

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : MECANIQUE</b>	
<b>Compétence 1 : Traiter une situation se rapportant à mécanique</b>	
<b>Titre de la leçon : CINÉMATIQUE DU POINT</b>	
<b>Durée : 10H (5 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Les expressions : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Du vecteur-position ;</li> <li>- Du vecteur- vitesse d'un point dans un repère donné ;</li> <li>- Du vecteur- accélération d'un point dans un repère donné ;</li> <li>- De l'accélération normale ;</li> <li>- De l'accélération tangentielle.</li> </ul>
Déterminer	Les équations horaires des mouvements: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rectiligne et uniforme ;</li> <li>- Circulaire et uniforme ;</li> <li>- Rectiligne et uniformément varié.</li> </ul>
Utiliser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les équations horaires <math>x(t)</math>, <math>v_x(t)</math> et <math>\theta(t)</math> des différents mouvements.</li> <li>- les relations : <math>\Delta v_x^2 = 2a\Delta x</math>; <math>v = R\omega</math>; <math>S = R\theta</math>; <math>a_N = \frac{v^2}{R}</math>.</li> </ul>
Exploiter	Un enregistrement.

**Situation d'apprentissage**

Au cours d'une évaluation en athlétisme au lycée, un élève de la Tle C/D parcourt un trajet constitué d'une piste rectiligne et d'une autre curviligne. Sur la piste rectiligne, il démarre sans vitesse initial, 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.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Fiches n°4 et 8 (enregistrements de mouvements d'un solide, classe de seconde) - Table avec mobiles autoporteurs - Banc à coussin d'air	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Repérage d'un point mobile**

- 1.1- Le référentiel
- 1.2- Repère d'espace et de temps
- 1.3- Trajectoire
- 1.4- Vecteur position
- 1.5- Abscisse curviligne

**2- Vecteurs vitesses**

- 2.1- Vecteur vitesse moyenne  $\vec{v}_m$
- 2.2- Vecteur vitesse instantanée  $\vec{v}$
- 2.3- Expression de  $\vec{v}$  à partir des coordonnées cartésiennes
- 2.4- Expression de  $\vec{v}$  à partir de l'abscisse curviligne
- 2.5- Représentation de  $\vec{v}$  sur un enregistrement

**3- Vecteur accélération**

- 3.1- Vecteur accélération moyenne
- 3.2- Vecteur accélération instantanée
- 3.3- Expression de  $\vec{a}$  en coordonnées cartésiennes
- 3.4- Expression de  $\vec{a}$  dans la base curviligne de Frénet

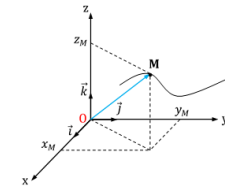
**4- Expression de  $\vec{V}$  et  $\overline{OM}$  connaissant  $\vec{a}$  et les conditions initiales****5- Etude de quelques mouvements particuliers**

- 5.1- Mouvement rectiligne
  - **Mouvement rectiligne uniforme**
  - **Mouvement rectiligne uniformément varié**
- 5.2- Equations horaires de mouvement
- 5.3- Mouvement circulaire uniforme
  - 5.3.1- **Equations horaires**
  - 5.3.2- **Expression de l'accélération dans la base de frénet**

**Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>CINÉMATIQUE DU POINT</b>
				<p>La cinématique est l'étude des mouvements dans un repère donné, indépendamment des causes qui les produisent.</p> <p><b>1. Repérage d'un point mobile</b></p> <p>1.1- <u>Le référentiel</u></p> <p>Le référentiel est un solide (système) indéformable fixe par rapport auquel, on étudie les mouvements des autres objets. N.B : Tout objet est immobile dans son propre référentiel.</p> <p><b><u>Exemples de référentiel :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b><u>Référentiel de Copernic ou héliocentrique</u></b> : (Origine centre du système solaire). Il est utilisé pour étudier le mouvement des planètes autour du soleil.</li> <li>✓ <b><u>Référentiel géocentrique</u></b> : (Origine centre de la terre), utilisé pour décrire le mouvement des satellites de la terre.</li> <li>✓ <b><u>Référentiel terrestre</u></b> : (lié à la terre). Il est utilisé pour l'étude des mouvements à la surface de la terre. (Arbre, mur, ...).</li> </ul> <p><b><u>Remarque :</u></b> Tout solide fixe par rapport à la terre est un référentiel terrestre. A chacun de ces référentiels, on associe un repère d'espace et de temps.</p> <p>1.2- <u>Repère d'espace et de temps</u></p> <p>Le repère d'espace est constitué d'un système d'axes le plus souvent orthonormé, muni d'une origine et d'une base. On lui associe un repère de temps constitué d'une origine des temps (<math>t_0</math>) et une unité de durée (la seconde). Une action se produit à un instant donné, repéré par une date <math>t</math>.</p> <p><b><u>Exemples:</u></b></p>

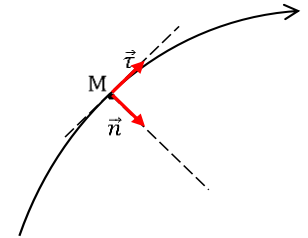
✓ Le repère cartésien :  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ .



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

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

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



### 1.3- Trajectoire

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

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

### 1.4- Vecteur position

Dans un repère cartésien  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  la position d'un point mobile  $M$  est définie par son vecteur position :  $\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ .

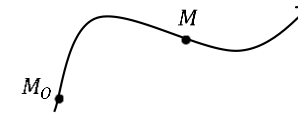
✓ Si le mobile  $M$  est immobile dans ce repère, ses coordonnées sont indépendantes du temps.

✓ Si  $M$  est en mouvement dans ce repère, ses coordonnées sont en fonction du temps. Ainsi  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$  sont appelées équations horaires ou équations paramétriques du mouvement.

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

### 1.5- Abscisse curviligne

Le repère est lié à la trajectoire du mobile. À chaque instant, le mobile est repéré par la mesure algébrique de l'arc  $\widehat{M_0M}$  appelée abscisse curviligne et notée  $s(t)$

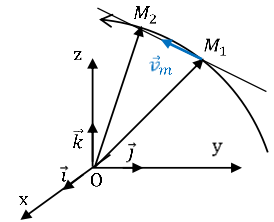


$$s(t) = \text{mes } \widehat{M_0M}$$

## 2. Vecteurs vitesses

### 2.1- Vecteur vitesse moyenne $\vec{v}_m$

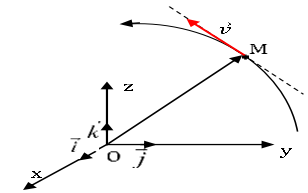
Il est défini par :  $\vec{v}_m = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{t_2 - t_1} = \frac{\overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}}{t_2 - t_1}$



### 2.2- Vecteur vitesse instantanée $\vec{v}$

Il se détermine à partir du vecteur-vitesse moyenne du mobile entre deux positions  $M_1(t_1)$  et  $M_2(t_2)$  très proches.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \overrightarrow{OM}}{\Delta t} \right) = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$



Le vecteur vitesse instantanée est égale à la dérivée du vecteur position par rapport au temps :  $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$

Caractéristiques :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{direction : tangente à trajectoire en } M \\ \text{sens : celui du mouvement} \\ \text{valeur : } v \end{array} \right.$

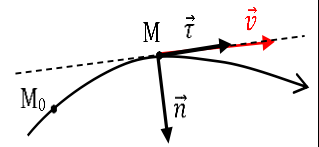
### 2.3- Expression de $\vec{v}$ à partir des coordonnées cartésiennes

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

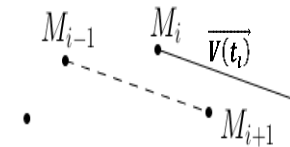
On pose  $\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \dot{x} \\ \frac{dy}{dt} = \dot{y} \\ \frac{dz}{dt} = \dot{z} \end{array} \right. \leftrightarrow \vec{v} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k}$  de valeur :  $v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$

