides qui ont le même numéro atomique mais des nombres de masses différents

Exemples : $^{12}_{6}\mathrm{C}, ^{13}_{6}\mathrm{C}$ et $^{14}_{6}\mathrm{C}$ sont isotopes.

5- Unité de masse atomique u.

En physique nucléaire, les masses s'expriment en unité de masse atomique **u**. L'unité de masse atomique **u** représente le douzième ($\frac{1}{12}$) de la masse de l'isotope du carbone 12.

1u = $1,66.10^{-27}$ kg ; 1u = 931 MeV/c^2 .

Ainsi la masse du proton **m_p = 1,007276 u** et la masse du neutron **m_n = 1,008665 u**

6- Emissions radioactives

6-1 Définition

La radioactivité ou désintégration radioactive est la décomposition spontanée de certains noyaux instables naturels ou artificiels. Cette désintégration s'accompagne de l'émission de particules et d'un rayonnement électromagnétiques γ. Le noyau qui subit la désintégration est appelé « noyau père » et donne naissance à un nouveau noyau « le noyau fils ».

6-2 Les émissions radioactives.

Selon le type de radionucléide, on obtient des particules α, β^+ ou β^-. Ainsi le nom de la radioactivité est lié à la nature des particules émises.

Particule	Symbole	Charge	Masse (u)
α : noyau d'hélium	$^{4}_{2}\mathrm{He}$	+ 2e	4
β^+ : positon	$^{0}_{1}e$	+ e	$5,5.10^{-4}$
β^- : électron	$^{0}_{-1}e$	- e	$5,5.10^{-4}$

Le rayonnement électromagnétique $\boldsymbol{\gamma}$ transporte de l'énergie et est caractérisé par une fréquence très élevée de l'ordre de 10^{21} Hz. Il est de la même nature que la lumière ou les ondes radio.

6-3 Lois de conservation

La désintégration radioactive peut être représentée par l'équation-bilan suivante :

$$\mathbf{{}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A1}_{Z1}Y + {}^{A2}_{Z2}R}$$

Elle vérifie les lois de conservation suivantes :

- conservation du nombre de charge $Z_1+Z_2 = Z$
- conservation du nombre de nucléons. $A_1+A_2 = A$.

6-4 Radioactivité α.

C'est la désintégration d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ en un noyau ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ avec émission d'une particule α. Elle s'observe pour les noyaux lourds instables ($A > 200$ et $Z > 82$). L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction : $\mathbf{{}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He}$

Exemple : ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$

6- 5 Radioactivité β⁺

C'est la désintégration d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ en un noyau ${}^{A}_{Z'}Y$ avec émission d'une particule β^+. Elle concerne les noyaux trop riches en protons par rapport à leur isotope stable. L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction entre:

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

Exemple : ${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e$

Remarque : le positron et le neutrino qui n'existe pas dans le noyau proviennent de la désintégration d'un des protons du noyau.

soit $\mathbf{{}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e}$

6-6- Radioactivité β⁻

C'est la désintégration d'un noyau ${}^{A}_{Z}X$ en un noyau ${}^{A}_{Z'}Y$ avec émission d'une particule β^-. Elle concerne les noyaux trop riches en neutrons par rapport à leur isotope stable. L'application des lois de conservation conduit à l'écriture de l'équation-bilan de la réaction :

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

Exemple :${}^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + {}^{0}_{-1}e$

Remarque : l'électron et l'antineutrino qui n'existent pas dans le noyau proviennent de la désintégration d'un neutron du noyau.

Soit $\mathbf{{}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e}$

Remarque :
La plupart des noyaux sont créés dans un état excité Y*, à partir des radioactivités α, β^+, β^- . Mais cet état instable est de courte durée. La désexcitation s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électromagnétique γ suivant l'équation : ${}^{A}_{Z}Y^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathbf{Y} + {}^{0}_{0}\boldsymbol{\gamma}$

Activité d'application

Complète les équations suivantes

- ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{\cdots}_{\cdots}N + {}^{0}_{-1}e$
- ${}^{12}_{7}N \rightarrow {}^{\cdots}_{\cdots}C + {}^{0}_{1}e$
- ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{\cdots}_{\cdots}Pb + {}^{4}_{2}He$

7 La décroissance radioactive

7-1 Loi de décroissance radioactive

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire. A l'instant t, un échantillon de substance radioactive contient N_o noyaux. A l'instant t + dt, elle en contiendra N inférieur à N_o.
La variation de noyaux entre t et t+dt est proportionnelle à la durée de désintégration et au nombre de noyaux N présents dans l'échantillon à la date t : **$dN = -\lambda N dt$**.
λ est la constante radioactive. Elle caractérise le nucléide et s'exprime en **s^{-1}**.

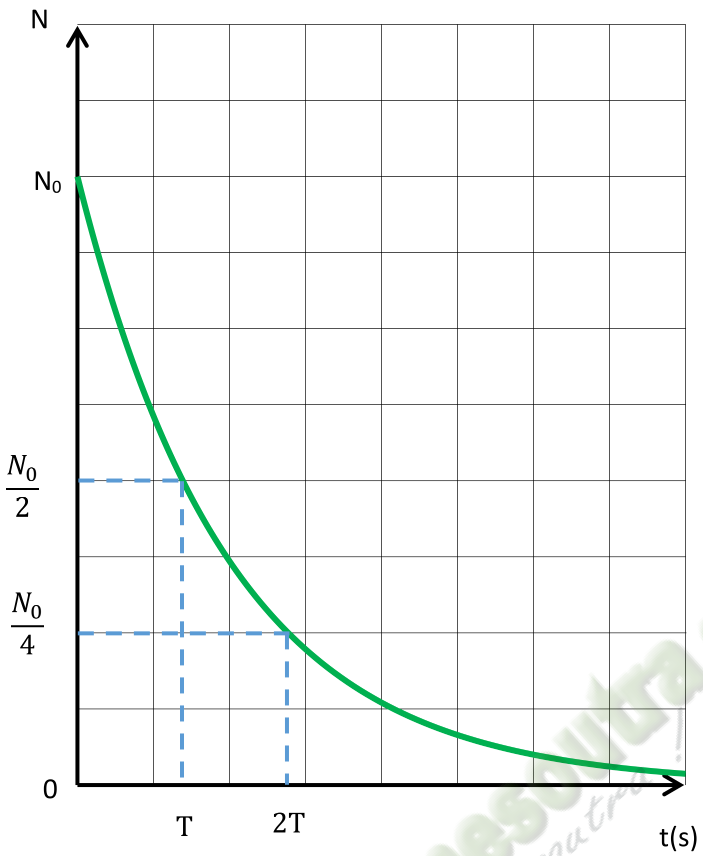
$\int \frac{\mathbf{dN}}{\mathbf{N}} = -\int \boldsymbol{\lambda}\mathbf{dt} \rightarrow$ **$\ln N = -\lambda t$** d'où le résultat : **$N = N_o e^{-\lambda t}$**

7- 2 Période ou demi-vie d'un nucléide.

On appelle demi-vie **T** d'un nucléide le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs initialement présents a été désintégrée. C'est une caractéristique du nucléide. Elle ne dépend pas du nombre de noyaux que contient l'échantillon et vaut :
En une période T : $N = \frac{N_o}{2} = N_o.e^{-\lambda T} \rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \rightarrow$ **$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$** $\leftrightarrow$ **$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$**
Exemple :

Noyaux	${}^{235}_{92}U$	${}^{14}_{6}C$	${}^{30}_{16}S$
T	$4,5.10^9$ ans	$5,7.10^3$ ans	3 min

7-3 Courbe de décroissance radioactive



7- 4. Activité d'une substance radioactive

L'activité d'une substance radioactive est le nombre de désintégrations par unité de temps. Elle s'exprime en **becquerel** (**Bq**) et se note **A** telle que : $\mathbf{A = \lambda N} \Longrightarrow \mathbf{A = A_o\, e^{-\lambda t}}$

Situation d'évaluation

Dans une revue de physique nucléaire et atomique, Doué découvre l'extrait de tableau ci-dessous donnant l'évolution dans le temps du nombre de noyaux dans un échantillon de polonium 210 contenant à t = 0 s, N noyaux

T(jours)	0	40	80	100	120	150
N/N_o	1	0,82	0,67	0,61	0,55	0,47

Par ailleurs il a lu que le nucléide ${}^{107}_{84}\mathrm{Po}$ est radioactif ; il est un émetteur α.

À partir des informations découvertes par Doué, tu es sollicité pour déterminer certaines caractéristiques du radionucléide ${}^{107}_{84}\mathrm{Po}$. On donne l'extrait de la classification :

${}_{82}\mathrm{Pb}$	${}^{107}_{83}\mathrm{Bi}$	${}^{107}_{84}\mathrm{Po}$	${}_{85}\mathrm{At}$	${}_{86}\mathrm{Rn}$

1. Écris l’équation de la désintégration d’un noyau de polonium 210.
2. Calcule en eV l’énergie libérée par la désintégration d’un noyau de polonium.
   On donne $m(\alpha) = 4{,}00150$ u ; $m({}^{107}_{84}\mathrm{Po}) = 209{,}9368$ u ; m(noyau fils) = 205,9295 u.
3. Définis la période radioactive T d’un radionucléide.
4. Donne à partir du premier tableau un encadrement de la période du polonium 210.
5. Trace la courbe $-\ln(N/N_0) = f(t)$ avec t en jours.
6. Déduis la valeur de la période T du polonium.
7. Établis l’expression de la constante radioactive λ puis calcule sa valeur.

Chimie

LES ALCOOLS

1. SITUATION D’APPRENTISSAGE

Les élèves de la Tle D d’un lycée moderne effectuent une sortie dans une Brasserie. Ils découvrent des méthodes industrielles de préparation de boissons alcoolisées. Très impressionnés, ils décident, de retour en classe, de connaître la formule générale des alcools, d’indiquer quelques méthodes de préparation d’un alcool et d’écrire les équation-bilans de quelques réactions chimiques.

2. CONTENUS

- **Un alcool** est un composé organique qui possède un **groupe hydroxyle –OH** fixé sur un atome de carbone tétraédrique appelé carbone fonctionnel.
- La **formule générale** des alcools est : R–OH avec R groupement alkyle
- **Nomenclature**

On nomme un alcool en remplaçant le « **e** » final du nom de l’alcane correspondant par le suffixe « **ol** », précédé de l’indice de position du groupe hydroxyle. Le carbone fonctionnel étant affecté du plus petit indice possible.

Exemple : CH_3-CH_2-OH éthanol ; $\begin{array}{c} \quad OH \\ \quad | \\ CH_3 - CH - CH_3 \end{array}$ propan-2-ol ; $\begin{array}{c} OH \\ | \\ CH_3 - \mathbf{C} - CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$

2-méthylpropan-2-ol

- **Les 3 classes d’alcool**

Les alcools, regroupés en trois classes, se distinguent par le nombre de groupements alkyles que porte le carbone fonctionnel.

$R\text{–}CH_2\text{–}OH$

alcool primaire

$\begin{array}{c} R_2 \\ | \\ R_1 - C - OH \\ | \\ H \end{array}$

alcool secondaire

$\begin{array}{c} R_2 \\ | \\ R_1 - C - OH \\ | \\ R_3 \end{array}$

alcool tertiaire

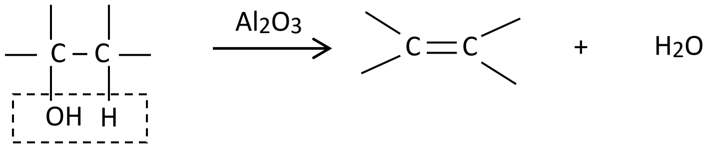
- **Méthodes de préparation des alcools**
  Par fermentation des jus sucrés ;
  Par hydratation des alcènes.
- **Propriétés chimiques des alcools**
  - Préparation des alcoolates

L’alcool réagit avec le sodium pour donner l’ion alcoolate.

$$R\text{–}OH + Na \longrightarrow RO^- + Na^+ + \frac{1}{2}H_2$$

- Déshydratation d'un alcool

La déshydratation intramoléculaire conduit à un alcène.



La déshydratation intermoléculaire conduit à un étheroxyde

$$R–OH + R'–OH \longrightarrow R\text{-}O\text{-}R' + H_2O$$

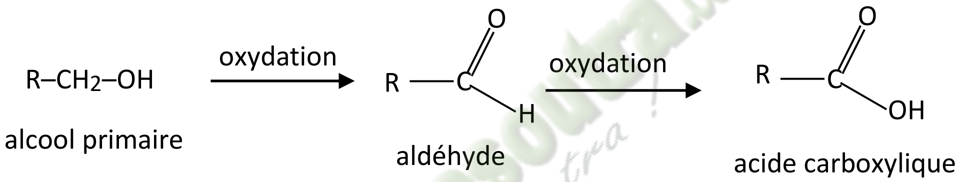
- Combustion des alcools

$$C_nH_{2n+1}OH + \frac{3n}{2} O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1) H_2O$$

- **Oxydation ménagée des alcools**

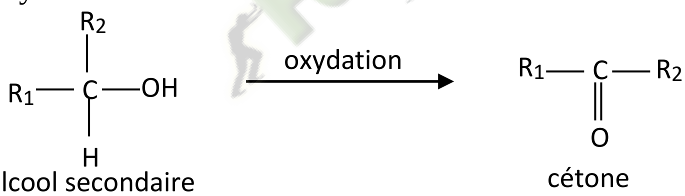
- Cas des alcools primaires

Ils sont oxydables en aldéhydes, eux-mêmes oxydables en acides carboxyliques.



- Cas des alcools secondaires

Ils sont oxydables en cétone.



- Cas des alcools tertiaires

Non oxydables à froid.

- **Equation –bilan de la réaction de l'oxydation de l'éthanol par une solution de dichromate de potassium en défaut**

L'oxydation de l'éthanol en milieu acide donne l'éthanal. C'est une réaction d'oxydoréduction en milieu acide. Equation bilan de la réaction :

$$3 \times (CH_3 - CH_2 - OH \rightleftarrows CH_3CHO + 2H^+ + 2e^-)$$
$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O$$
$$\overline{3CH_3 - CH_2 - OH + Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ \rightarrow 3CH_3CHO + 2Cr^{3+} + 7H_2O}$$

ou

$$\mathbf{3CH_3 - CH_2 - OH + Cr_2O_7^{2-} + 8H_3O^+ \rightarrow 3CH_3CHO + Cr^{3+} + 15H_2O}$$

- **Equation –bilan de la réaction de l'oxydation du propan-2-ol par une solution de dichromate de potassium en défaut**

L'oxydation du propan-2-ol en milieu acide donne la propanone.

$$3 \times (CH_3 - CHOH - CH_3 \ \rightleftarrows\ CH_3 - CO - CH_3 \ +\ 2H^+ + 2e^-)$$
$$Cr_2O_7^{2-} \ +\ 14H^+ +\ 6e^- \ \rightleftarrows\ 2Cr^{3+} + 7H_2O$$
$$3CH_3 - CHOH - CH_3 + Cr_2O_7^{2-} \ +\ 8H^+ \rightarrow\ 3CH_3 - CO - CH_3 + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

ou

$$\mathbf{3CH_3 - CHOH - CH_3 + Cr_2O_7^{2-} \ +\ 8H_3O^+ \rightarrow\ 3CH_3 - CO - CH_3 + Cr^{3+} + 15H_2O}$$

- **Les polyols**

le glycol
$$\begin{array}{cc} OH & OH \\ | & | \\ H_2C- & CH_2 \end{array}$$

le glycérol
$$\begin{array}{ccc} OH & OH & OH \\ | & | & | \\ CH_2 - & CH - & CH_2 \end{array}$$

3. <u>SITUATION D'EVALUATION</u>

Au cours d'un TP de Chimie, un groupe d'élèves de la Terminale D_2 du Lycée moderne Abengourou dispose d'un flacon contenant un alcool A de masse molaire $M = 74\ g/mol$.

Il veut déterminer la formule semi-développée et le nom de cet alcool.

Pour cela, il réalise l'oxydation ménagée de A par une solution acidifiée de permanganate de potassium et obtient un composé B qui fait virer le bleu de bromothymol au jaune. Le composé B a une chaîne carbonée ramifiée. On donne : MnO_4^-/Mn^{2+}

Il te sollicite :

1. Donne :
   1.1. la fonction chimique de B
   1.2. la classe de l'alcool A.
   1.3. la formule brute générale d'un alcool.
   1.4. le groupe fonctionnel d'un alcool.
2. Vérifie que la formule brute de A est $C_4H_{10}O$.
3. Ecris:
   3.1. les formules semi-développées et les noms possibles des isomères de A.
   3.2. la formule semi-développée du composé B.
4. En déduis :
   4.1. la formule semi-développée de l'alcool A.
   4.2. le nom de l'alcool A
   4.3. l'équation-bilan de l'oxydation ménagée de l'alcool par l'ion permanganate.

<u>Solution</u>

1.
   1.1 B est un acide carboxylique
   1.2 A est un alcool primaire
   1.3 $C_nH_{2n+2}O$
   1.4 $\begin{array}{c} OH \\ | \\ -\mathbf{C}- \\ | \end{array}$

2. 14n + 18 = 74 $\Longrightarrow$ n = 4 soit la formule brute est $C_4H_{10}O$

3.
   3.1 $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH$ butan-1-ol

$$\begin{array}{c} \phantom{CH_3 - {}}OH \\ \phantom{CH_3 - {}}| \\ CH_3 - CH - CH_2 - CH_3 \end{array}$$ butan-2-ol

$$\begin{array}{l} CH_3 - CH - CH_2 - OH \\ \phantom{CH_3 - {}}| \\ \phantom{CH_3 - {}}CH_3 \end{array}$$ 2-méthylpropan-1-ol

$$\begin{array}{c} OH \\ | \\ CH_3 - C - CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$ 2-méthylpropan-2-ol

3.2 Le composé B $CH_3 - CH(CH_3) - COOH$ acide 2-méthylpropanoïque

4.

4.1 Formule semi – développée de A

$$\begin{array}{l} CH_3 - CH - CH_2 - OH \\ \phantom{CH_3 - {}}| \\ \phantom{CH_3 - {}}CH_3 \end{array}$$

4.2 Le nom de A : 2-méthylpropan-1-ol

4.3 L'équation-bilan de la réaction

$$5\ CH_3–CH(CH_3)–CH_2–OH + 4MnO_4^- + 12\ H_3O^+ \longrightarrow 5\ CH_3–CH(CH_3)–COOH + 4Mn^{2+} + 23H_2O$$

4. EXERCICES

Exercice 1

On donne un alcool A de formule brute C_3H_8O.
Ecris les formules semi-développées, les noms et la classe de chacun des isomères de A.