2.4- Expression de  $\vec{v}$  à partir de l'abscisse curviligne

La trajectoire est orientée dans le sens du mouvement. On a :  $s(t) = \widehat{M_0M}$ ;  $v = \frac{ds}{dt} = \dot{s} \leftrightarrow \vec{v} = \dot{s}\vec{\tau} = v\vec{\tau}$

2.5- Représentation de  $\vec{v}$  sur un enregistrement

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

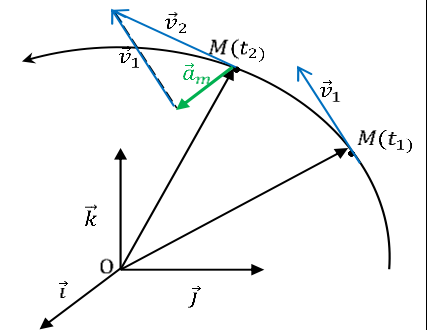


$$\vec{v}(t_i) = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2\tau}$$

3. Vecteur accélération3.1- Vecteur accélération moyenne

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

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

3.2- Vecteur accélération instantanée

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right) \text{ soit } \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \overrightarrow{OM}}{dt^2}$$

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

3.3- Expression de  $\vec{a}$  en coordonnées cartésiennes

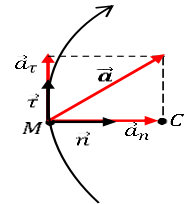
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$$

La valeur de  $\vec{a}$  est :  $a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}$  en (m/s<sup>2</sup>)

3.4- Expression de  $\vec{a}$  dans la base curviligne de Frénet

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\vec{n}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{\tau} = \frac{dv}{dt} : \text{Accélération tangentielle} \\ a_n = \frac{v^2}{R} : \text{Accélération normale} \end{array} \right.$$



#### 4. Expression de $\vec{V}$ et $\overline{OM}$ connaissant $\vec{a}$ et les conditions initiales

Soit un mobile (M) de vecteur accélération  $\vec{a}$ , ayant à la date  $t = 0s$  : le vecteur position  $\overline{OM}_0$  et le vecteur vitesse  $\vec{V}_0$

$$\text{On sait que : } \overline{OM} \leftrightarrow \vec{V} = \frac{d\overline{OM}}{dt} \leftrightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

✓ Si  $\vec{a} = \vec{0}$  : alors Vecteur vitesse :  $\vec{V} = \vec{C}t = \vec{V}_0$  ; Vecteur position  $\overline{OM} = \vec{V}_0 t + \overline{OM}_0$ .

✓ Si  $\vec{a} = \vec{C}t \neq \vec{0}$  : alors Vecteur vitesse :  $\vec{V} = \vec{a} t + \vec{V}_0$  ; Vecteur position  $\overline{OM} = \frac{1}{2}\vec{a} t^2 + \vec{V}_0 t + \overline{OM}_0$

**Remarque** : Pour passer d'une relation vectorielle à une ou plusieurs relations algébriques :

- On choisit un axe,
- On remplace chaque vecteur par sa coordonnée sur l'axe choisi.

Exemple :  $\overline{OM} = \frac{1}{2}\vec{a} t^2 + \vec{V}_0 t + \overline{OM}_0$

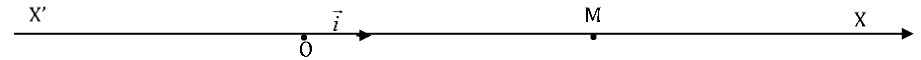
Sur (0x) :  $X = \frac{1}{2}a_x t^2 + V_{0x} t + X_0$

Sur (0y) :  $Y = \frac{1}{2}a_y t^2 + V_{0y} t + Y_0$

#### 5. Etude de quelques mouvements particuliers

5.1- Mouvement rectiligne

Un point mobile est animé d'un mouvement rectiligne si sa trajectoire est une droite.