Exercice 2

A/ Nomme le ou les produit(s) issu(s) des réactions chimiques ci-dessous :
1) L'hydratation du but-2-ène en milieu sulfurique.
2) La déshydratation intramoléculaire de l'éthanol en présence de l'alumine.
3) La déshydratation intermoléculaire de l'éthanol.
4) L'action du sodium solide sur l'éthanol.

B/ Ecris le nom et la formule semi-développée du composé organique obtenu des réactions chimiques ci-après :
1) L'oxydation ménagée du propan-1-ol par le permanganate de potassium acidifié en défaut.
2) L'oxydation ménagée du propan-2-ol par le dichromate de potassium acidifié en excès

Solution

Exercice 1

$CH_3–CH_2–CH_2–OH$ propan-1-ol alcool primaire

$$\begin{array}{c} OH \\ | \\ CH_3 - CH - CH_3 \end{array}$$ propan-2-ol alcool secondaire

Exercice 2

A.

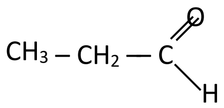
1. Butan-2-ol

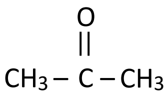
2. Ethylene

3. Oxyde de diethyl

4. Éthanolate de sodium et le dihydrogène

B.

1.  propanal

2.  propanone

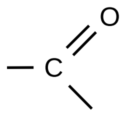
COMPOSES CARBONYLES : ALDEHYDES ET CETONES

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Les élèves de la Terminale C du lycée Départemental Abengourou découvrent dans un livre que « les aldéhydes et les cétones ont des propriétés communes mais on peut les distinguer ». Ils veulent comprendre ; alors ils décident de connaître les formules générales des aldéhydes et des cétones, la propriété qui les différentie et le test qui leur est commun.

2. CONTENUS

- **DEFINITION D'UN COMPOSE CARBONYLE**
  - ✓ Un composé carbonylé est un composé organique oxygéné comportant le **groupe carbonyle** :



  - ✓ Leur **formule brute générale** est **$C_nH_{2n}O$,** où n est le nombre d'atomes de carbone.
  - ✓ **Formules générales**

	Aldéhyde	**Cétone**
Formule générale	**R-CHO**	$\mathbf{R_1 - \overset{\overset{O}{\Vert}}{C} - R_2}$

- **NOMENCLATURE DES ALDEHYDES ET DES CETONES**

Fonction chimique	**Aldéhyde**	**Cétone**
Règle de nomenclature	On nomme un aldéhyde en remplaçant le « **e** » final du nom de l'alcane correspondant par le suffixe « **al** ».	On nomme une cétone en remplaçant le « **e** » final du nom de l'alcane correspondant par le suffixe « **one** » précédé de l'indice de position du carbone fonctionnel.
Exemples	$CH_3 - CHO$ Ethanal	$CH_3 - \overset{\overset{O}{\Vert}}{C} - CH_3$ Propan-2-one ou propanone
	$CH_3 - CH_2 - CHO$ Propanal	$CH_3 - \overset{\overset{O}{\Vert}}{C} - CH_2 - CH_3$ Butan-2-one ou butanone

- **CARACTERISATION DES ALDEHYDES ET DES CETONES**
  - **Propriété commune (Test commun)**

    En présence d'un composé carbonylé (aldéhyde et cétone), la 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH) donne un **précipité jaune-orangé**.

- **Propriétés différenciant les aldéhydes des cétones**
    - **Réaction avec le réactif de Schiff**
      En présence d'un aldéhyde, le réactif de Schiff (incolore) vire au rose.
    - **Réduction du nitrate d'argent ammoniacal (ou réactif de Tollens)**
      Les aldéhydes réduisent le réactif de Tollens.
      Au cours de la réaction, en milieu basique, l'aldéhyde est oxydé en ion carboxylate et l'ion diammine argent I (présent dans le réactif de Tollens) est réduit en argent métallique.

$$R-CHO + 3OH^- \longrightarrow R-COO^- + 2H_2O +$$
$$[Ag(NH_3)_2]^+ + e^- \longrightarrow Ag + 2NH_3$$
$$R-CHO + [Ag(NH_3)_2]^+ + 3OH^- \longrightarrow 2Ag + R-COO^- + 4NH_3 + 2H_2O$$

- **Réduction de la liqueur de Fehling**
  Les aldéhydes réduisent la liqueur de Fehling.
  Au cours de la réaction, les ions cuivre II (présent dans la liqueur de Fehling) sont réduits en oxyde de cuivre I et l'aldéhyde est oxydé en ion carboxylate.

$$R-CHO + 3OH^- \longrightarrow R-COO^- + 2H_2O + 2e^-$$
$$2Cu^{2+} + 2OH^- + 2e^- \longrightarrow Cu_2O + H_2O$$
$$R-CHO + 2Cu^{2+} + 5OH^- \longrightarrow Cu_2O + R-COO^- + 3H_2O$$

- **Conclusion**
  Les aldéhydes sont des réducteurs, ce qui n'est pas le cas des cétones.

3. SITUATION D'EVALUATION

Enoncé

Au cours d'une séance de TD de chimie en classe de Tle C, le Professeur met à la disposition des élèves les résultats des expériences réalisées sur un composé oxygéné A de formule brute $C_xH_yO_z$:
Expérience 1 : Une analyse élémentaire montre que sa formule brute est M = 72 g/mol, qu'il contient en masse 66,7 % de carbone et que sa molécule contient un seul atome d'oxygène ;
Expérience 2 : Ce composé donne un précipité jaune orangé en présence de la 2,4-D.N.P.H ;
Expérience 3 : Ce composé donne un test positif avec la liqueur de Fehling en milieu basique ;
Expérience 4 : Une analyse plus poussée montre que sa chaine carbonée est linéaire.
Données : On donne le couple Cu^{2+}/Cu_2O ; M(C) = 12 g/mol ; M(H) = 1 g/mol ; M(O) = 16 g/mol.
Le Professeur leur demande d'écrire l'équation-bilan de la réaction chimique entre A et la liqueur de Fehling.
Présente ta production.

1- Expérience 2
   1.1. Définis un composé carbonylé.
   1.2. Donne les fonctions chimiques possibles de A.
2- Expérience 1
   2.1. Vérifie que la formule brute de A est C_4H_8O.
   2.2. Ecris la formule semi-développée et le nom des isomères possibles de A.
3- Expérience 3 et expérience 4
   3.1- Précise ce qu'on observe dans le tube à essai après la réaction de l'expérience 3.
   3.2- Donne la fonction chimique de A.
   3.3- Ecris la formule semi-développée de A.
   3.4- Etablis l'équation-bilan de la réaction entre A et la liqueur de Fehling.
4- Déduis la formule semi-développée, le nom et la fonction chimique du composé organique oxygéné :
   4.1- Dont l'oxydation ménagée donne A.

4.2- Obtenu lorsqu'on réalise l'oxydation ménagée de A.

Solution

1. EXPERIENCE 2
   1.1. Un composé carbonylé est un composé organique oxygéné comportant le groupe carbonyle .
   1.2. Un aldéhyde ou une cétone

2. EXPERIENCE 1
   2.1. Un atome d'oxygène : z = 1 ; X = $\frac{M.\%C}{1200} = \frac{72*66.7}{1200} = 4$;
   $y = M - (12.x - 16.z) = 72 - (12 \times 4 + 16 \times 1) = 8$
   D'où la formule brute est C_4H_8O
   2.2. CH_3-CH_2-CH_2-CHO : butanal ; $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CHO$ 2-méthylpropanal

$$CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}} - CH_2 - CH_3$$ butan-2-one

3. EXPERIENCES 3 et 4
   3.1. On observe un précipité rouge brique d'oxyde de cuivre I (Cu_2O)
   3.2. A est un aldéhyde
   3.3. Sa formule semi-développée est CH_3-CH_2-CH_2-CHO
   3.4. Demi-équations électroniques :

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CHO + 3.OH^- \rightleftarrows CH_3 - CH_2 - CH_2 - CO_2^- + 2.H_2O + 2.e^-$$

$$2.Cu^{2+} + 2.OH^- + 2.e^- \rightleftarrows Cu_2O + H_2O$$

Equation-bilan :

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CHO + 2.Cu^{2+} + 5.OH^- \longrightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2 - CO_2^- + Cu_2O + 3.H_2O$$

4. COMPOSE OBTENU
   4.1. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - OH; butan-1-ol; alcool$
   4.2. $CH_3 - CH_2 - CH_2 - COOH; acide\ butanoïque; acide\ carboxylique$

4. EXERCICES

<u>Exercice</u> 1

Soient les composés ci-dessous :

a) butanal ; b) CH_3-CH_2-CH_2-OH ; c) CH_3-CH_2-CHO ; d) CH_3-CH_2-COOH ; e) butanone ;

f) $CH_3 - \overset{\displaystyle O}{\overset{||}{C}} - CH_3$

Classe, si possible, chaque composé dans le tableau ci-dessous en écrivant sa lettre dans la case qui convient :

Composé carbonylé	Aldéhyde	Cétone

<u>Exercice</u> 2

Associe chaque composé organique à son (ou ses) réactif (s) en cochant la case correspondant à la bonne réponse :

	B.B.T	2,4- D.N.P.H.	Liqueur de Fehling	Réactif de Tollens	Réactif de Schiff
Aldéhyde					
Cétone					

<u>Exercice</u> 3

Réponds par vrai ou faux aux affirmations ci-dessous :

1) En présence d'un aldéhyde ou d'une cétone, la 2,4- D.N.P.H donne un précipité jaune-orangé	
2) Un aldéhyde réduit l'ion permanganate en solution aqueuse acide	
3) Une cétone réduit l'ion dichromate en solution aqueuse acide	
4) Un aldéhyde réduit l'ion cuivre II de la liqueur de Fehling en solution aqueuse basique	
5) Une cétone réduit l'ion diammine argent du réactif de Tollens en solution aqueuse basique	
6) En présence d'une cétone, le réactif de Schiff vire au rose	

Solutions des exercices

<u>Exercice</u> 1

Composé carbonylé	Aldéhyde	Cétone
a, c, e et f	a et c	e et f

<u>Exercice</u> 2

	B.B.T	2,4- D.N.P.H.	Liqueur de Fehling	Réactif de Tollens	Réactif de Schiff
Aldéhyde		X	X	X	X
Cétone		X			

<u>Exercice</u> 3

1) En présence d'un aldéhyde ou d'une cétone, la 2,4- D.N.P.H donne un précipité jaune-orangé.	VRAI
2) Un aldéhyde réduit l'ion permanganate en solution aqueuse acide.	VRAI
3) Une cétone réduit l'ion dichromate en solution aqueuse acide.	FAUX
4) Un aldéhyde réduit l'ion cuivre II de la liqueur de Fehling en solution aqueuse basique.	VRAI
5) Une cétone réduit l'ion diammine argent du réactif de Tollens en solution aqueuse basique.	FAUX
6) En présence d'une cétone, le réactif de Schiff vire au rose.	FAUX

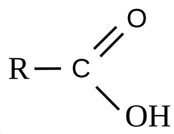
ACIDES CARBOXYLIQUES ET DERIVES

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

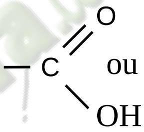
Un élève en classe de Terminale C au Lycée Municipal de Williamsville a appris que le vinaigre contient un acide carboxylique et que les acides carboxyliques sont des intermédiaires importants pour la synthèse de beaucoup de produits.
En classe, il partage cette information avec ses camarades et ensemble, ils décident de nommer les acides carboxyliques et leurs dérivés et d'écrire les équations de passage des acides carboxyliques à leurs dérivés.

2. CONTENUS

- LES ACIDES CARBOXYLIQUES
  - Définitions

Ce sont des composés organiques oxygénés de **formule générale** 

où R est un atome d'hydrogène H ou un groupe alkyle ou aryle.

Le **groupement fonctionnel** des acides carboxyliques  ou – COOH ou – CO_2H.

Il est appelé **groupement carboxyle**.

La **formule générale brute** des monoacides carboxyliques est : $C_nH_{2n}O_2$.

- **Nomenclature**

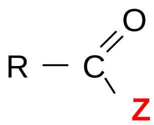
Le nom d'un acide carboxylique s'obtient en faisant suivre le mot « *acide* » du nom de l'hydrocarbure correspondant à la chaîne principale où le « *e* » final est remplacé par la terminaison « *oïque* ».

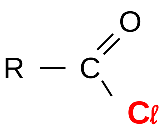
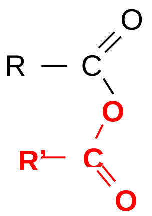
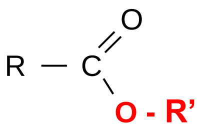
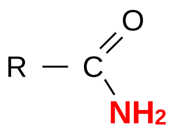
- **Propriétés chimiques**

Les acides carboxyliques sont des acides faibles.

$$R\text{-}COOH + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + R\text{-}COO^-$$

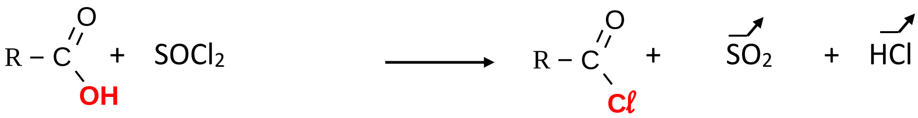
- **LES DERIVES DES ACIDES CARBOXYLIQUES**

- **Fonctions dérivées des acides carboxyliques** 

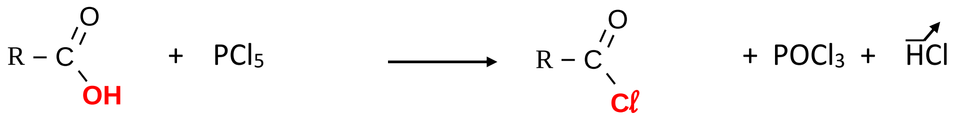
Nature de (-Z)	- Cl	- OOC-R'	- O - R'	- NH_2
Formule générale structurale				
Fonction	**chlorure d'acyle**	**anhydride d'acide**	**ester**	**amide**

- **Passage d'un acide carboxylique à son dérivé**

- **Les chlorures d'acyle**
  - Avec le chlorure de thionyle $SOCl_2$:



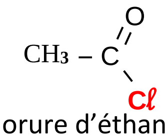
- Avec le pentachlorure de phosphore (PCl_5) :



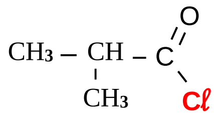
Nomenclature

Le nom d'un chlorure d'acyle est obtenu à partir de celui de l'acide carboxylique correspondant en remplaçant « acide » par « chlorure de » et la terminaison « oïque » par « oyle ».

Exemples

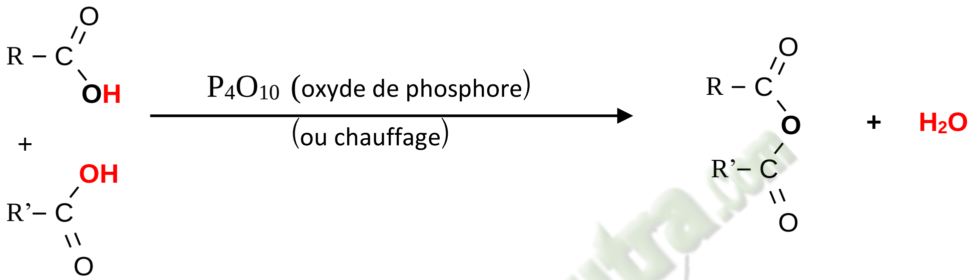


chlorure d'éthanoyle



chlorure de 2-méthylpropanoyle

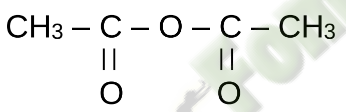
- **Les anhydrides d'acide**



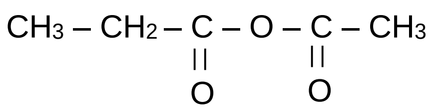
Nomenclature

Le nom d'un anhydride d'acide s'obtient en remplaçant dans celui de l'acide, le mot « acide » par le mot « anhydride » .

Exemples :



anhydride éthanoïque



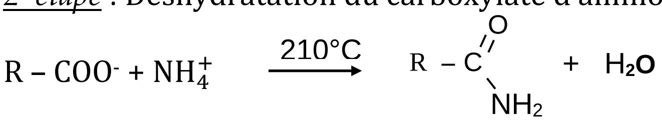
anhydride éthanoïque-propanoïque

- **Les amides**
  - A partir d'un acide carboxylique et de l'ammoniac

La réaction se déroule en deux étapes et on obtient un amide non substitué.

1ère étape : C'est une simple réaction acide-base qui aboutit à la formation d'un carboxylate d'ammonium. L'équation-bilan est : $R-COOH + NH_3 \longrightarrow R-COO^- + NH_4^+$

2e étape : Déshydratation du carboxylate d'ammonium par chauffage :



- A partir d'un chlorure d'acyle et de l'ammoniac

La réaction est rapide, totale et se déroule en une seule étape. Les équations – bilans s'écrivent :

$R-COCl + NH_3 \longrightarrow R-CO-NH_2 + HCl$;

Remarque : *Pour les amines N-substituée et N, N-disubstituée, on utilise le même principe en faisant réagir un chlorure d'acyle sur une amine primaire ou secondaire.*

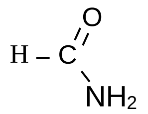
$R-COCl + R'-NH_2 \longrightarrow R-CO-NH-R' + HCl$

$R-COCl + R'-NH-R'' \longrightarrow R-CO-\underset{\displaystyle R''}{\underset{|}{N}}-R' + HCl.$

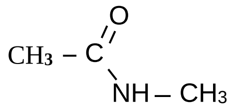
Nomenclature

Le nom d'un amide s'obtient en remplaçant le « e » final du nom de l'hydrocarbure correspondant par « **amide** » et précédé d'un N majuscule avant le nom de chaque substituant de l'atome d'azote.

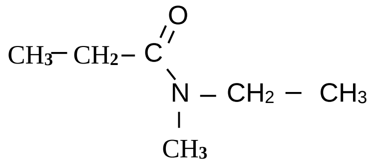
Exemples :



méthanamide



N- méthyléthanamide



N – éthyl , N - méthyléthanamide

- Les esters

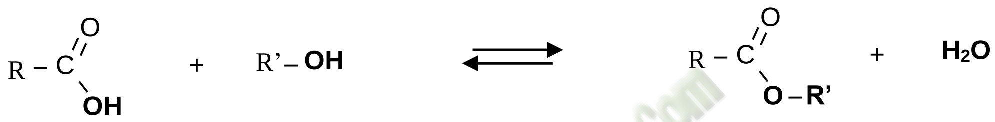
Les réactions d'estérification

- *Estérification directe*

C'est la réaction entre un acide carboxylique et un alcool.