Dans le repère  $(O, \vec{i})$  on a :  $\overrightarrow{OM} = x \cdot \vec{i}$ ,  $\vec{v} = \dot{x}\vec{i} = v_x \vec{i}$  et  $\vec{a} = \dot{v}_x \vec{i} = a_x \vec{i}$ .  
Les vecteurs  $\overrightarrow{OM}$ ,  $\vec{v}$  et  $\vec{a}$  sont colinéaires.

➤ **Mouvement rectiligne uniforme**

Dans ce cas : la trajectoire est une droite et le vecteur vitesse est constant ( $\vec{v} = \vec{v}_0 = \overline{\text{cte}}$ ).

Equations horaires de mouvement :

$x = v_0 t + x_0$  où  $x_0$  est l'abscisse de M à la date  $t = 0$

En résumé, dans un mouvement rectiligne uniforme d'axe X'X, on a :

$$\begin{cases} x = v_0 t + x_0 \\ v_x = v_0 \\ a_x = 0 \end{cases} \quad x_0, x, v_x, v_0 \text{ sont des grandeurs algébriques}$$

➤ **Mouvement rectiligne uniformément varié**

Dans ce cas : la trajectoire est une droite et le vecteur accélération est constant ( $\vec{a} = \vec{a}_0 = \overline{\text{cte}}$ ).

Equations horaires de mouvement :

On sait que  $a_x = \frac{dv_x}{dt} = a_0$ . La fonction  $v_x$  dont la dérivée a donné  $a_0$  est :

$$v_x = a_0 t + v_0$$

La fonction  $x$  dont la dérivée a donné  $v_x$  est :  $x = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0$

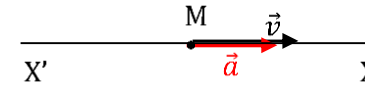
En résumé, dans un mouvement rectiligne uniformément varié d'axe X'X, on a :

$$\begin{cases} x = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0 \\ v_x = a_0 t + v_0 \\ a_x = a_0 \end{cases} \quad x, v_x, v_0 \text{ et } a_x \text{ des grandeurs algébriques}$$

**Remarque :**

✓ En éliminant  $t$  entre  $x$  et  $v_x$  on obtient la relation :  $v_x^2 - v_0^2 = 2a_0(x - x_0)$

- ✓ Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0 \leftrightarrow a_x v_x > 0$ , le mouvement est rectiligne uniformément accéléré.



- ✓ Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0 \leftrightarrow a_x v_x < 0$ , le mouvement est rectiligne uniformément retardé.



- ✓ Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0 \leftrightarrow \vec{a} = \vec{0}, \leftrightarrow \vec{v} = \overline{ct\vec{e}}$ , le mouvement est rectiligne uniforme.

5.2- Mouvement circulaire uniforme

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

- ✓ Sa trajectoire est une.
- ✓ La valeur de sa vitesse est constante

5.2.1- Equations horaires

A la date t l'abscisse curviligne  $s(t) = \widehat{\Omega M} = R\theta$  (1) La

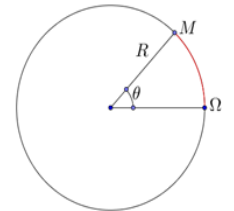
vitesse linéaire est :  $\mathbf{v} = \frac{ds}{dt} = \dot{s} = R\dot{\theta}$  (2) La fonction

s dont la dérivée a donné v est :  $\mathbf{s} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} + \mathbf{s}_0$  (3).

Cherchons  $\theta = f(t)$ ; (3)  $\leftrightarrow \frac{s}{R} = \theta = \frac{v \cdot t}{R} + \frac{s_0}{R}$ ; (2)

$\leftrightarrow \theta = \dot{\theta} \cdot t$  On pose  $\dot{\theta} = \omega$  appelée vitesse angulaire du point (rad.s<sup>-1</sup>);

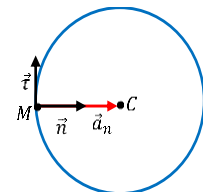
d'où l'équation:  $\theta = \omega \cdot t + \theta_0$ ,  $\theta$  est l'élongation angulaire (rad)