Cette réaction est lente, athermique, réversible et limitée.

Son équation bilan générale s'écrit :

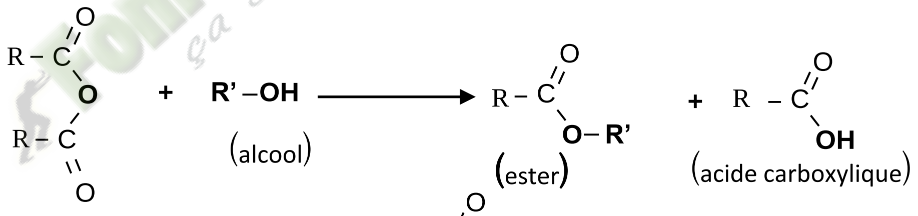


La réaction inverse de l'estérification directe est appelée hydrolyse d'un ester. Elle possède les mêmes caractéristiques que l'estérification directe.

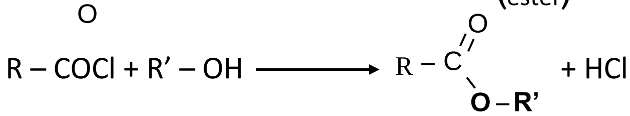
- *Estérification indirecte*

C'est la réaction entre un dérivé d'acide (chlorure d'acyle ou anhydride d'acide) et un alcool. Cette réaction est totale, rapide et exothermique.

Cas des anhydrides :



Cas des chlorures d'acyle :

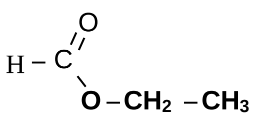


Nomenclature

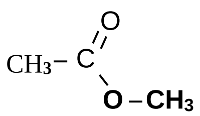
Le nom d'ester s'obtient à partir de celui de l'acide carboxylique correspondant, en :

- Supprimant le mot ''acide''
- Remplaçant le suffixe ''oïque'' par ''oate'',
- En ajoutant la préposition « de » ou « d' » suivi du nom du groupe alkyle lié à l'atome d'oxygène.

Exemples



Méthanoate d'éthyle



Éthanoate de méthyle

3. SITUATION D'EVALUATION

Un ester saturé E de formule chimique $C_nH_{2n}O_2$ contient en masse 31,37% d'oxygène.

1. Vérifier que l'ester E a pour formule brute : $C_5H_{10}O_2$.

Masses molaires atomiques: M(O) = 16 g.mol^{-1} ; M(H) = 1 g.mol^{-1} ; M(C) = 12 g.mol^{-1}.

2. L'hydrolyse de l'ester E conduit à la formation de deux composés organiques A et B. L'étude des composés A et B permet de préciser la structure de E.

2.1. <u>Etude du composé organique A</u>

Le composé A est soluble dans l'eau. Sa solution aqueuse conduit le courant électrique. L'ajout de quelques gouttes de bleu de bromothymol (B.B.T) dans la solution aqueuse du composé A donne une coloration jaune. A renferme deux atomes de carbone.

2.1.1. Donner la fonction chimique du composé A.

2.1.2. Donner la formule semi développée et le nom du composé A.

2.2. <u>Etude du composé organique B</u>

Le composé B subit une oxydation ménagée pour donner un produit organique D qui donne un précipité jaune avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine (D.N.P.H), mais ne réagit pas avec la liqueur de Fehling.

2.2.1. Donner les fonctions chimiques des composés B et D.

2.2.2. Le composé B peut être obtenu par hydratation d'un alcène C. la formule semi développée de l'alcène C est : $CH_3 - CH = CH_2$

Donner :

a) Le nom de l'alcène C.

b) La formule semi développée et le nom du composé B.

c) La formule semi développée et le nom du composé D.

3. Synthèse de l'ester E.

Soit F le chlorure d'acyle dérivant de l'acide éthanoïque.

3.1. Ecrire la formule semi développée de F.

3.2. L'ester E peut s'obtenir de différentes manières :

$$A + B \rightarrow E + H_2O \quad (1)$$

$$F + B \rightarrow E + HCl \quad (2)$$

3.2.1. Ecrire les équations-bilans des réactions (1) et (2) en utilisant les formules semi développées des composés A, B et F.

3.2.2. Préciser les différences importantes entre les réactions (1) et (2).

3.2.3. Donner la formule semi développée et le nom de E.

<u>Solution</u>

1. Vérifions que l'ester E a pour formule brute : $C_5H_{10}O_2$.

$\frac{M}{100} = \frac{32}{31,37} \rightarrow M = \frac{32x100}{31,37} = 102$ g/mol

$14n + 32 = 102 \rightarrow n = \frac{102-32}{14} = 5$

D'où E : $C_5H_{10}O_2$

2.

2.1.<u>Etude du composé organique A</u>

2.1.1. A est un acide carboxylique

2.1.2. Formule semi-développée de A : CH_3COOH

Nom : acide éthanoïque

2.2.<u>Etude du composé organique B</u>

2.2.1. B est un alcool (secondaire)

D est une cétone

2.2.2.

d) C : propène ou prop-1-ène

e) Formule semi développée de B :

$CH_3 - CH(OH) - CH_3$

Nom : propan-2-ol

f) Formule semi développée de D :

$$CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - CH_3$$

Nom :propanone ou propan-2-one

3.

3.1.Formule semi développée de F :

$$CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - Cl$$

3.2.

3.2.1 Les équations bilans :

$$CH_3COOH + CH_3 - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - CH_3 \rightleftarrows E + H_2O \ (1)$$

$$CH_3 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - Cl + CH_3 - \underset{\underset{O}{|}}{CH} - CH_3 \rightarrow E + HCl \ (2)$$

3.2.2 Les différences importantes entre les réactions (1) et (2) sont :

(1) Est lente limitée et athermique

(2) Est rapide totale et exothermique

3.2.3 La formule semi développée de E est :

$$CH_3 - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - \overset{\overset{CH_3}{|}}{CH} - CH_3$$

Nom: éthanoate du méthyl-éthyle ou d'isopropyle

<u>Exercice</u> 1

Complète le tableau ci-dessous :

Nom	Fonction chimique	Formule semi développée	Groupe fonctionnel
acide chloroéthanoïque			
		C_6H_5-COCl	
anhydride 2-methylpropanoique			
		CH_3-CH_2-CONH-C_2H_5	
méthanoate de 1-méthyléthyle			
		$CH_3 - CH(C_2H_5) - COOH$	

<u>Exercice</u> 2

Complète les équations bilans des réactions suivantes :

1) ... + $C_2H_5OH \rightleftarrows$ ... + $HCOOC_2H_5$
2) $2CH_3$-COOH $\xrightarrow{P_4O_{10}}$ ... + ...
3) C_2H_5-COOH + PCl_5 $\rightarrow$ ... + ...
4) C_2H_5-COOH + NH_3 $\xrightarrow{Chauffage}$ ... + ...

FABRICATION D'UN SAVON

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

En visite dans une de fabrication de savons, les membres du club de Chimie du Lycée Moderne d'Abengourou dont font partie les élèves de Terminale C observent avec intérêt le procédé d'obtention du savon de lessive. De retour en classe, ces élèves entreprennent de définir la saponification, d'écrire l'équation-bilan de la réaction de saponification et de préparer un savon.

2. CONTENUS

- **Saponification des esters**
  - **Définition et équation-bilan**

La **saponification d'un ester** est la réaction de cet ester avec des ions hydroxyde OH^- provenant d'une base forte.

$$R-COOR' + OH^- \rightarrow R-COO^- + R'-OH$$

  - **Caractéristiques de la réaction de saponification**

La réaction est lente et totale.

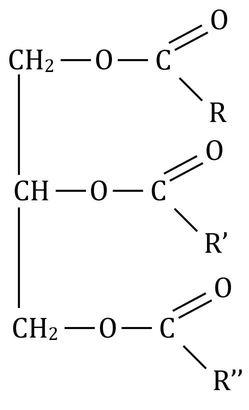
- **Triesters ou triglycérides**

Les triesters ou triglycérides :

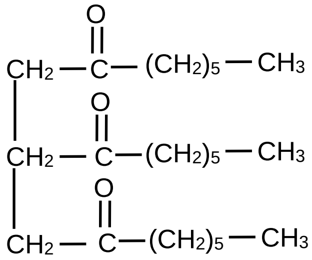
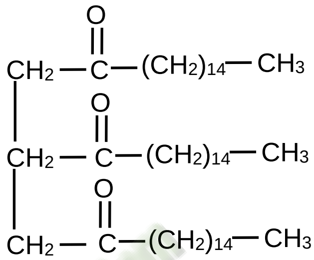
- font partie des corps gras ;
- sont les constituants des graisses et des huiles ;
- proviennent des acides gras et du propan-1,2,3 triol

ACIDE GRAS	FORMULE
Acide butyrique	$CH_3(CH_2)_2COOH$
Acide palmitique	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$

Formule générale d'un triglycéride

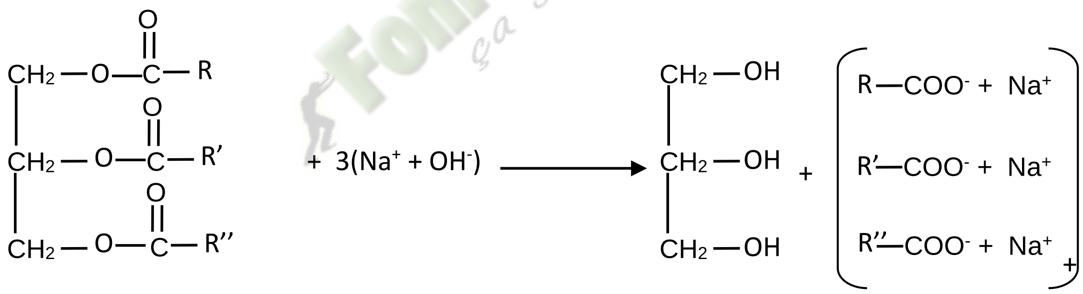


Exemples de triesters ou glycérides

GLYCERIDE	FORMULE SEMI-DEVELOPPEE
Butyrine	
Palmitine	

- **Préparation d'un savon**

Equation-bilan de la réaction



Carboxylate de sodium (Savon)

- Avec l'huile de palme (contenant la palmitine), on obtient la palmitate de sodium de formule $C_{15}H_{31}COO^- + Na^+$.
- Le savon possède une propriété détergente : dissolution de la saleté.

4. Importance industrielle de la saponification

Dans l'industrie, la saponification des corps gras (huiles et graisses) est utilisée dans la fabrication de nombreux produits :
- savons ;
- résines glycérophtaliques ;
- produits cosmétiques ;
- explosifs.

3. SITUATION D'EVALUATION

Lors d'une séance de travaux pratiques en classe de Tle, ton groupe est désigné par le professeur pour fabriquer du savon. Il met à votre disposition m = 100 g d'huile de table, de la soude, de l'éthanol et le matériel nécessaire.

$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$

Donnée : formule de l'acide palmitique :
Etant membre du groupe, tu es chargé de la rédaction.

1- Ecris la formule semi-développée du triglycéride formé à partir de l'acide palmitique contenu dans l'huile de table.

2-

   2.1- Ecris l'équation-bilan de la réaction de saponification du triester précédent par la soude.

   2.2- Nomme les produits obtenus.

3- Détermine, à partir de la quantité d'huile de table :

   3.1- la masse de savon obtenu ;

   3.2- la masse de polyalcool obtenu.

Solution

4. EXERCICES

Exercice 1

1- Ecris la formule du triglycéride formé à partir de l'acide butanoïque (ou acide butyrique).

2- Ecris l'équation-bilan de la saponification du triglycéride précédent par la soude.

3- Nomme les produits obtenus.

Solution

SOLUTIONS AQUEUSES – NOTION DE pH

1. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Une élève de Terminale D du Lycée Moderne d'Abengourou échange avec son frère aîné étudiant en chimie. Elle apprend que l'eau est un solvant dipolaire. Cette propriété particulière lui permet de disloquer, d'ioniser et d'hydrater des composés chimiques.
Le lendemain, elle partage ces informations avec ses camarades de classe. Voulant en savoir davantage, ils décident ensemble, de connaître quelques propriétés de l'eau, de vérifier l'électroneutralité d'une solution aqueuse, de déterminer le pH de solutions aqueuses et de les classer.

2. CONTENUS

- **QUELQUES PROPRIETES DE L'EAU**
  - **Conductibilité électrique de l'eau**

    L'eau pure conduit faiblement le courant électrique grâce aux ions hydronium $\mathbf{H_3O^+}$ et hydroxyde $\mathbf{OH^-}$.
  - **Pouvoir solvant de l'eau**

    L'eau est un solvant **ionisant, dissociant, hydratant et dispersant.**
- **CONCENTRATIONS DANS UNE SOLUTION AQUEUSE**
  - **Concentration molaire volumique d'une solution**

La concentration molaire volumique C d'une solution est la quantité de matière n de soluté dissoute dans un litre d'eau. $\mathbf{C = \frac{n}{V}}$; Son unité **mol/L**

  - **Concentration molaire volumique d'une espèce chimique en solution**

La concentration molaire volumique $[X]$ d'une espèce chimique **X** dans une solution est la quantité de matière n_X de cette espèce chimique dans un litre de solution : $\mathbf{[X] = \frac{n_X}{V}}$

  - **Concentration massique volumique**

La concentration massique volumique $\mathbf{C_m}$ d'une substance est la masse **m** de cette substance dissoute dans 1L de solution. $\mathbf{C_m = \frac{m}{V}}$; Son unité est **g/L**

  - **Electroneutralité de la solution aqueuse**

$\sum n(cations) = \sum n(anions) \Leftrightarrow \sum[cations] = \sum[anions]$

- **AUTOPROTOLYSE DE L'EAU**
  - **Equation de l'autoprotolyse de l'eau**

$$\mathbf{H_2O + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-}$$

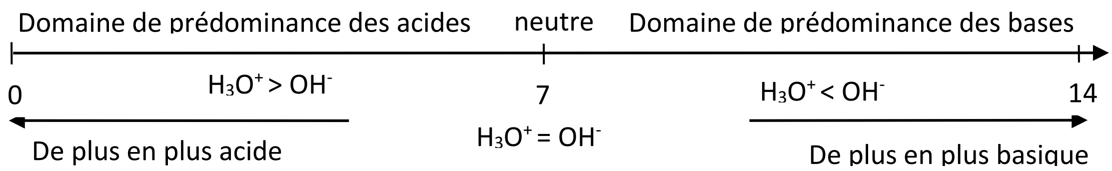
  - **Produit ionique de l'eau**

Le produit ionique de l'eau **Ke** est défini par : $\mathbf{Ke = [H_3O^+] \times [OH^-]}$
À 25°C, $\mathbf{Ke = 10^{-14}}$.

- **pH D'UNE SOLUTION AQUEUSE**
  - **Expression**

$\mathbf{pH = -\log[H_3O^+] \leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}}$.
Le pH varie de 0 à 14.
Cette relation n'est valable que pour les solutions suffisamment diluées ($C \leq 0,2$ mol/L)

- **Classification des solutions aqueuses en fonction du pH**



3. <u>SITUATION D'EVALUATION</u>

Un professeur de PC demande à sa classe de TD de faire l'étude quantitative d'un mélange de deux solutions ioniques. Sous sa conduite un élève dissout m_1=10g de chlorure de calcium ($CaCl_2$) dans V_1=400mL d'eau et m_2=30g de chlorure de potassium (KCl) dans V_2 = 700 mL d'eau. Il mélange ensuite les deux solutions. Tous ces composés sont solubles dans l'eau. Tu es de la classe, réponds aux questions
On te donne M(Ca) = 40 g /mol: M (Cl) = 35,5 g/mol ; M(K) = 39g/mol.

1) Fais le bilan des ions présents dans chaque solution.
2) Calcule la concentration molaire volumique des ions :
   1.1) dans chaque solution aqueuse.
   1.2) dans le mélange.
3) Vérifie la neutralité électrique de cette solution

Solution

4. <u>EXERCICES</u>

Exercice 1

On dissout 10 g de chlorure de sodium dans 100 mL d'eau
1) Calcule :
   1.1) La concentration molaire volumique c de la solution.
   1.2) La concentration massique volumique C de la solution
2) Détermine les concentrations molaires des ions en solution.
   On donne M_{Na} = 23 g/mol ; M_{Cl} = 35,5 g/mol

Solution

Exercice 2

1. Détermine le pH de chacune des solutions contenant :
   1.1) $[H_3O^+]$ = 3.10^{-3} mol/L
   1.2) $[OH^-]$ = 10^{-5} mol/L
2. Détermine la concentration en ions H_3O+ d'une solution dont :
   2.1) pH = 12
   2.2) pH = 2,4

Solution

ACIDE FORT-BASE FORTE

1-SITUATION D'APPRENTISSAGE

Un élève en classe de $TleD_{10}$ au lycée moderne Abengourou lit sur les bouteilles de produits ci-contre, utilisés pour le nettoyage des carreaux et des éviers, les indications suivantes :« acide chlorhydrique-DETARTRANT -DECAPANT » « LESSIVE DE SOUDE – Décapant ».

Son frère aîné, laborantin au Lycée, lui explique que ces produits contiennent de l'acide chlorhydrique et de l'hydroxyde de sodium très efficace pour déboucher les éviers et faire briller les carreaux.
Le lendemain, il informe ses camarades de classe. Désireux d'en savoir davantage sur ces produits, les élèves décident de connaître les propriétés des solutions aqueuses d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium, d'écrire les équation-bilans des réactions d'un acide fort et d'une base forte avec l'eau et d'utiliser les relations entre le pH et la concentration.

2-CONTENU

- **Acide fort**.

Définition d'un acide fort
Un **acide HA** est dit **fort** s'il réagit totalement avec l'eau.
L'équation-bilan de la réaction s'écrit : $\mathbf{HA + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + A^-}$

Quelques exemples de monoacides forts

HCl : Acide chlorhydrique.
HNO_3 : Acide nitrique.
HBr : Acide bromhydrique.
HI : Acide iodhydrique.

Expression du pH
Le **pH** d'une solution de monoacide fort de concentration **Ca** est donné par la relation:
pH = - logCa soit $Ca = 10^{-pH}$ avec $10^{-6} \leq Ca \leq 10^{-2}$ (en $mol.L^{-1}$)

- **Base forte**

Définition d'une base forte
Une base **BOH** (ou $\mathbf{B^-}$) est dite **forte**, si elle réagit totalement avec l'eau.
L'équation-bilan de la réaction s'écrit : $BOH \xrightarrow{H_2O} B^+ + OH^-$ ou

$B^- + H_2O \longrightarrow BH + OH^-$

Quelques exemples de monobases fortes

NaOH : Hydroxyde de sodium.
KOH : Hydroxyde de potassium.
$C_2H_5O^-$: Ion éthanolate.

Expression du pH
Le **pH** d'une solution de monobase forte de concentration $\mathbf{C_b}$ est donné par la relation:
pH = 14 + log C_b soit $C_b = 10^{14-pH}$ avec $10^{-6} \leq C_b \leq 10^{-2}$ (en $mol.L^{-1}$)

3. SITUATION D'EVALUATION

Au cours d'une séance de TP de chimie en TleD$_{10}$ au Lycée Moderne Abengourou, un groupe d'élèves mélange une solution d'acide chlorhydrique S_1 (V_1 = 100 mL ; pH_1 = 2) et une solution d'acide nitrique S_2 (V_2 = 200 mL ; pH_2 = 4). Le Professeur leur demande d'écrire l'équation-bilan de la réaction d'ionisation de chacun des acides dans l'eau. Il donne Ke = 10^{-14} ; toutes les solutions sont à 25° C.
Tu es l'un des élèves, réponds aux questions ci-dessous :

1- Donne :
   1.1- la définition d'un acide fort ;
   1.3- les caractéristiques de la réaction d'ionisation d'un acide fort.

2- Ecris :
   2.1- la formule de chacun des acides ;
   2.2- l'équation-bilan de la réaction d'ionisation de chacun des acides ;
   2.3- la formule de chacune des espèces chimiques présentes dans la solution.

3- Détermine :
   3.1- les concentrations molaires volumiques C_1 et C_2 respectives des solutions S_1 et S_2 ;
   3.2- la concentration molaire volumique de chacun des ions présents dans la solution.

4- Déduis-en le pH de la solution ainsi préparée.

Solution

1-

1.1/ Définition d'un acide fort

Un acide est dit fort si sa réaction avec l'eau est totale.

1.2/ Caractéristiques de la réaction d'ionisation d'un acide fort dans l'eau

La réaction d'ionisation d'un acide fort dans l'eau est exothermique, rapide et totale.

2-

2.1/ Formule de chacun des acides

Acide chlorhydrique : HCl ;

Acide nitrique : HNO_3 ;

2.2/ Equation-bilan de la réaction d'ionisation de chaque acide dans l'eau

* $HCl + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Cl^-$

* $HNO_3 + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

2.3/ Formules des espèces chimiques présentes dans le mélange

H_3O^+ ; Cl^- ; OH^- ; NO_3^- ; H_2O.

3-

3.1/ Détermination des concentrations molaires C_1 et C_2

Solution S_1 : $C_1 = 10^{-pH1} = 10^{-2}$mol.L^{-1} $\Rightarrow$ $C_1 = 10^{-2}$mol.L^{-1}

Solution S_2 : $C_2 = 10^{-pH2} = 10^{-4}$mol.L^{-1} $\Rightarrow$ $C_2 = 10^{-4}$mol.L^{-1}

3.2/ Détermination des concentrations des ions du mélange

* $[H_3O^+] = \frac{n_{H_3O^+}}{V}$ or $n_{H_3O^+} = C_1.V_1 + C_2.V_2 = 10^{-pH1}.V_1 + 10^{-pH2}.V_2$

$[H_3O^+] = \frac{10^{-pH1}.V_1 + 10^{-pH2}.V_2}{V}$

$[H_3O^+] = \frac{10^{-2}.0,1 + 10^{-4}.0,2}{0,3}$ $\Rightarrow$ $[H_3O^+] = 3,4.10^{-3}$mol.L^{-1}

* $[Cl^-] = \frac{n_{Cl^-}}{V}$ or $n_{Cl^-} = C_1.V_1$

$[Cl^-] = \frac{C_1.V_1}{V}$ $\qquad [Cl^-] = \frac{10^{-2}.0,1}{0,3}$ $\Rightarrow$ $[Cl^-] = 3,33.10^{-3}$mol.L^{-1}

* $[NO_3^-] = \frac{n_{NO_3^-}}{V}$ or $n_{NO_3^-} = C_2.V_2$

$[NO_3^-] = \frac{C_2.V_2}{V}$ $[NO_3^-] = \frac{10^{-4}.0,2}{0,3}$ $\Rightarrow$ $\underline{[NO_3^-] = 6,66.10^{-5} mol.L^{-1}}$

* $[OH^-] = \frac{ke}{[H_3O^+]}$ $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{3,4.10^{-3}}$ $\Rightarrow$ $\underline{[OH^-] = 2,94.10^{-12} mol.L^{-1}}$

4- Détermination du pH du mélange

pH = -log$[H_3O^+]$ pH = -log($3,4.10^{-3}$) $\Rightarrow$ pH = 2,5

4-EXERCICES

Exercice 1

Une solution de bromure d'hydrogène HBr de concentration C = 10^{-2} mol.L^{-1} a un pH = 2 à 25^{0c}. On donne ke = 10^{-14}.

1/ Montre que l'acide bromhydrique est un acide fort.

2/ Ecris l'équation-bilan de la réaction de cet acide avec l'eau.

3/ Calcule les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans la solution.

1/

Calculons le pH de la solution de bromure d'hydrogène.

On a : pH'= -logC

pH'= -log(10^{-2})

pH'= 2 or pH = 2

Comme pH'= pH = -logC , alors HBr est un acide fort.

2/ Equation-bilan de la réaction de *HBr* avec l'eau

$$HBr + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Br^-$$

3/ -Inventaire des espèces chimiques

H_3O^+ ; Br^- ; OH^- ; H_2O.

-Exploitation du pH et du ke

* $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2}$ mol.L^{-1} $\Rightarrow$ $\underline{[H_3O^+] = 10^{-2} mol.L^{-1}}$

* $[OH^-] = \frac{ke}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}}$ $\Rightarrow$ $\underline{[OH^-] = 10^{-12} mol.L^{-1}}$

-Electroneutralité de la solution

$[H_3O^+] = [OH^-] + [Br^-]$

$[Br^-] = [H_3O^+] - [OH^-]$ or $[OH^-] << [H_3O^+]$

$[Br^-] = [H_3O^+]$

$\underline{[Br^-] = 10^{-2} mol.L^{-1}}$

Exercice 2

Une solution d'hydroxyde de potassium KOH de volume V = 500 cm^3 et de concentration molaire C = 2.10^{-3} mol.L^{-1} a un pH = 11,3 à 25 °c.

1/ Montre que l'hydroxyde de potassium est une base forte.

2/ Ecris l'équation-bilan de sa réaction de dissociation dans l'eau.

3/ Détermine le volume d'eau qu'il faut ajouter à un volume V_1= 20 cm^3 de la solution précédente, pour obtenir une solution de pH_2 =11.

1/

Calculons le pH de la solution d'hydroxyde de potassium.

On a : pH'= 14 + logC

pH'= 14 + log(2.10^{-3})

pH'= 11,3 or pH = 11,3

Comme pH'= pH = 14 + logC , alors *KOH* est une base forte.

2/ Equation-bilan de la réaction de dissociation de *KOH* dans l'eau

$$KOH \xrightarrow{H_2O} K^+ + OH^-$$

3/ Détermination du volume d'eau nécessaire pour préparer la solution de *KOH* de pH_2 = 11

$$C.V_1 = C_2.V_2$$

$V_2 = \frac{C.V_1}{C_2}$ or $V_2 = V_1 + V_e$

$V_1 + V_e = \frac{C.V_1}{C_2}$ or $C_2 = 10^{pH2-14}$

$$V_e = \frac{C.V_1}{10^{pH2-14}} - V_1$$

$V_e = \frac{2.10^{-3}.20.10^{-3}}{10^{11-14}} - 20.10^{-3} \Rightarrow$ $\underline{V_e = 0{,}02L}$

LEÇON 7 (TCE) 9 (TD) ACIDES FAIBLES -BASES FAIBLES

1) Situation d'apprentissage.

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques de chimie en classe de Terminale C au Lycée Moderne de Bangolo, le professeur met à la disposition des élèves des solutions aqueuses d'acide chlorhydrique, d'acide éthanoïque, de soude, d'ammoniac, de même concentration et le matériel nécessaire pour mesurer leur pH.

Les élèves constatent que le pH de l'acide éthanoïque est plus élevé que celui de l'acide chlorhydrique ; le pH de la solution aqueuse de l'ammoniac est moins élevé que celui de la solution aqueuse de soude. Ils veulent comprendre cette différence.

Ils entreprennent avec l'aide de leur professeur, d'écrire les équation-bilans de la réaction d'un acide faible et d'une base faible avec l'eau, d'expliquer l'équilibre chimique et l'effet de dilution sur l'ionisation d'un acide faible et de déterminer les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans une solution d'acide faible et de base faible.

2) CONTENU DE LA LECON

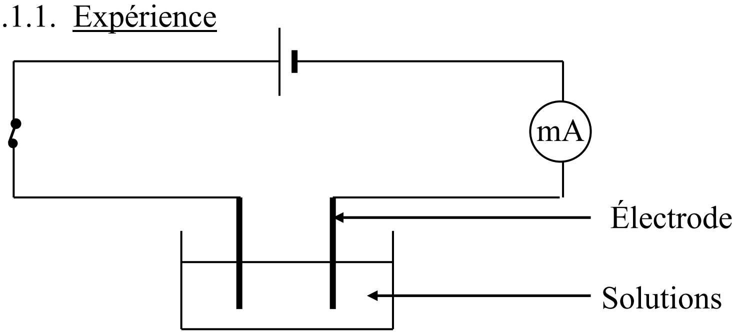
I) ACIDE FAIBLE

1- Étude de la solution d'acide éthanoïque

L'acide éthanoïque ou acide acétique de formule CH_3COOH est un liquide incolore possédant une odeur piquante caractéristique. Il est miscible à l'eau en toutes proportions ; sa dissolution est faiblement exothermique.

1-1. Étude qualitative : Conductivité des solutions d'acide éthanoïque

1.1.1. Expérience



1.1.2. Résultats

Solutions	Acide éthanoïque pur	Solution aqueuse d'acide éthanoïque ; C = 0,1 mol/L	Acide chlorhydrique C = 0,1 mol/L
Intensité du courant électrique	0	4 mA	70 mA

1.1.3. Interprétation

- La solution d'acide éthanoïque pur ne conduit pas le courant électrique : elle ne contient pas d'ions.
- La solution aqueuse d'acide éthanoïque conduit le courant électrique : l'eau a donc ionisé les molécules d'acide éthanoïque. Cependant, elle conduit moins le courant électrique que l'acide chlorhydrique ; son ionisation n'est donc pas totale, elle est partielle.

1.1.4. Conclusion

L'ionisation de l'acide éthanoïque par l'eau est partielle.

1-2. Étude quantitative

La mesure du pH à 25°C d'une solution S_1 d'acide éthanoïque de concentration $C_a = 10^{-2}$ mol.L^{-1} donne la valeur pH = **3,4**. Réalisons l'étude quantitative de la solution.

* **Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution**

Les espèces chimiques présentes dans la solution S_1 sont :

Ions : $H_3O^+,\ OH^-,\ CH_3COO^-$; molécules : H_2O ; CH_3COOH

* **Exploitation des valeurs de pH et de Ke**

$[H_3O^+] = 10^{-pH}$; $[H_3O^+] = 10^{-3,4}$; $[H_3O^+] = 3,98.10^{-4}$ mol.L^{-1}

$[OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]}$; $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-3,4}}$; $[OH^-] = 2,51.10^{-11}$ mol.L^{-1}

* **Electroneutralité de la solution**

$$\left[H_3O^+\right] = \left[OH^-\right] + \left[CH_3COO^-\right]$$

Or $[H_3O^+] \gg [OH^-]$

donc $[CH_3COO^-] = [H_3O^+] = 3,98.10^{-4}$ mol.L^{-1}

* **Conservation de la matière**

$C_a = [CH_3COO^-] + [CH_3COOH]$

$[CH_3COOH] = C_a - [CH_3COO^-]$

$[CH_3COOH] = 10^{-2} - 3,98.10^{-4}$

$[CH_3COOH] = 9,6.10^{-3}$ mol.L^{-1}

espèce ultra-minoritaire : OH^- ;

espèces minoritaires : H_3O^+ et CH_3COO^- ;

espèce majoritaire : $CH_3COOH_{restant}$.

1-3. Coefficient ou facteur d'ionisation (ou de dissociation)

Le coefficient de dissociation α est le rapport du nombre de molécules ionisées (ou dissociées) par le nombre total de molécules apportées :

$$\alpha = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \frac{[CH_3COO^-]}{C_a}.$$

Pour notre exemple : $\alpha = \frac{3{,}98.10^{-4}}{10^{-2}}$; $\alpha = 4\ \%$

Sur 100 molécules d'acide éthanoïque introduites dans la solution seulement 4 molécules se dissocient.

La dissociation ou l'ionisation de l'acide éthanoïque dans l'eau est donc partielle (limitée) : l'acide éthanoïque est un acide faible.

1-4. Effet de la dilution sur l'ionisation

Une solution d'acide éthanoïque de concentration $C'_a = 10^{-4}$ mol.L^{-1} a pour pH = 4,4.

Son coefficient d'ionisation est $\alpha' = 40\ \%$

Le facteur d'ionisation augmente avec la dilution.

1-5. Équation-bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau

La dissociation de l'acide éthanoïque dans l'eau donne lieu à un équilibre chimique traduit par l'équation-bilan suivante :

$$CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows CH_3COO^- + H_3O^+$$

1-6. Définition d'un acide faible

Un acide est dit **faible** en solution aqueuse si sa réaction avec l'eau **est partielle (n'est pas totale)**.

Exemples d'acides faibles :

Acide méthanoïque, acide benzoïque, ion ammonium, ion méthylammonium,

II- Base faible

1. Étude de la solution aqueuse d'éthanoate de sodium

L'éthanoate de sodium ou acétate de sodium (CH_3COONa) est un solide ionique de couleur blanche.

Il se dissocie dans l'eau au cours d'une réaction chimique totale d'équation-bilan :

$$CH_3COONa \xrightarrow{(H_2O)} CH_3COO^- + Na^+$$

Cette dissolution est une réaction chimique très exothermique.

Dans la solution aqueuse, les ions CH_3COO^- formés réagissent avec des molécules d'eau pour donner des molécules d'acide éthanoïque (CH_3COOH).

1.1- Étude quantitative

Le pH d'une solution aqueuse S_2 d'éthanoate de sodium de concentration $C_b = 10^{-2}$ mol.L^{-1} a pour valeur **8,4** à 25° C. Étudions quantitativement la solution S_2.

* **Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution**

Les espèces chimiques présentent dans la solution S_2 sont :

Ions : H_3O^+, OH^-, Na^+, CH_3COO^- molécules : H_2O, CH_3COOH.

* **Exploitation des valeurs de pH et de Ke**

$[H_3O^+] = 10^{-pH}$; $[H_3O^+] = 10^{-8,4}$; $[H_3O^+] = 3{,}98.10^{-9}$ mol.L^{-1}

$[OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]}$; $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-8,4}}$; $[OH^-] = 2{,}51.10^{-6}$ mol.L^{-1}

$[Na^+] = C_b = 10^{-2}$ mol.L^{-1}

* **Electroneutralité de la solution**

$$\left[H_3O^+\right] + \left[Na^+\right] = \left[OH^-\right] + \left[CH_3COO^-\right]$$

$[CH_3COO^-] = [H_3O^+] + [Na^+] - [OH^-]$

Or $[H_3O^+] \ll [OH^-]$

$[CH_3COO^-] = [Na^+] - [OH^-]$

Or $[OH^-] \ll [Na^+]$

Donc $[CH_3COO^-] = 10^{-2}$ mol.L^{-1}

* **Conservation de la matière**

$$C_b = \left[CH_3COO^-\right] + \left[CH_3COOH\right]$$

$$\left[CH_3COOH\right] = C_b - \left[CH_3COO^-\right]$$

or $$\left[CH_3COO^-\right] = \left[Na^+\right] - \left[OH^-\right]$$

$$\left[CH_3COOH\right] = C_b - (\left[Na^+\right] - \left[OH^-\right])$$

$$\left[CH_3COOH\right] = \left[OH^-\right] = 2{,}51.\,10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}.$$

1.2- Coefficient de dissociation

$$\alpha = \frac{\left[CH_3COOH\right]}{\left[CH_3COO^-\right]} = \frac{\left[CH_3COOH\right]}{C_b}.$$

Pour notre exemple : $\alpha = \dfrac{2{,}51.\,10^{-6}}{10^{-2}} = 25{,}1.\,10^{-5}$

Sur 100.000 ions éthanoates introduits dans la solution seulement 25 ions ont réagi avec l'eau. La réaction entre l'ion éthanoate et l'eau est donc **partielle (limitée)** : l'ion éthanoate est une **base faible**.

1-3. Équation-bilan de la réaction entre l'ion éthanoate et l'eau

La réaction entre l'ion éthanoate et l'eau est une réaction limité traduite par l'équation-bilan suivante :

$$CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$$

2. Définition d'une base faible

Une base est dite **faible** en solution aqueuse si sa réaction avec l'eau **est partielle (n'est pas totale)**.

Exemples de bases faibles :
Ammoniac, méthylamine, ion carbonate (CO_3^{-2}), ion propanoate, ion hypochlorite (ClO^-).

III-Notion d'équilibre chimique

Dans toute solution aqueuse d'acide éthanoïque, deux réactions inverses se produisent simultanément :

$$CH_3COOH + H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H_3O^+ \qquad (1)$$

$$CH_3COO^- + H_3O^+ \rightarrow CH_3COOH + H_2O \qquad (2)$$

Cela conduit à un état **d'équilibre chimique**, traduit par l'équation bilan suivante :

$$\mathbf{CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+}$$

Un équilibre chimique est la limite commune à deux réactions inverses qui se limitent mutuellement. **Cet équilibre a lieu quelques soient les autres espèces chimiques présentes dans la solution**.

SITUATION D'ÉVALUATION

Dans le but d'étudier l'influence de la dilution sur l'ionisation d'une solution d'acide méthanoïque, le Professeur de Physique-Chimie de la terminale D d'un Lycée prépare avec un groupe d'élèves une solution d'acide méthanoïque de concentration $C = 10^{-2}$ mol/L. Les élèves mesurent le pH de la solution et trouve 2,9. Ensuite, ils diluent 20 fois la solution S et obtiennent une solution S'dont la mesure du pH donne 3,4.