5.2.2- Expression de l'accélération dans la base de frénet

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

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



Enoncé de la situation  
d'évaluation

### Situation d'évaluation

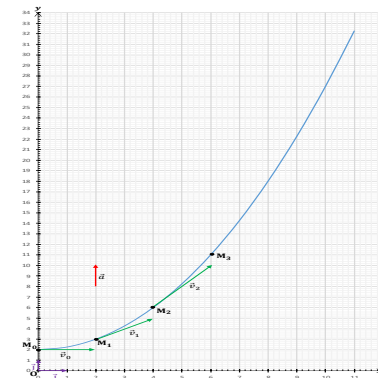
#### Evaluation 1 :

Dans un repère  $(O; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$  se déplace un mobile (M). Il a pour équations horaires de la trajectoire :

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x(t) = 2t \\ y(t) = t^2 + 2 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

1. Détermine :
  - a) Les positions du mobile pour les dates :  $t_0 = 0s$ ;  $t_1 = 1s$ ;  $t_2 = 2s$  et  $t_3 = 3s$ .
  - b) L'équation de la trajectoire et en déduis sa nature.
2. Représente la trajectoire et place les positions  $M_0$ ;  $M_1$ ;  $M_2$ ;  $M_3$  correspondant respectivement aux dates  $(t_0; t_1; t_2; t_3)$ .
3.
  - a) Donne à chaque instant (t), les coordonnées du vecteur vitesse  $\vec{v}$ .
  - b) Calcule les coordonnées et les valeurs des vecteurs vitesses pour les dates  $(t_0; t_1; t_2)$ .
  - c) Représente sur la trajectoire les vecteurs vitesses  $\vec{v}_0; \vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$ .
4.
  - a) Donne à chaque instant (t), les coordonnées du vecteur accélération  $\vec{a}$ .
  - b) Représente sur la figure le vecteur accélération  $\vec{a}$ .
5. En déduis la nature du mouvement du mobile (M).

#### Résolution:



Evaluation

Travail  
individuel

**Evaluation 2 :**

Dans un plan muni du repère  $(O; \vec{i}; \vec{j})$  se déplace un mobile (M). Il a pour équations horaires de la trajectoire :

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x(t) = 3t^2 \\ y(t) = 3t^2 + 1 \end{cases}$$

Répondre aux mêmes questions de l'évaluation 1.

**Evaluation 3 :**

Soit  $\overrightarrow{OM} = x(t)\vec{i}$ , le vecteur position d'un mobile animé d'un mouvement rectiligne d'équation horaire  $x(t) = -5t^2 + 30t + 10$  avec  $t \geq 0$ .

- 1- Détermine les vecteurs vitesses et accélération du mobile.  
Donne leurs valeurs à  $t = 0$ s.
- 2- Détermine la position du mobile à  $t = 0$ s.
- 3- Dis à quel instant le mouvement change-t-il de sens.
- 4- Entre quels instants le mouvement est-il accéléré ou retardé.

**Evaluation 4 :**

Dans un plan muni d'un repère orthonormé  $(O; \vec{i}; \vec{j})$ , un point mobile (M) se déplace avec le vecteur accélération  $\vec{a} = 4\vec{i} - 4\vec{j}$ . A l'instant initial ( $t = 0$ s), il a pour position  $\overrightarrow{OM}_0 = \vec{j}$  et pour vitesse  $\vec{v}_0 = \vec{0}$ .

- 1- Déterminer en fonction du temps (t) les coordonnées
  - a) Du vecteur vitesse  $\vec{v}$ .
  - b) Du vecteur position  $\overrightarrow{OM}$ .
- 2- Donne l'équation cartésienne et la représentation de la trajectoire à l'échelle : 1cm pour 2 m
- 3- Pour les dates  $t_1 = 1$ s et  $t_3 = 3$ s.
  - a) Donne les coordonnées des points  $M_1$  et  $M_3$ . Place ses points sur la trajectoire.
  - b) Détermine les coordonnées et les valeurs des vecteurs vitesses  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_3$ . Puis les Représentés. (échelle : 1cm pour 1 m/s)
- 4- En déduis la nature du mouvement du mobile.