Tu es le rapporteur du groupe.

1. Dis si l'acide méthanoïque est un acide fort ou un acide faible. Justifie ta réponse.
2. Écris l'équation-bilan de la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau.
3. Détermine
   3.1) La concentration molaire des espèces présentes dans la solution S.
   3.2) La concentration molaire des espèces présentes dans la solution S'
4. Déduis les coefficients d'ionisation α et α' respectivement des solutions S et S'de l'acide méthanoïque.
5. Compare α et α' puis donne l'influence de la dilution sur l'acide méthanoïque.

Leçon 8 (TCE) 10(TD) COUPLE ACIDE/BASE - CLASSIFICATION

1) Situation d'apprentissage

Lors de la préparation du concours dénommé « génie en herbe » au Lycée Moderne d'Agnibilékrou, deux élèves de Terminale C échangent au sujet de la force des acides carboxyliques. L'un soutient que certains acides carboxyliques sont plus forts que d'autres, tandis que l'autre affirme que tous les acides carboxyliques ont la même force. Pour s'accorder, ensemble avec les autres élèves de la classe, ils cherchent à définir un couple acide/base, à déterminer le constante d'acidité K_A et le pK_A d'un couple acide/base, à expliquer la force d'un acide ou d'une base et à classer les couples acide/base.

2) Contenu de la leçon

I. Définition des acides et des bases selon Brönsted

1. Définition d'un acide

Un acide est une espèce chimique capable de libérer un ou plusieurs protons H^+.

Exemples :

- $HCOOH \longrightarrow HCOO^- + H^+$
- $NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+$
- $HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$

2. Définition d'une base

Un acide est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs protons H^+.

Exemples :

- $HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$
- $NH_3 + H^+ \longrightarrow NH_4^+$
-

II. NOTION DE COUPLE ACIDE BASE

1. Définition du couple acide/base

Soit l'équilibre $CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows CH_3COO^- + H_3O^+$

- CH_3COOH cède un proton H^+ : c'est un acide.
- CH_3COO^- capte un proton H^+ : c'est une base.
- Ces deux espèces chimiques sont dites conjuguées et elles constituent le couple acide/base noté CH_3COOH/CH_3COO^-

Un couple acide/base est l'ensemble formé par un acide et sa base conjuguée. Un couple acide/base est constitué par deux espèces conjuguées qui échangent un proton selon le schéma :

$$\text{Acide} \rightleftarrows \text{Base} + H^+$$

Et on le note A/B.

2. Exemples de couples acide/base

- Acide éthanoïque/ ion éthanoate (CH_3COOH/CH_3COO^-)
- Acide méthanoïque/ ion méthanoate ($HCOOH/HCOO^-$)
- Acide monochloroéthanoïque/ ion monochloroéthanoate ($CH_2ClCOOH/CH_2ClCOO^-$)
- Ion ammonium/ammoniac (NH_4^+/NH_3)

- Ion méthylammonium/méthylamine ($CH_3NH_3^+/CH_3NH_2$)
- Ion éthylammonium/éthylamine ($C_2H_5NH_3^+/C_2H_5NH_2$)

3. Les couples de l'eau.

Soit les équations suivantes : $H_3O^+ \rightleftharpoons H_2O + H^+$ et $OH^- + H^+ \rightleftharpoons H_2O$

L'ion hydronium est susceptible de céder un proton ; c'est un acide. Le couple résultant est : H_3O^+/H_2O.

L'eau est donc la base.

- L'ion hydroxyde est susceptible de capter un proton ; c'est une base. Le couple résultant est : H_2O/OH^-. L'eau est l'acide.

En somme, l'eau a un double comportement acide ou base : on dit que l'eau est **amphotère** ou qu'elle est un **ampholyte**.

III. Constante d'acidite Ka d'un couple A/B dans l'eau

1. Définition

C'est la constante d'équilibre qui régit l'équilibre chimique entre un acide et sa base conjuguée en solution aqueuse. Elle est notée Ka. Elle est sans unité et caractérise le couple acide/base.

2. Expression du Ka

Soit la réaction chimique suivante :

$$\text{Acide} + H_2O \rightleftharpoons \text{Base} + H_3O^+$$

$$\text{Ou} \quad A + H_2O \rightleftharpoons B + H_3O^+$$

La constante d'acidité du couple A/B en solution aqueuse est donnée par la relation :

$$Ka = \frac{[\mathbf{B}][\mathbf{H_3O^+}]}{[\mathbf{A}]}$$

Remarque

- *Ka est sans unité*
- *Ka dépend de la température*
- *Ka est indépendante des autres espèces chimiques présentes en solution.*

3. pKa du couple acide/base dans l'eau

Le pKa d'un couple acide/base dans l'eau est : **pKa = - log Ka ==> Ka = 10^{-pKa}** soit $pH = pKa + \log \frac{[\mathbf{B}]}{[\mathbf{A}]}$

Valeurs de Ka et pKa à 25°C de quelques couples acide/base.

Couple acide/base	Ka	pKa
$HCOOH/HCOO^-$	$1{,}8.10^{-4}$	3,7
CH_3COOH/CH_3COO^-	$1{,}8.10^{-5}$	4,8
NH_4^+/NH_3	$6{,}3.10^{-10}$	9,2
$CH_3NH_4^+/CH_3NH_2$	$1{,}9.10^{-11}$	10,7

Activité d'application

Une solution aqueuse d'éthanoate de sodium de concentration molaire volumique C_1= 0,1 mol/L a un pH égal à 8,9 à 25°C.

1. La solution est-elle acide, basique ou neutre ?

2. On mélange V_1=10 mL de cette solution V_2= 20 mL d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration molaire C_2= 0,1 mol/L. le pH du mélange est 4,5.

2.1 Faire l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange.

2.2 Calcule leur concentration molaire.

2.3 Calcule la constante d'acidité Ka et le pKa de l'acide éthanoïque

4. Détermination du pKa du couple CH_3COOH/CH_3COO^-

4.1 Etude théorique

On mélange un volume V_a = 10 mL d'acide éthanoïque de concentration $C_a = 10^{-2}$mol/L avec un volume V_b = 40 mL d'éthanoate de sodium de concentration $C_b = 10^{-1}$mol/L. Le pH du mélange est 5,4 à 25°C.

1. Calculer la concentration des espèces chimiques présentes dans le mélange.
2. Déterminer le pKa du couple présent dans le mélange.

1. Calcul des concentrations des espèces chimiques :

- *Equations - bilans*

$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$

$$\begin{cases} CH_3COONa \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^- + Na^+ \\ CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^- \end{cases}$$

- *Inventaire des espèces chimiques*

Molécules : CH_3COOH ; H_2O

Ions : CH_3COO^- ; H_3O^+ ; OH^- ; Na^+

- *Utilisation du pH*

$[H_3O^+] = 10^{-pH}$; $[H_3O^+] = 3{,}98.10^{-6}$mol/L

- *Utilisation du Ke*

$[OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]}$ $[OH^-] = 2{,}51.10^{-9}$mol/L

- *Ion spectateur*

$[Na^+] = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b}$ $[Na^+] = 8.10^{-2}$mol/L

- *Electroneutralité*

$[CH_3COO^-] = [H_3O^+] + [Na^+] - [OH^-]$ Or $[OH^-] \ll [H_3O^+]$

$[CH_3COO^-] = [H_3O^+] + [Na^+]$ de plus $[H_3O^+] \ll [Na^+]$

D'où $[CH_3COO^-] \approx [Na^+] = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b}$

Soit $[CH_3COO^-] = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b}$

<u>$[CH_3COO^-] = 8.10^{-2}$mol/L</u>

- *Conservation de la matière*

$[CH_3COOH]_i + [CH_3COO^-]_i = [CH_3COO^-] + [CH_3COOH]$

Soit $\frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b} = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b} + [CH_3COOH]$

$\Rightarrow [CH_3COOH] = \frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_b}$

<u>$[CH_3COOH] = 4.10^{-2}$mol/L</u>

Remarque :

Tout se passe si CH_3COOH et CH_3COO^- ne réagissait pas.

De façon générale lorsqu'on mélange V_a mL d'un acide faible de concentration C_a avec V_b mL de sa base conjuguée de concentration C_b on a : $[B]_{mél} = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b}$ et $[A]_{mél} = \frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_b}$

soit $\frac{[B]_{mél}}{[A]_{mél}} = \frac{C_bV_b}{C_aV_a}$ si Ca = Cb on obtient $\frac{[B]mél}{[A]mél} = \frac{Vb}{Va}$

2. Calcul du pKa

$pKa = pH - \log\frac{[B]}{[A]}$ soit $pKa = pH - \log\frac{C_bV_b}{C_aV_a}$; A.N : **<u>pKa = 5,4 – log4 = 4,80</u>**

4.2 **Vérification expérimentale de la relation** $pKa = pH - \log\frac{[B]}{[A]}$

4.2.1 Expérience

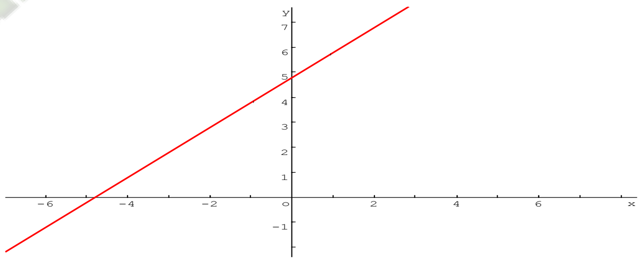
On mélange V_a mL de CH_3COOH avec V_b mL de CH_3COO^- de même concentration tel que $V_a + V_b$ = cste. Après chaque mélange, on mesure le pH. Les valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous :

V_a (mL)	90	80	70	60	40	30	20	10
V_b (mL)	10	20	30	40	60	70	80	90
pH	3,8	4,15	4,4	4,6	4,9	5,1	5,35	5,7
$\log\frac{V_b}{V_a}$								

1. Compléter le tableau.
2. Tracer le graphe pH = f ($\log\frac{V_b}{V_a}$)
3. En déduire que le pH peut s'écrire sous la forme $pH = \alpha \log\frac{V_b}{V_a} + \beta$
4. En déduire les valeurs de pKa et Ka du couple CH_3COOH/ CH_3COO^- .

4.2.2 Exploitation de résultats

2. Tracé du graphe pH = f ($\log\frac{V_b}{V_a}$)



3. Le graphe pH = f ($\log\frac{V_b}{V_a}$) est une droite affine.

Son équation est de la forme $pH = \alpha \log\frac{V_b}{V_a} + \beta$

Déterminons α

α est le coefficient directeur de la droite : $\alpha = \frac{\Delta pH}{\Delta \log\frac{V_b}{V_a}}$ A.N : <u>$\alpha = 1$</u>

1. ***Détermination de β***

β est l'ordonnée à l'origine ; <u>$\boldsymbol{\beta} = 4,75$</u>

D'où $pH = 4,75 + \log\frac{V_b}{V_a}$

4. Par identification, on a : ***pKa = 4,75 et Ka = 1,78.10⁻⁵***

5. Généralisation

Soit une solution renfermant les deux partenaires faibles A et B d'un couple acide-base A/B,
La constante d'acidité Ka du couple acide-base A/B en solution aqueuse est donnée par la relation :

$$Ka = \frac{[B][H_3O^+]}{[A]}$$

Le pKa d'un couple acide/base dans l'eau est :

$$pKa = -\log Ka \quad ==> \quad Ka = 10^{-pKa} \quad \textbf{soit : } pH = pKa + \log\frac{[B]}{[A]}$$

La constante Ka caractérise le couple A/B et dépend de la température.
Exemples :

- $HCOOH/HCOO^-$ pKa = 3,8 et Ka = $1,58.10^{-4}$

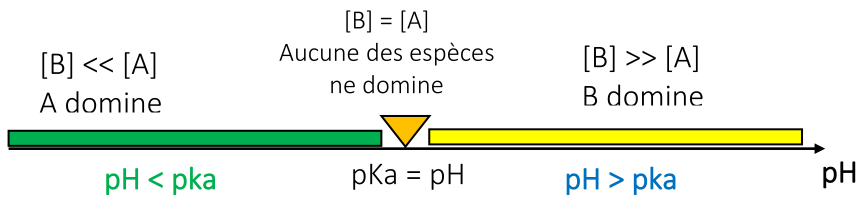
- $CH3COOH/CH3COO^-$ pKa = 4,8   et Ka = $1{,}58.10^{-5}$
- NH_4^+/NH_3 pKa = 9,2   et Ka = $6{,}31.10^{-10}$

IV. Domaine de predominance d'un acide et de sa base conjuguee

1. Domaine de prédominance

La relation pH = pKa + log $\frac{[B]}{[A]}$ permet de déterminer l'espèce prédominante (acide ou base) selon la valeur du pH de la solution, ainsi :

- Si pH > pKa $\Rightarrow$ [B] > [A] : la base prédomine.
- Si pH = pKa $\Rightarrow$ B] = [A] : la base et l'acide sont en quantité égale.
- Si pH< pKa $\Rightarrow$ [B] < [A] : l' acide prédomine.



2. Application : les indicateurs colorés

2.1. Définition

C'est un couple acide/base dont les deux formes (acide et base conjuguée) ont des teintes (couleurs) différentes .L'équation-bilan de sa réaction avec l'eau est

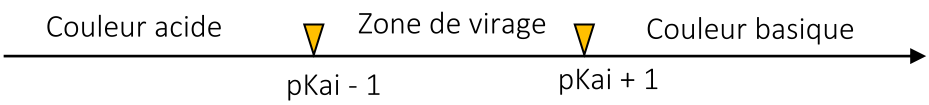
$$HIn + H_2O \rightleftarrows In^- + H3O^+$$

2.2. Zone de virage

La relation pH = pKa + log $\frac{[B]}{[A]}$ devient pour un indicateur coloré pH = pKai + log $\frac{[I_n^-]}{[HI_n]}$

- On montre que si [HIn] > 10[In-] alors la forme acide impose sa couleur soit pH < pKai – 1
- Si [HIn= [In-] , alors les deux formes colorées se superposent
- Si [HIn] < 10[In-], alors la forme basique In- impose sa couleur.

La zone de virage est comprise entre pKai – 1 et pKai + 1 est appelée ***la zone de virage***. Dans cette zone les deux formes colorées se superposent.



5.2.3 Les principaux indicateurs colorés

Indicateurs colorés	Couleur acide	Zone de virage	Couleur basique
Hélianthine	**rouge**	3,1 - 4.4	**Jaune**
Bleu de bromothymol (BBT)	**Jaune**	6 – 7.6	**Bleu**
Phénolphtaléine	incolore	8,2 – 10	**Rouge violacée**

V. Force d'un acide faible, d'une base faible

1. Force d'un acide faible

1.1. Expérience et résultats

Soit deux solutions S_1 d'acide méthanoïque et S_2 d'acide éthanoïque de même concentration $C = 10^{-2}$mol/L. La mesure de leur pH à 25°C donne respectivement pH = 2,9 pour S_1 et pH = 3,4 pour S_2.

1. Ecris les équations d'ionisation
2. Fais l'inventaire des espèces chimiques présentes dans chaque solution.
3. Calcule :
   3.1 les concentrations des espèces chimiques présentes dans chaque solution.
   3.2 Les constantes d'acidité Ka_1 et Ka_2.
4. Déduis en les pKa.

1.2. Exploitation des résultats

➢ *Solution S_1* *Espèces chimiques* : Equation d'ionisation de l'acide méthanoïque : $HCOOH + H_2O \rightleftharpoons HCOO^- + H_3O^+$ Ions : OH^- ; H_3O^+ ; $HCOO^-$ Molécules : $HCOOH$; H_2O *Calcul des concentrations :* $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 1{,}26.10^{-3}$ mol/L ; $[OH^-] = 10^{pH-14} = 7{,}94.\ 10^{-12}$ mol/L $[HCOO^-] = 1{,}26.\ 10^{-3}$mol/L ; $[HCOOH] = C - [HCOO^-] = 8{,}74.\ 10^{-3}$mol/L $Ka = \frac{[H_3O^+][HCOO^-]}{[HCOOH]} = \mathbf{1{,}8.\ 10^{-4}}$; **pKa = - log Ka = 3,74**	➢ *Solution S_2* Equation d'ionisation de l'acide éthanoïque : $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$ *Espèces chimiques* : Ions : OH^- ; H_3O^+ ; CH_3COO^- Molécules : CH_3COOH ; H_2O *Calcul des concentrations* : $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 3{,}98.10^{-4}$ mol/L ; $[OH^-] = 10^{pH-14} = 2{,}51.\ 10^{-11}$ mol/L $[CH_3COO^-] = 3{,}98.\ 10^{-4}$mol/L ; $[CH_3COOH] = C - [CH_3COO^-] = 9{,}6.\ 10^{-3}$mol/L $Ka = \frac{[H_3O^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \mathbf{1{,}65.\ 10^{-5}}$; **pKa = - log Ka = 4,78**

1.3. Interprétation

$[HCOO^-] > [CH_3COO^-]$: à concentrations égales, l'acide méthanoïque s'ionise plus que l'acide éthanoïque. L'acide méthanoïque est plus fort que l'acide éthanoïque.

Remarque :

- $pH_{S1} < pH_{S2}$ pour la même concentration.
- $Ka(HCOOH/HCOO^-) > Ka(CH_3COOH/CH_3COO^-)$

1.4. Conclusion

Un acide faible est d'autant plus fort que le Ka du couple auquel il appartient est élevé et donc le pKa correspondant est faible.

2. Force d'une base faible

2.1. Expérience et résultats

On considère deux solutions de même concentrations $C_b = 10^{-2}$mol/L.
Une solution S_1 d'ammoniac dont le pH vaut 10,6 et une solution S_2 de méthyl amine de pH = 11,35 à 25°C.

1. Ecris les équations d'ionisation
2. Fais les inventaires des espèces chimiques présentes
3. Calcule :
   3.1 les concentrations des espèces chimiques présentes dans chaque solution.
   3.2 Les constantes d'acidité Ka_1 et Ka_2
4. Déduis en les pKa.

2.2. Exploitations des résultats

Solution S_1	Solution S_2
Equation d'ionisation de l'ammoniac : $NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$ ***Espèces chimiques :*** Ions : NH_4^+ ; OH^- ; H_3O^+ Molécules : NH_3 ; H_2O ***Calcul des concentrations*** : $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 2,51.10^{-11}$ mol/L ; $[OH^-] = 10^{pH-14} = 3,98.\ 10^{-4}$ mol/L $[NH_4^+] = [OH^-] = 3,98.\ 10^{-4}$ mol/L ; $[NH_3] = C_b - [NH_4^+] = 9,6.\ 10^{-3}$mol/L $Ka = \frac{[NH_3].[H_3O^+]}{[NH_4^+]} = 6,1.\ 10^{-10}$; **pKa = 9,2**	Equation d'ionisation : $CH_3NH_2 + H_2O \rightleftarrows CH_3NH_3^+ + OH^-$ ***Espèces chimiques*** : Ions : OH^- ; H_3O^+ ; $CH_3NH_3^+$ Molécules : CH_3NH_2 ; H_2O Calcul des concentrations : $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 4,47.10^{-12}$ mol/L ; $[OH^-] = 10^{pH-14} = 2,23.\ 10^{-3}$ mol/L $[CH_3NH_3^+] = [OH^-] = 2,23.\ 10^{-3}$ mol/L ; $[CH_3NH_2] = C_b - [CH_3NH_3^+] = 7,76.\ 10^{-3}$mol/L $Ka = \frac{[CH_3NH_2].[H_3O^+]}{[CH_3NH_3^+]} = 1,6.\ 10^{-11}$; **pKa = 10,8**

2.3. Interprétation

$[CH_3NH_3^+] > [NH_4^+]$: A concentrations égales, la méthylamine s'ionise plus que l'ammoniac. La méthylamine est donc une base plus forte que l'ammoniac.

Remarques :

- $pH_{S1} < pH_{S2}$ pour la même concentration.
- $Ka(CH_3NH_3^+/ CH_3NH_2) < Ka(NH_4^+/NH_3)$

2.4. Conclusion

Une base est d'autant plus forte que le Ka du couple auquel elle appartient est faible donc le pKa correspondant plus élevé.

3. Conclusion générale

- La force d'un acide faible croit avec le Ka et décroit avec le pKa.
- La force d'une base faible avec le pKa et décroit avec le Ka.

VI. Classification des couples acide/base dans l'eau

1. Couples dont l'acide est fort

Leur réaction avec l'eau est totale. Ainsi tous les acides forts sont plus forts que H_3O^+. H_3O^+ est le seul acide fort qui puisse exister dans l'eau. Les bases conjuguées des acides forts ne réagissent pas avec l'eau ; elles sont plus faibles que H_2O : elles sont dites indifférentes dans l'eau.

2. Couples dont la base est forte

Leur réaction avec l'eau est totale. Les acides conjugué s des bases forte ne réagissent pas avec l'eau : on dit qu'ils sont indifférents et ils plus faibles que H_2O. Toutes les bases fortes sont plus fortes que l'ion OH^-.

Remarque

Le classement relatif des acides forts et des bases fortes est impossible dans l'eau.

3. Couples dont l'acide et la base conjuguée sont faibles

Leur réaction avec l'eau est partielle et aboutit à un équilibre chimique caractérisée par une constante d'équilibre appelée constante d'acidité Ka.

Ainsi :

- La base conjuguée d'un acide faible est faible et vice versa.
- Plus un acide faible est fort, plus sa base conjuguée est faible et vice versa.

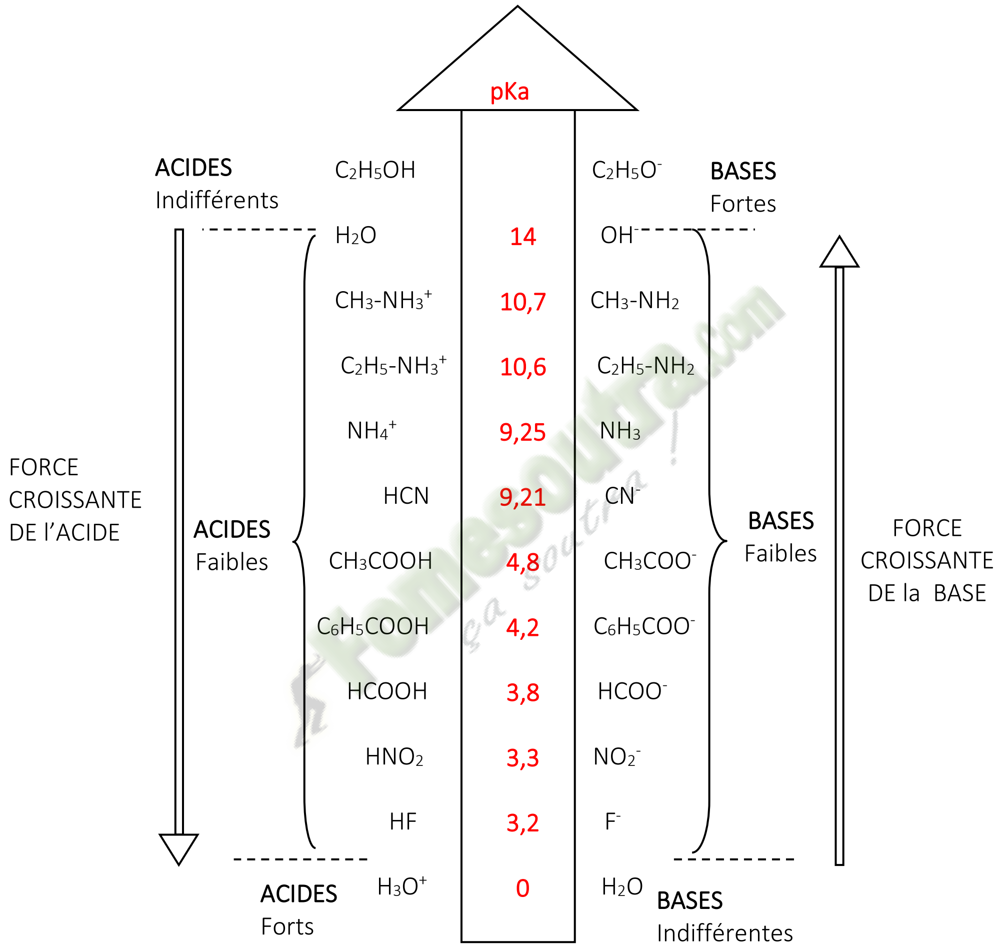
2.4. Conclusion

Une base est d'autant plus forte que le Ka du couple auquel elle appartient est faible donc le pKa correspondant plus élevé.

2. Conclusion générale

- La force d'un acide faible croit avec le Ka et décroit avec le pKa.
- La force d'une base faible avec le pKa et décroit avec le Ka.

.Classification de quelques couples acide/base dans l'eau



SITUATION D'EVALUATION

Après le cours sur « couple acide/base », le professeur, pour vérifier vos acquis vous soumet à un test. A un volume V_1=20mL d'une solution aqueuse de méthylamine de concentration C_1=0,1mol/L, on ajoute un volume V_2=10mL d'une solution de chlorure de méthylammonium ($CH_3NH_3^+$; Cl^-) de concentration C_2=0,2mol/L. Le pH du mélange est de 10,7

Le professeur demande de déterminer la valeur du pKa du couple acide/base et comparer la force de deux bases.

Par ailleurs, il vous donne la valeur du pKa du couple NH_4^+/NH_3 : pKa=9,2

1) Ecris l'équation de la réaction du méthylamine (CH_3NH_2) avec l'eau.

2).

2.1) Fais l'inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange.

2.2) Calcule leurs concentrations molaires volumiques.

3)

3.1) Calcule la constante d'acidité Ka du couple $CH_3NH_3^+$ /CH_3NH_2.

3.2) Compare la force de CH_3NH_2 et NH_3.

EXERCICES

EXERCICE 1

Dans le cadre des préparatifs de votre prochain devoir de niveau, un membre de ton groupe d'études vous propose un exercice. Il s'agit de comparer la force des deux (02) bases : 'ammoniac (NH_3) et l'éthylamine (C_2H_5-NH_2). Pour cela, on prépare une solution aqueuse S en dissolvant 0,4 mole d'éthylamine dans 2L d'eau. La mesure du pH de la solution S donne la valeur 12 à 25°C. On donne pKa du couple NH^{4+}/ NH_3 égal à 9,2.

Il t'est demandé de proposer ta démarche.

1) Définis :

1.1) un acide selon Brönsted ;

1.2) une base selon Brönsted ;

1.3) un couple acide/base.

2) Montre que l'éthylamine est une base faible.

3) Détermine :

3.1) le pKa du couple auquel appartient l'éthylamine ;

3.2) le domaine de prédominance de l'éthylamine et de son acide conjugué.

4) Dis, de ces deux couples, celui qui possède la base la plus forte.

EXERCICE 2

On mesure le pH de V = 50 ml d'une solution d'éthylamine de concentration C = 10–2 mol.L^{-1}. On trouve pH = 11,3. On ajoute alors Ve = 450 ml d'eau distillée à la solution précédente ; On trouve pH = 10,8. 1- Montrer que l'éthylamine est une base faible. 2- Écrire l'équation d'ionisation de l'éthylamine. 3- Calculer dans les deux cas, les concentrations des espèces chimiques présentes. 4- Déterminer, dans les deux cas, la quantité d'éthylamine ionisée. 5- En déduire l'effet de la dilution sur l'équilibre d'ionisation de l'éthylamine.

EXERCICE 3

1- Déterminer la masse d'acide benzoïque C6H5COOH que l'on doit dissoudre dans l'eau distillée pour obtenir Va = 200 cm3 d'une solution de concentration Ca = 0,1 mol.L^{-1} ?

2- Le pH de cette solution est égal à 2,6.

a) Calcule les concentrations des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.
b) L'acide benzoïque est-il un acide fort ou faible ?
c) Pouvait-on prévoir la réponse à la question précédente à partir de la seule donnée du pH ?

3- On prélève 10 cm3 de cette solution et on lui ajoute 5 cm3 d'une solution d'hydroxyde de sodium à 10–1 mol.L^{-1}. Le pH devient alors égal à 4,2.

Calcule les concentrations des différentes espèces chimiques présentes dans la solution.

EXERCICE 4

1- On mesure le pH d'une solution aqueuse d'acide acétique (acide éthanoïque) de concentration $Ca = 0,1$ mol/L. On trouve $pH = 2,9$.

a) Écris l'équation de dissociation de l'acide acétique dans l'eau.
b) Quel est le couple acido-basique mis en jeu ?

2-

a) fais l'inventaire de toutes les espèces chimiques présentes dans la solution.
b) Détermine la concentration de chacune de ces espèces chimiques.

3-

a) Calcule la constante d'acidité Ka du couple précédent.
b) Déduis en son pKa.

<u>DOCUMENTS de SOUTIEN AUX APPRENTISSAGES</u>

AREX Terminales C&D

EURIN GIE

Leçon 10 (TCE) 11 (TD)
REACTIONS ACIDE – BASE SOLUTION TAMPON

1) Situation d'apprentissage

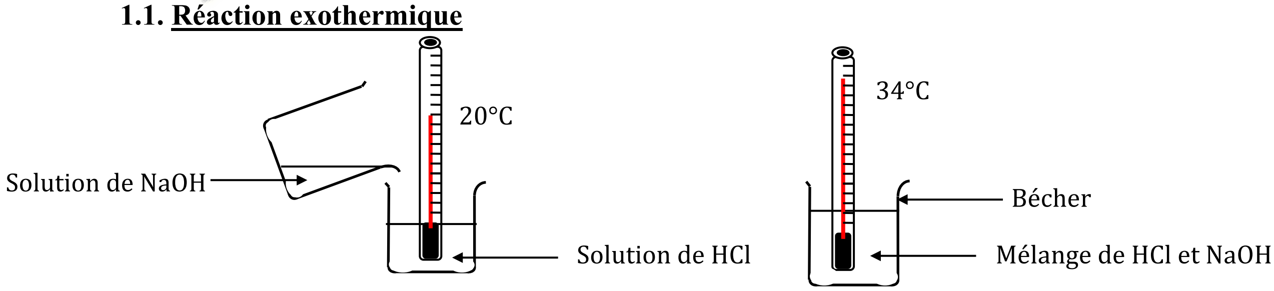
Deux élèves en classe de Terminale C au Lycée Moderne 2 de Man échangent avec le fils de leur tuteur qui est étudiant en agronomie. Ils apprennent que parmi les caractéristiques d'un sol, le pH joue un rôle important. Les meilleures conditions agronomiques sont au voisinage de la neutralité (pH voisin de 7) ; aussi corrige-t-on l'acidité d'un sol par des amendements : par exemple, le « chaulage » (apport de chaux) permet d'élever le pH d'un sol trop acide. Le lendemain, ils informent leurs camarades de classe. Voulant en savoir davantage, les élèves décident de connaître les caractéristiques de la réaction entre un acide et une base, de tracer la courbe de variation du pH au cours de la réaction et d'exploiter qualitativement et quantitativement la courbe de dosage.

2) Contenu de la leçon

I. Réaction entre un acide fort et une base forte

1. Nature de la réaction

1.1. Réaction exothermique



REACTION ENTRE HCL ET NAOH

La réaction entre un acide forte et une base forte est **exothermique.**

1.2. Réaction totale

Mélangeons dans un bécher, un volume $V_a = 20$ mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_a = 10^{-2}$ mol/L et de pH = 2 à un volume $V_b = 10$ mL d'une solution de soude de concentration $C_b = 10^{-2}$ mol/L. La mesure du pH du mélange donne pH = 2,5.

	Avant la réaction	Après la réaction
n (H_3O^+) mol	$C_a.V_a = 2.\ 10^{-4}$	$10^{-pH}\ (V_a + V_b) = 10^{-4}$
n (OH^-) mol	$C_b.\ V_b = 10^{-4}$	$\frac{Ke}{[H_3O^+]}.\ (V_a + V_b) = 10^{-13} \approx 0$

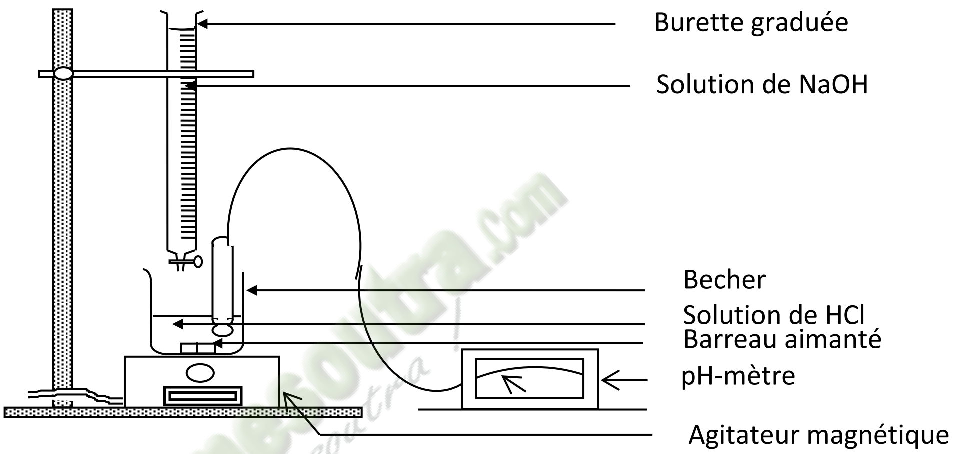
La quantité de matière de H_3O^+ ayant réagi est égale à la quantité de matière de OH^- ajoutée.
La réaction entre l'acide chlorhydrique et l'hydroxyde de sodium est totale.
La réaction entre un acide fort et une base forte est **totale**.
Son équation bilan s'écrit : $\mathbf{H_3O^+ + OH^- \longrightarrow 2\,H_2O}$

2. Etude de l'évolution du pH au cours de la réaction

2.1. Expérience

A 25°C, on verse à l'aide d'une burette graduée une solution de soude de concentration $C_a = 10^{-2}$mol/L sur V_a = 20 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration C_a inconnu.
On relève le pH du mélange au fur et à mesure.

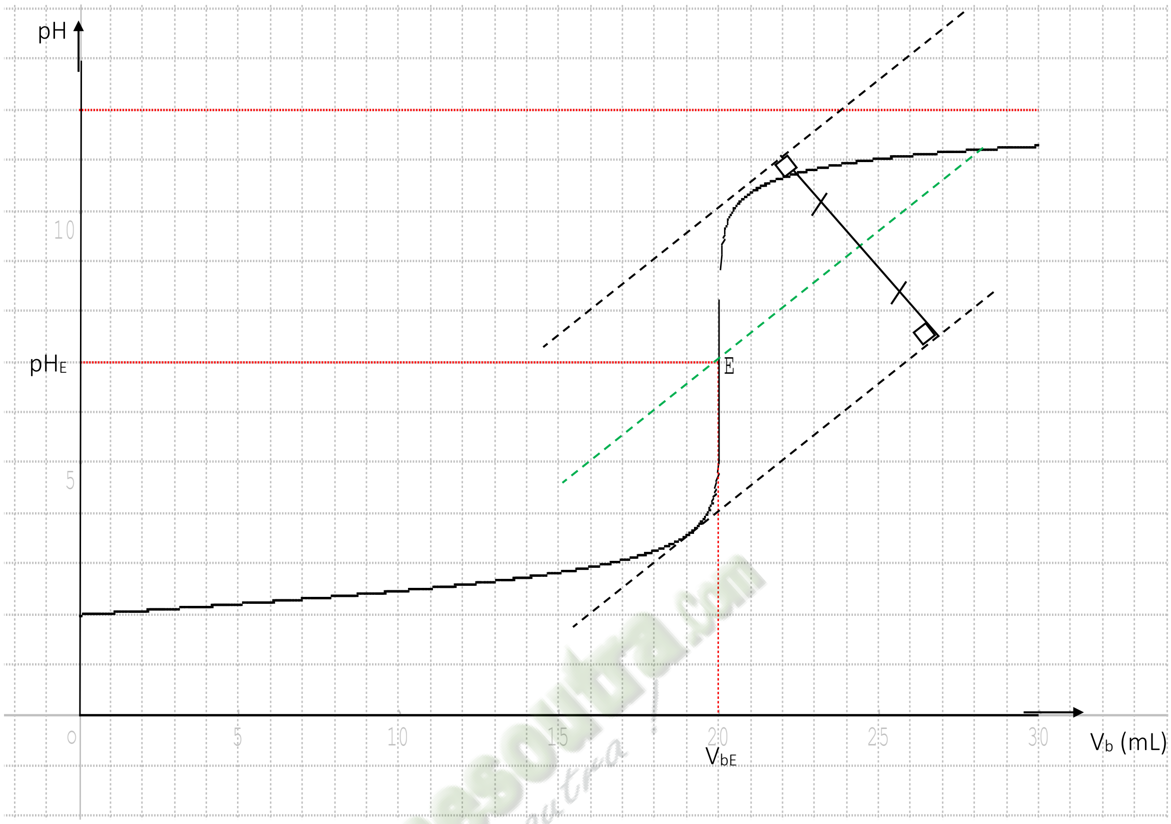
2.2. Montage expérimental



2.3 Tableau des mesures

Vb (mL)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	19,5	20	20,5	21	22	24	26	28	30
pH	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7	2,9	3,3	3,6	4,2	7	9,4	10,1	10,5	10,9	11	11,1	11,2

2.4. Tracé de la courbe pH = f (Vb)



COURBE D'EVOLUTION DU pH EN FONCTION V_b VERSE

2.5. Analyse de la courbe

La courbe est croissante, comporte trois parties et présente un point d'inflexion E.