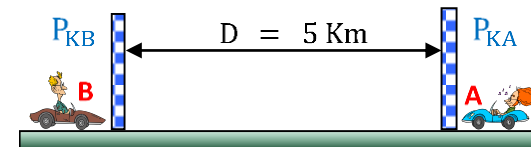
**Evaluation 5 :**

Sur une route rectiligne, deux bornes Kilométriques  $P_{KA}$  et  $P_{KB}$  sont distants de  $D = 5 \text{ Km}$ . Un véhicule **A** passe devant  $P_{KA}$  à 11H00 et se dirige vers  $P_{KB}$  avec une vitesse constante  $v_1 = 72 \text{ km/h}$ .

Un autre véhicule **B** passe devant  $P_{KB}$  à 11H02 mn et se dirige vers  $P_{KA}$ . **B** passe devant  $P_{KB}$  avec la vitesse  $v_2 = 72 \text{ km/h}$  et atteint la vitesse  $v_3 = 144 \text{ km/h}$  après un parcours de  $d = 1 \text{ Km}$ .

Dans tout l'exercice, on prendra la borne  $P_{KA}$  comme origine des espaces.

- 1- Détermine la composante ( $a_x$ ) de l'accélération de B.
- 2- Etablit les équations horaires des mobiles A et B.
- 3- A quelle date les deux véhicules se rencontrent-ils ? A quelle distance de B ? Quel est alors la vitesse de B ?

**Evaluation 6:**

Un mobile (M) décrit d'un mouvement uniforme, un cercle de rayon  $R = 0,4 \text{ m}$ . Il fait 3 tours en 18s. A l'instant initial il est à l'abscisse angulaire  $\theta_0 = -\frac{\pi}{6} \text{ rad}$ .

- 1- Donne les équations horaires angulaire et curviligne de (M).
- 2- Aux dates  $t = 2\text{s}$  et  $t = 4\text{s}$  :
  - 2.1. Positionne le mobile sur un schéma.
  - 2.2. Représente les vecteurs vitesses et accélération.  
(échelle : 1cm pour 0,1m; 1cm pour 0,2cm/s ; 1cm pour 0,2 m/s<sup>2</sup>)
- 3- le mouvement a lieu dans un plan muni du repère  $(O; \vec{i}; \vec{j})$ . O étant le centre du cercle.
  - 3.1. Montre que les coordonnées du mobile (M) peuvent s'écrire :

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x = R \cos(\omega t + \theta_0) \\ y = R \sin(\omega t + \theta_0) \end{cases}$$

3.2. En déduire les coordonnées et la valeur du vecteur vitesse  $\vec{v}$  en fonction de R,  $\omega$  et ou t.

3.3. Détermine les coordonnées du vecteur accélération  $\vec{a}$ .

3.4. Trouve une relation entre  $\vec{a}$  et  $\overrightarrow{OM}$ .

**Evaluation 7:**

Sur une route rectiligne, une auto roule à la vitesse constante de 180 km/h.

Un motard averti par radio, démarre à la distance  $d = 400$  m devant la voiture et se déplace dans le même sens que l'auto.

La moto a un mouvement uniformément varié et atteint la vitesse de 100 km/h après 10s.

A  $t = 0$ s, l'auto est à l'origine des abscisses.

- 1) Calcule l'accélération du motard.
- 2) Donne les équations horaires des deux mobiles.
- 3) Montre qu'il existe deux instants pour lesquels les deux mobiles sont côte à côte.
- 4) On envisage le cas où le motard démarre à la distance  $d = 400$  m derrière l'auto. Donne :
  - 4.1) La date à laquelle, le motard rattrape l'auto.
  - 4.2) La distance que le motard aurait parcourue.
  - 4.3) La vitesse que le motard aurait atteinte.