1ère Partie : $0 \leq Vb \leq 19$ mL : le pH varie peu lors de l'addition de la solution d'hydroxyde de sodium. La courbe est quasi linéaire et présente une concavité tournée vers le haut.

2e Partie : 19 mL $\leq Vb \leq 21$ mL : On observe un « saut de pH », la courbe change de concavité et présente un point d'inflexion E.

3e Partie : $Vb > 21$ mL : Le pH varie très peu et la courbe tend vers une asymptote horizontale d'équation pH = pKe + log C_b. La concavité de la courbe est tournée vers le bas.

2.6. L'équivalence acido-basique

2.6.1. Définition de l'équivalence acido-basique

L'équivalence acido-basique est l'état du mélange des réactifs dans les proportions stœchiométriques indiquées par l'équation-bilan de la réaction.

2.6.2. Relation d'équivalence

A l'équivalence acido-basique, la quantité de matière d'acide (ions hydronium) introduite est égale à la quantité de matière de base (ions hydroxyde) ajoutée.

Soit : n (H_3O^+) = n (OH^-)

D'où : $\boxed{C_a . V_a = C_b . V_{bE}}$

2.6.3. Détermination graphique du point d'équivalence E

Le point d'équivalence se détermine à l'aide de la méthode des tangentes parallèles.

Les coordonnées du point d'équivalence sont :

$$E \begin{cases} V_{bE} = 20 \text{ mL} \\ pH_E = 7 \end{cases}$$

2.6.4. Composition du mélange à l'équivalence

- **Ions** : Na^+ ; Cl^- ; H_3O^+ et OH^-
- **Molécules** : H_2O
- $[Na^+] = \frac{C_b\ V_{bE}}{V_a + V_{bE}} = 5.\ 10^{-3}$ mol/L $[Cl^-] = \frac{C_a\ V_a}{V_a + V_{bE}} = 5.\ 10^{-3}$ mol/L
- ***Electroneutralité*** : $[Na^+] + [H_3O^+] = [Cl^-] + [OH^-]$ or $[Cl^-] = [Na^+]$

  D'où : $[H_3O^+] = [OH^-]$

  Produit ionique de l'eau : $Ke = [OH^-]\ .\ [H_3O^+]$

  Soit $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{Ke} = 10^{-7}$mol/L
- ***pH du mélange à l'équivalence*** : $pH = -\log [H_3O^+] = 7$

A l'équivalence acido-basique, on obtient une solution neutre de chlorure de sodium de concentration : $C = \frac{C_a\ V_a}{V_a + V_{bE}}$

Activité d'application

A l'aide d'une burette graduée, on verse dans $V_b = 50mL$ d'une solution d'hydroxyde de sodium, une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_a = 10^{-2}mol.L^{-1}$. On mesure le pH en fonction du volume V_a de la solution d'acide versé. Les valeurs correspondantes sont rassemblées dans le tableau suivant :

$V_a(mL)$	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11
pH	11.5	11.5	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3	11.2	11.2	11.1	11

$V_a(mL)$	12	13	14	15	16	16.25	16.5	16.75	17	17.5	18	20
pH	11	10.9	10.8	10.6	9.9	9.6	7.3	4.4	4.1	3.8	3.6	3.3

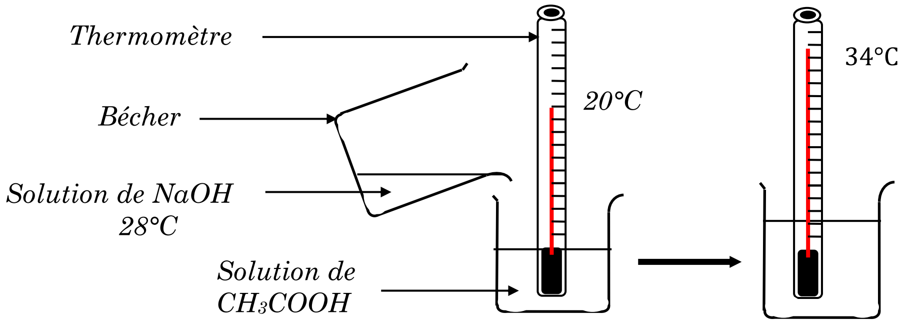
1. *Faire le schéma annoté du montage expérimental.*
2. *Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui a lieu.*
3. *Que peut-on dire du pH de la solution obtenue à l'équivalence à 25°C.*
4. *Tracer la courbe pH = f (V_a).*
   Echelle : 1cm pour une unité de pH et 1cm pour 2mL.
5. *Déterminer graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.*
6. *En déduire la concentration C_b de la solution d'hydroxyde de sodium.*
7. *Déterminer les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans mélange lorsque l'on a versé V_a = 10mL d'acide chlorhydrique.*
8. *Vers quelle limite tend la valeur du pH de la solution finale quand on ajoutera une très grande quantité de solution d'acide chlorhydrique.*

II. Réaction entre un acide faible et une base forte

1. Nature de la réaction

1.1 réaction exothermique

1.1.1 Expérience et observations



REACTION ENTRE CH_3COOH ET NAOH

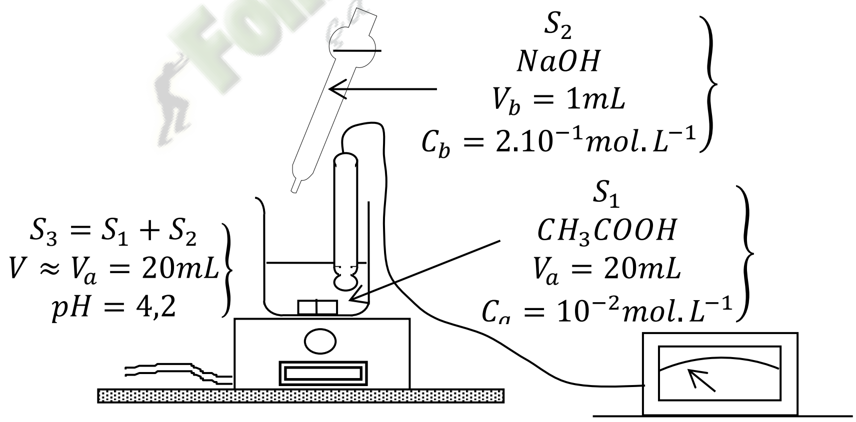
1.1.2 Conclusion

La réaction entre un acide faible et une base forte est exothermique.

1.2 Réaction totale

1.2.1 Expérience et résultats

A l'aide d'une pipette graduée, on verse Vb =1 mL de solution de soude de concentration Cb = 2.10^{-1} mol/L sur Va = 20 mL d'une solution d'acide éthanoïque de concentration Ca = 10^{-2} mol/L. le pH du mélange est égale à 4,2.



1.2.2 Exploitation des résultats

- Inventaire des espèces chimiques
  Ions : H_3O^+ ; OH^- ; CH_3COO^- ; Na^+
  Molécules : H_2O ; CH_3COOH
- Calcul des concentrations :
  $[H_3O^+] = 10^{-pH}$; $[H_3O^+] = 10^{-4,2}$ = $\underline{6,3.\ 10^{-5}\ mol/L}$
  $[OH^-] = 10^{pH-14}$; $[OH^-]$ = $\underline{1,6.\ 10^{-10}\ mol/L}$
  $[Na^+] = \frac{C_bV_b}{V_a+V_b} \approx \frac{C_bV_b}{V_a}$ car $V_b \ll V_a$ donc $[Na^+]$ = $\underline{2.\ 10^{-3}\ mol/L}$
  Equation de l'électroneutralité : $[CH_3COO^-] + [OH^-] = [H_3O^+] + [Na^+]$
  Or $[OH^-] \ll [H_3O^+]$ et $[H_3O^+] \ll [Na^+]$
  Donc $[CH_3COO^-] \approx [Na^+]$ = $\underline{2.\ 10^{-3}\ mol/L}$
  Conservation de la quantité de matière : $\frac{C_aV_a}{V_a+V_b} \approx C_a = [CH_3COO^-] + [CH_3COOH]$

Car $V_b \ll V_a$
Donc : $[CH_3COOH] = C_a - [CH_3COO^-]$; $[CH_3COOH]$ = <u>$8.\ 10^{-3}$ mol/L</u>

<u>Composition des solutions</u> :

	Avant mélange	Après mélange
$n(CH_3COOH)$ (mol)	$C_aV_a = 10^{-3}$	$[CH_3COOH].V_a = 0{,}8.\ 10^{-3}$
$n(OH^-)$ (mol)	$C_bV_b = 2.\ 10^{-4}$	$[OH^-].V_a = 1{,}6.\ 10^{-11}$ mol/L

1.2.3 <u>Interprétation</u>

- Les ions OH^- introduits ont quasiment tous réagi : la réaction est donc totale
- La quantité de CH_3COOH disparue est égale à celle de OH^- introduite et disparue : la réaction se déroule donc entre ces deux espèces.

1.2.4 <u>Conclusion</u>

La réaction entre l'acide éthanoïque et la soude est totale et se déroule entre l'acide éthanoïque et l'ion hydroxyde. Son équation-bilan s'écrit :

$$CH_3COOH + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_2O$$

1.3 <u>Conclusion</u>

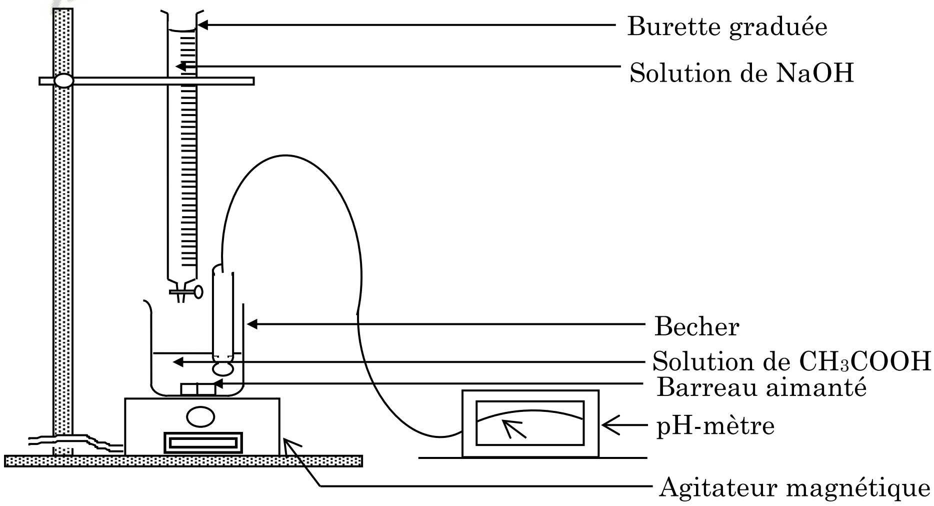
La réaction entre un acide faible et une base forte est exothermique et totale. L'équation – bilan est :

- Acide faible de type AH :
  $AH + OH^- \longrightarrow A^- + H_2O$
- Acide faible de type BH^+
  $BH^+ + OH^- \longrightarrow B + H_2O$

2. <u>Evolution du pH au cours de la réaction</u>

A 25°C, on verse à l'aide d'une burette graduée, une solution de soude de concentration $C_b = 0{,}1$ mol/L sur un volume Va = 20mL d'acide éthanoïque de concentration Ca inconnue. On relève le pH du mélange au fur et à mesure.

2.1. *<u>Dispositif expérimental</u>*



SCHEMA DU DISPOSITIF DE DOSAGE pH MÉTRIQUE

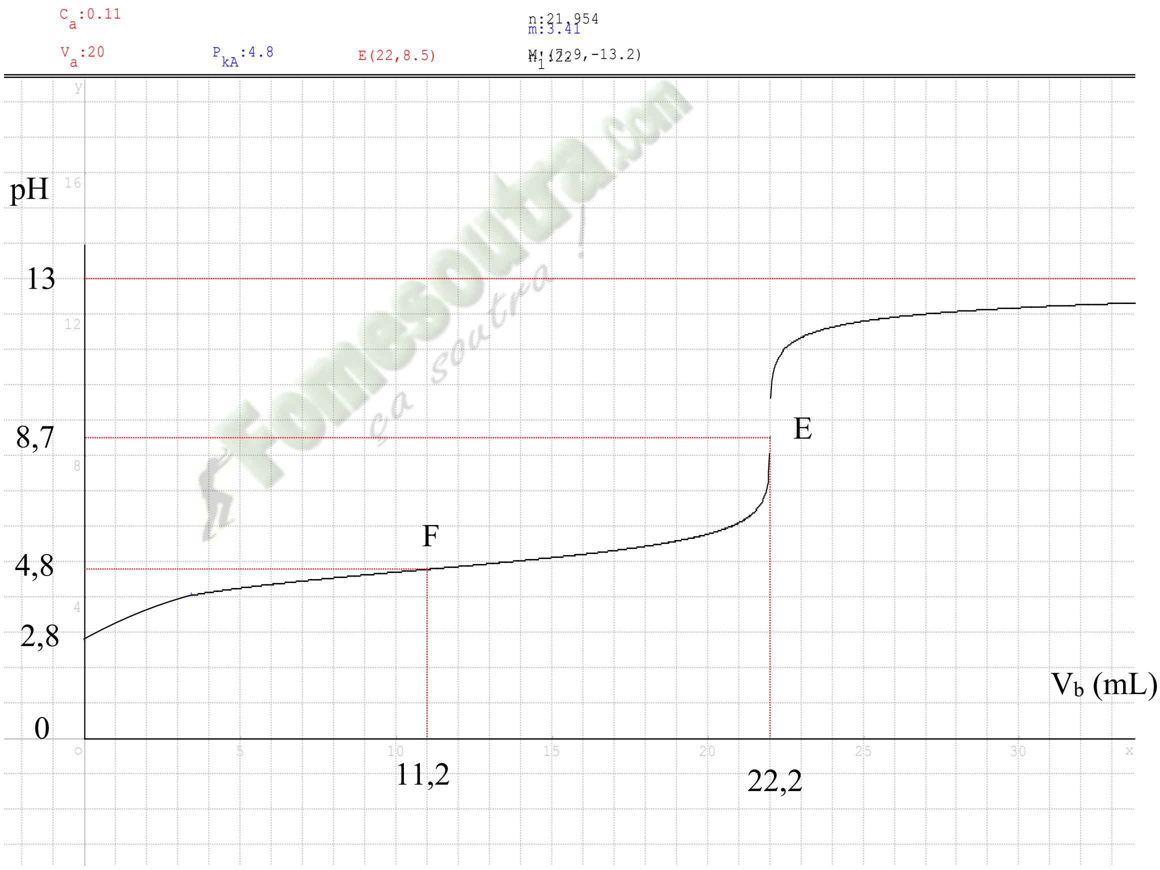
2.2. <u>Tableau des mesures</u>

A chaque volume de soude versé, on mesure le pH du mélange. Les valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous :

V_b (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH	2,8	3,3	3,6	3,8	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9

15	16	17	18	19	20	21	21,5	22	22,5	23	24	25	26	27
4,9	5	5,1	5,2	5,3	5,5	5,9	6,2	7	10,7	11,2	11,6	11,8	11,9	12

2.3. <u>Courbe de variation du pH en fonction du volume de soude versé.</u>



2.4. <u>Exploitation de la courbe</u>

La courbe est <u>croissante</u>. Elle comporte <u>quatre (04) parties</u>, trois (03) concavités et donc présente <u>deux points d'inflexion E et F</u>.

- $0 \leq V_b \leq 4$ mL : Le pH croît rapidement. La concavité de la courbe est tournée vers le bas.
- 4 mL $\leq V_b \leq$ 21 mL : Le pH varie peu, il croît de façon quasi linéaire avec un changement de concavité. La courbe présente un point d'inflexion **F** appelé point de <u>***demi-équivalence***</u>.
- 21 mL $\leq V_b \leq$ 23 mL : On observe un saut de pH avec changement de concavité de la courbe. La courbe présente un second point d'inflexion **E** : le <u>***point d'équivalence***</u>.
- 23 mL $\leq V_b \leq$ mL : La courbe présente une asymptote horizontale d'équation
  pH = pKe + log C_b. Le pH du mélange tend vers celui de la base forte (NaOH).

2.5 . Le point d'équivalence E

- ***Relation d'équivalence acido-basique :***
  n (CH_3COOH) = n (OH^-) soit **$C_a V_a = C_b V_{bE}$**

- ***Détermination graphique des coordonnées de E :***
  A l'aide de la méthode des tangentes parallèles, on obtient :
  E (V_{bE} = 22,2 ml ; pH_E = 8,7)

Remarque : *A l'équivalence acido-basique, on a : pH = 8,7. La solution est donc basique.*

2.6. Composition du mélange à l'équivalence

- *Inventaire des espèces chimiques* :

Ions : H_3O^+, OH^- ; Na^+ ; CH_3COO^- ;
Molécules : H_2O ; CH_3COOH

- *Calcul des concentrations* :

$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 2.\ 10^{-9}$ mol/L ; $[OH^-] = 10^{pH-14} = 5.\ 10^{-6}$mol/L

$[Na^+] = \frac{C_b V_{be}}{V_a + V_{bE}} =$

Relation l'électroneutralité : $[Na^+] + [H_3O^+] = [OH^-] + [CH_3COO^-]$

Or $[H_3O^+] >> [OH^-]$; $[CH_3COO^-] = [Na^+] - [OH^-]$

De plus, $[Na^+] >> [OH^-]$

D'où : $[CH_3COO^-] = [Na^+]$

Conservation de la matière : $[CH_3COOH] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_{bE}} - [CH_3COO^-]$

Soit $[CH_3COOH] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_{bE}} - ([Na^+] - [OH^-])$

Or $C_a V_a = C_b V_{bE}$; D'où $[CH_3COOH] = [OH^-] = 5.\ 10^{-6}$ mol/L

Conclusion **:** A l'équivalence acido-basique, les espèces majoritaires sont : CH_3COO^- et Na^+. On a donc une solution aqueuse d'éthanoate de sodium d'où le caractère basique de la solution à l'équivalence.

2.7. Le point de demi-équivalence F :

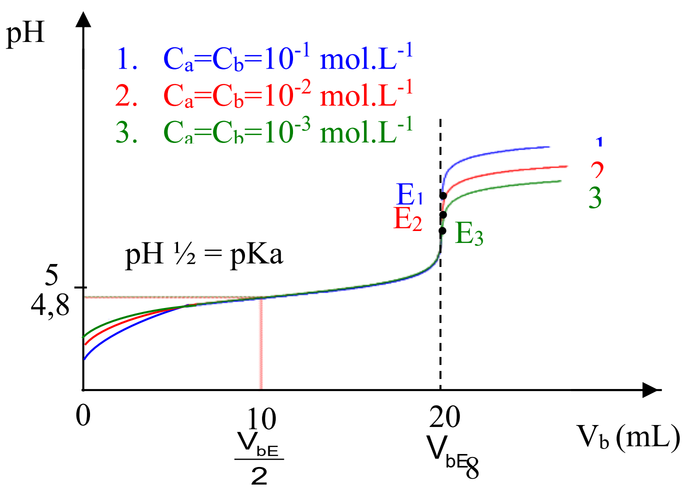
A la demi-équivalence, $V_{bF} = \frac{1}{2} V_{bE}$.

On obtient ainsi : $F\begin{cases} V_{bE} = 11{,}1 \text{ mL} \\ pH_E = 4{,}8 \end{cases}$

A la demi-équivalence le pH de la solution est égale au pKa du couple acide / base mis en jeu.

Remarque : *Le point de demi-équivalence permet de déterminer graphiquement le pKa du couple.*

3. Influence des concentrations sur l'allure de la courbe



- Le point d'équivalence change
- Le point de demi-équivalence reste le même
- Le saut de pH augmente avec la concentration

III. Réaction entre un acide fort et une base faible

2.1. Caractéristiques de la réaction

La réaction entre un acide fort et une base faible est ***totale*** et ***exothermique***.
Son équation-bilan s'écrit :

- Base faible de type A^- : $\mathbf{A^- + H_3O^+ \longrightarrow AH + H_2O}$
- Base faible de type B : $\mathbf{B + H_3O^+ \longrightarrow BH^+ + H_2O}$

2.2 Action de l'acide chlorhydrique sur l'ammoniac

Dans un bécher, on introduit V_B = 20 mL d'une solution aqueuse d'ammoniac de concentration C inconnue. A l'aide d'une burette graduée, on y ajoute un volume V (en mL) d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration C' = 0,14 mol/L puis on mesure au fur et à mesure le pH du mélange. On obtient alors le tableau de mesures suivant :

V (mL)	0	6	10	12	14	14,2	14,4	14,5	14,8	15	15,2	16	18	20	30
pH	11,1	9,5	9	8,6	7,7	7	6,5	6	5	4	2,8	2,6	2,2	2	1,6

1. Ecris l'équation – bilan de la réaction acido-basique.
2. Trace la courbe pH = f (V).
Echelle : 1 cm ↔ 2 mL et 1 cm pour une unité de pH.
3. Déduis de cette courbe :
   3.1 Les coordonnées du point d'équivalence.
   3.2 La valeur du pKa du couple concerné.
   3.3 La concentration C de la solution d'ammoniac.
   3.4 Pourquoi la solution est acide à l'équivalence.

IV. Solutions tampons

1. Composition d'une solution tampon

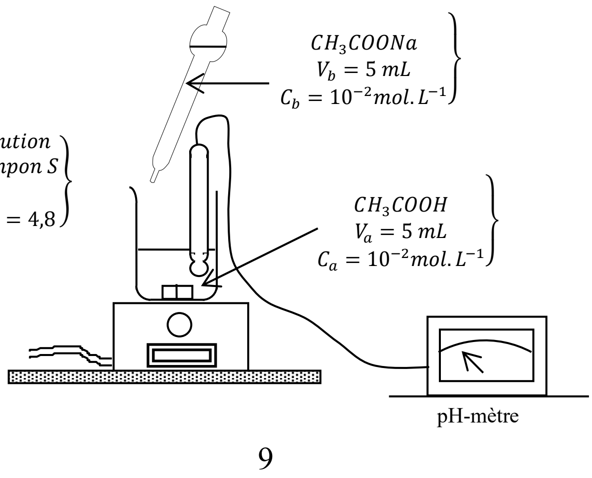
Au cours de la réaction entre un acide faible et une base forte ou d'une réaction entre une base faible et un acide fort, la solution obtenue à la demi-équivalence est appelée ***solution tampon***. Cette solution est telle que :

- pH = pKa du couple acide/base en présence dans la solution.
- [Acide] = [Base conjuguée]

Une solution tampon est donc constituée d'un ***mélange équimolaire*** d'un acide et de sa base conjuguée.

2. Propriétés d'une solution tampon

2.1. Expérience et observations



	pH
Tube témoin	4,8
Quelques gouttes de NaOH à 0,1 mol/L	4,9
Quelques gouttes de HCl à 0,1 mol/L	4,7
Quelques cm^3 d'eau	4,82

2.2. **Conclusion**

Une solution tampon est une solution aqueuse dont le pH :

- varie peu suite à une dilution modérée.
- augmente peu suite à l'addition modérée d'une base.
- diminue peu suite à l'addition modérée d'un acide.

3. **Préparation d'une solution tampon**

Il existe trois méthodes de préparation d'une solution tampon :

3.1 Mélange d'un acide faible A et d'une base forte jusqu'à la demi-équivalence.

- $n(OH^-) = \frac{n\,(A)}{2}$ soit $Cb.Vb = \frac{CaVa}{2}$

Détermine le volume Vb d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 0{,}5$ mol.L^{-1} que l'on doit ajouter à un volume Va = 20 mL d'une solution d'acide éthanoïque (pKa = 4,8) de concentration $C_a = 0{,}1$ mol.L^{-1} pour obtenir une solution tampon de pH = 4,8.

Solution

Pour avoir une solution tampon de pH = 4,8, il faut que : $[CH_3COOH] = [CH_3COO^-]$.

L'équation-bilan de la réaction est : $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

Ainsi: $n(OH^-) = \frac{1}{2}\, n\,(CH_3COOH)$ => $\mathbf{C_b.\ V_b = \frac{Ca.Va}{2}}$

Soit : $\mathbf{V_b = \frac{Ca.Va}{2\,Cb}}$. $\mathbf{V_b = 2\ mL}$

3.2 ***Mélange d'un acide fort et d'une base faible jusqu'à la demi-équivalence***.

- $n(H_3O^+) = \frac{n\,(B)}{2}$ soit $Ca.Va = \frac{Cb.Va}{2}$

Activité d'application

Détermine le volume Va d'acide chlorhydrique de concentration Ca = 0,4 mol.L^{-1} que l'on doit ajouter à un volume Vb = 40 mL d'une solution d'ammoniac (pKa = 9,2) de concentration Cb = 0,2 mol.L^{-1} pour obtenir une solution tampon de pH = 9,2.

Solution :

Pour avoir une solution tampon de pH = 9,2 ; il faut que : $[NH_3] = [NH_4^+]$.

L'équation-bilan de la réaction est : $NH_3 + H_3O^+ \rightarrow NH_4^+ + H_2O$

Ainsi : $n(NH_4^+) = n(H_3O^+) = \frac{1}{2}\, n_{init}\,(NH_3)$ => $\mathbf{C_a.\ V_a = \frac{Cb.Vb}{2}}$

Soit : $\mathbf{V_a = \frac{Cb.Vb}{2\,Ca}}$. $\mathbf{V_a = 10\ mL}$

3.3 Mélange équimolaire d'un acide faible (A) et de sa base conjuguée (B).

- n(A) = n (B) soit CaVa = CbVb

Activité d'application

Détermine le volume Va d'acide méthanoïque de concentration $C_a = 0{,}1$ mol.L^{-1} et le volume Vb de méthanoate de sodium de concentration $C_b = 0{,}3$ mol.L^{-1} qu'il faut mélanger pour obtenir un volume V = 1 L de solution tampon de pH = 3,8 . Le pKa du couple A/B est de 3,8.

Solution :

Il faut que : $C_a.V_a = C_b.V_b$ et $V_a + V_b = V = 1$ L.

Soit : $V_a = \frac{Cb.Vb}{Ca}$ et $V_a = \frac{Cb.(V-Va)}{Ca}$; on a : Va = 750 mL

Ainsi donc : $V_b = V - V_a = 1000 - 750 = 250$ mL
Il faut donc mélanger Va = 750 mL d'acide méthanoïque et Vb = 250 mL de méthanoate de sodium pour obtenir 1L de solution tampon de pH = 9,2.

4. <u>Intérêt d'une solution tampon</u>

- En chimie :
  - l'étalonnage de pH-mètres
  - le contrôle du pH lors des réactions d'oxydoréductions
- En biologie
  - favorise les réactions enzymatiques des médicaments
  - favorise l'assimilation des nutriments par le sang (atténue la saveur acide du sang).

Leçon 11 (TCDE) DOSAGE ACIDO - BASIQUE

1) Situation d'apprentissage

Regardant un documentaire à la Télévision ivoirienne chaîne 1, une élève de la classe de Terminale C du Lycée d'Agboville apprend que le vinaigre utilisé dans les foyers pour la vinaigrette est constitué essentiellement d'acide éthanoïque à 8°. Voulant vérifier cette information, elle et ses camarades de classe décident de réaliser le dosage du vinaigre et de déterminer sa concentration molaire volumique.

2) CONTENU DE LA LECON

I. Généralités

1. Protocole expérimental

On prélève un volume Va de solution à doser que l'on verse dans un Erlenmeyer. On y ajoute quelques gouttes d'un indicateur coloré approprié. A l'aide d'une burette graduée, on y verse progressivement une solution titrante jusqu'à apparition d'un nouvelle couleur. On relève alors le volume (Véq) de solution versée.

2. Principe de dosage et technique de dosage

Un dosage est une technique expérimentale qui permet de déterminer la concentration molaire C inconnue d'une espèce chimique dans une solution.

De façon général, on fait réagir une espèce chimique A, de concentration C_A inconnue sur une espèce chimique B de concentration C_B connue, selon la réaction chimique :
$A + B \rightarrow AB$

Cette réaction chimique entre A et B doit être unique, rapide et totale.

Ainsi, on peut utiliser les réactions acido-basiques suivantes :

- **Acide fort – base forte**
  $H_3O^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

- **Acide faible – base forte**
  $AH + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$
  $BH^+ + OH^- \rightarrow B + H_2O$

- **Acide fort – base faible**
  $H_3O^+ + A^- \rightarrow AH + H_2O$
  $H_3O^+ + B \rightarrow BH^+ + H_2O$

Il existe deux (02) types de dosages acido-basiques :

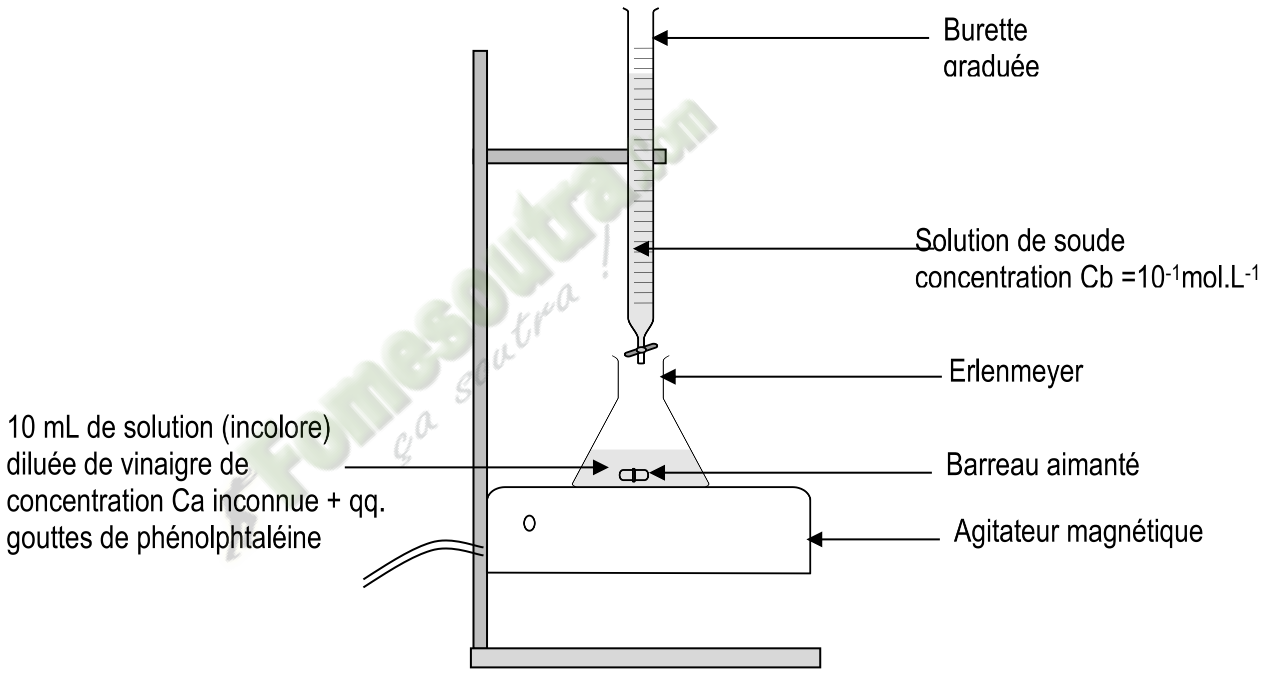
- Le dosage pH-métrique
- Le dosage colorimétrique

II. **Dosage colorimétrique d'une solution commerciale de vinaigre**

1. Préparation d'une solution diluée de vinaigre

On prélève V_0 = 10mL de la solution commerciale de vinaigre 8° de concentration C_0. On le dilue 10 fois avec de l'eau distillée. Cette solution de vinaigre diluée de concentration C_a a un pH égale 2,9.

2. montage expérimental



3. Expérience et observations

. A l'aide d'une burette graduée, on verse goutte à goutte de la soude de $C_b = 10^{-1}$ mol/L dans la solution de vinaigre dilué, l'agitateur faisant le mélange. Au fur et à mesure de l'ajout de soude, la couleur du mélange passe brusquement de l'incolore au rose violacé et le reste. Le mélange passe au rose violacé lorsque le volume versé est de 13mL . Le pH du mélange est alors égale 8,8.

4. **Interprétation**

Quand la couleur du mélange devient rose violacée, la réaction entre le vinaigre et la soude est terminée : on est à l'équivalence acido-basique.

Alors : n_A (vinaigre) = n_B (soude)

$C_A.V_A = C_B.V_{Béq} \iff C_A = C_B.V_{Béq}/V_A \iff C_A = \frac{CB.VBéq}{VA} = 0{,}13\ mol.L^{-1}$

5. Le choix de l'indicateur coloré

Le pH à l'équivalence de ce dosage vaut environ 8 ,8 et la zone de virage de la phénolphtaléine se situe entre 8,2 et 10. On constate que : 8,2 < 8, 8 < 10, par conséquent la phénolphtaléine est bien l'indicateur coloré approprié à ce dosage.

6. Concentrations molaires volumiques

6.1 concentration de la solution diluée

A l'équivalence : $C_A.V_A = C_B.V_{Béq}$ <=> $C_A = C_B.V_{Béq}/V_A$ <=> $C_A = 0{,}13\ mol.L^{-1}$

6.2 concentration C_0 de la solution commerciale

$C_0 = 10\ Ca = 1{,}3\ mol.L^{-1}$

6.3 concentrations volumiques des espèces chimiques à l'équivalence

6.3.1 Inventaire des espèces chimiques présentes dans le mélange :

- Cations : H_3O^+ ; Na^+ ;
- Anions : OH^- ; CH_3COO^- ;
- Molécules : H_2O ; CH_3COOH

6.3.2 Concentrations des espèces chimiques :

- $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 1{,}6.10^{-9}\ mol.L^{-1}$
- $[OH^-] = 6{,}25.10^{-6}\ mol.L^{-1}$
- $[Na^+] = \frac{C_bV_b}{V_a+V_b} = 56.10^{-3} mol/L$

Electroneutralité : $[CH_3COO^-] = [Na^+] + [H_3O^+] - [OH^-] \approx [Na^+] = 56.10^{-3} mol/L$

Conservation de la Matière : $\frac{C_aV_a}{V_a+V_b} = [CH_3COO^-] + [CH_3COOH]$

à l'équivalence : $C_a.V_a = C_b.V_b$

alors $[CH_3COOH] = \frac{C_aV_a}{V_a+V_b} - ([Na^+] - [OH^-]) \approx [OH^-] = 6{,}25.10^{-6} mol/L$

7. Intérêt du dosage

Doser une espèce chimique présente dans une solution consiste à déterminer sa concentration molaire volumique dans cette solution.

Activité d'application

INDICATEURS COLORES	TEINTE ACIDE	ZONE DE VIRAGE	TEINTE BASIQUE
HELIANTHINE	Rouge	3,1 – 4,4	jaune
BLEU DE BROMOTHYMOL (BBT)	jaune	6 – 7,6	Bleu
PHENOLPHTALEINE	incolore	8,2 – 10	Rose violacé

Parmi les indicateurs ci-dessus, quels sont ceux qui sont susceptibles d'être utilisés pour un dosage :

1. D'un acide fort par une base forte
2. D'une base forte par un acide fort
3. D'un acide faible par une base forte
4. D'une base faible par un acide fort.

EXERCICE D'APPLICATION

Ton voisin de classe réalise le dosage d'une solution d'acide benzoïque de volume $Va = 50$ mL par une solution de soude de concentration molaire $Cb = 10^{-1}$ mol/L. La phénolphtaléine présente dans le mélange vire au rose violacé lorsque le volume de soude versé est $Vb = 20$ mL.

1.1 Fais le schéma du dispositif expérimental.
1.2 Précise le rôle de la phénolphtaléine.
1.3 Ecris l'équation bilan de la réaction acido-basique qui a lieu.
1.4 Détermine la concentration molaire volumique de la solution d'acide benzoïque.
1.5 Précise la nature (acide, basique ou neutre) du mélange à l'équivalence.

DOCUMENTS DE SOUTIEN AUX APPRENTISSAGES

- AREX Terminales C&D
- EURIN GIE Terminales C&D