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : MECANIQUE</b>	
<b>Compétence 1 : Traiter une situation se rapportant à mécanique</b>	
<b>Titre de la leçon : MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE</b>	
<b>Durée : 6H (3 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un référentiel galiléen.
Connaître	Quelques référentiels galiléens (référentiel terrestre, référentiel géocentrique, référentiel héliocentrique).
Énoncer	Le théorème du centre d'inertie.
Appliquer	- Le théorème du centre d'inertie. - Le théorème de l'énergie cinétique.

### **Situation d'apprentissage**

Dans un car, un élève de la Terminale du Lycée, observe le mouvement d'une petite poupée suspendue au rétroviseur interne, par l'intermédiaire d'un fil inextensible.

Ils constatent alors que :

- La poupée reste verticale lorsque le véhicule est immobile ou est à vitesse constante ;
- La poupée s'incline vers l'arrière quand le car accélère ;
- La poupée s'incline vers l'avant quand le car ralentit.

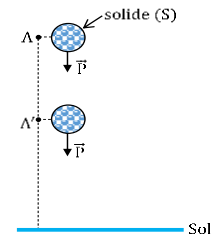
Pour comprendre ces observations, avec leurs camarades de classe, les élèves décident de connaître quelques référentiels, de les définir et d'établir un lien entre l'accélération et les forces extérieures appliquées au système.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Enregistrement n°5 ou enregistrement d'un mobile autoporteur relié à un point fixe par un élastique ou un ressort - Appareil à chute libre	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### **PLAN DE LA LEÇON**

<b>1- Principe de l'inertie</b> 1.1- <u>Solide isolé ou pseudo-isolé</u> 1.2- <u>Enoncé du principe de l'inertie</u> 1.3- <u>Définition d'un référentiel galiléen</u> <b>2- Théorème du centre d'inertie</b> 2.1- <u>Etude expérimentale</u> <b>2.1.1- Dispositif expérimental</b> <b>2.1.2- Exploitation de l'enregistrement</b> <b>2.1.3- Conclusion</b> 2.2- <u>Enoncé du théorème</u> <b>3- Théorème de l'énergie cinétique</b> ➤ <u>Enoncé du théorème</u> <b>4- Méthode de résolution d'un problème mécanique</b>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>MOUVEMENT DU CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE</b>
				<p><b>1. Principe de l'inertie</b></p> <p>1.1- <u>Solide isolé ou pseudo-isolé</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un solide est mécaniquement isolé s'il n'est soumis à aucune force extérieure.</li> <li>➤ Un solide est mécaniquement pseudo – isolé s'il est soumis à des forces extérieures qui se compensent à chaque instant c'est-à-dire <math>\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}</math></li> </ul> <p>1.2- <u>Enoncé du principe de l'inertie</u> Relativement à un référentiel galiléen, le centre d'inertie d'un solide isolé ou pseudo-isolé est soit au repos soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.</p> <p>1.3- <u>Définition d'un référentiel galiléen</u> Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe de l'inertie est vérifié. Tout référentiel animé d'un mouvement rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui aussi galiléen.</p> <p><b>Exemples</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le référentiel de Copernic (ou héliocentrique) est le référentiel galiléen par excellence.</li> <li>➤ Le référentiel géocentrique</li> <li>➤ Le référentiel terrestre peut être assimilable à un référentiel galiléen pendant une durée assez brève.</li> </ul> <p><b>2. Théorème du centre d'inertie</b></p> <p>2.1- <u>Etude expérimentale</u></p> <p><b>2.1.1- Expérience</b> : Chute libre d'un solide</p>



Soit un solide (S) de masse  $m$ , est abandonné sans vitesse initiale dans le repère terrestre. On néglige l'action de l'air.

### 2.1.2- Etude du mouvement

Le solide décrit un mouvement rectiligne uniformément accéléré dont l'équation horaire de la vitesse s'écrit  $\vec{v} = \vec{g} \cdot t$ .

Le vecteur quantité de mouvement du solide (S) est :  $\vec{p} = m \cdot \vec{v} \Rightarrow \vec{p} = m \cdot \vec{g} \cdot t$ . on a :  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{g} \cdot t) = m \cdot \vec{g} \Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{P}$  or  $\frac{d\vec{p}}{dt} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{P} = m \cdot \vec{a}$ .

### 2.1.3- Conclusion

On constate que :  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}$

### 2.2- Enoncé du théorème

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de sa masse ( $m$ ) par le vecteur accélération ( $\vec{a}$ ) de son centre d'inertie :  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}$

### Remarques :

Solide pseudo - isolé  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v}$  est constant

→  $\begin{cases} \text{Si } \vec{v} \neq \vec{0} \text{ alors G est animé d'un mouvement rectiligne uniforme} \\ \text{Si } \vec{v} = \vec{0} \text{ alors G est au repos} \end{cases}$

### 3. Théorème de l'énergie cinétique

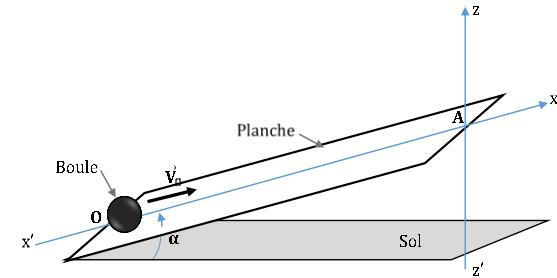
Dans un référentiel galiléen, l'énergie cinétique d'un solide de masse  $m$  en mouvement de translation de vitesse  $\vec{v}$ , est :  $E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

La résultante des force qu'il subit est :  $\vec{F} = \sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a}$ .

La puissance instantanée de  $\vec{F}$  est :  $p = \vec{F} \cdot \vec{v} = m \cdot \vec{a} \cdot \vec{v} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} m \cdot v^2 \right) =$

$$\frac{dE_C}{dt} \quad (2)$$

				$(2) \leftrightarrow \frac{dE_C}{dt} = \frac{dw}{dt} \cdot \leftrightarrow w = E_C + \text{cste}$ <p>Lorsque le solide se déplace d'un point A à un point B pendant la durée <math>\Delta t</math>, <math>\Delta E_C = E_B - E_A = w_{AB}(\vec{F})</math></p> <p>➤ <b><u>Enoncé du théorème</u></b></p> <p>Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces extérieures qui s'exercent sur ce solide pendant la même durée ;</p> $\Delta E_C = E_B - E_A = \sum w_{AB}(\vec{F}) \quad (3)$ <p><b>4. <u>Méthode de résolution d'un problème mécanique</u></b></p> <p><b><u>Avant tout il faut :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Préciser clairement le système à étudier,</li> <li>➤ Choisir un référentiel galiléen,</li> <li>➤ Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système et les représenter sur un schéma soigné.</li> </ul> <p><b><u>Ensuite</u></b></p> <p>Appliquer, en fonction des questions posées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Soit le théorème du centre d'inertie <math>\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}</math>; dans ce cas choisir, un repère d'espace lié au référentiel et y projeter la relation <math>\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}</math></li> <li>➤ Soit le théorème de l'énergie cinétique. Dans ce cas choisir deux points entre lesquels l'on désire appliquer le théorème.</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>Dans une salle de classe, pour donner un exemple de mouvement du centre d'inertie d'un solide, le professeur utilise une planche de longueur <math>\ell = 3 \text{ m}</math>. A l'aide de tables bancs, il incline la planche d'environ <math>30^\circ</math> par rapport au sol horizontal.</p> <p>Le professeur lance sur la planche inclinée, une boule métallique de forme sphérique et de masse <math>m = 1,5 \text{ kg}</math>, au point le plus bas O de la planche (voir figure).</p>



La vitesse de lancement de la boule est  $\vec{v}_0 = 6\vec{i}$  avec  $\vec{i}$  vecteur unitaire de la ligne de plus grande pente de la planche.

- 1) Cite les forces agissant sur la boule.
- 2) La boule s'arrête un bref instant à l'extrémité supérieure A de la planche avant de redescendre.
  - 2.1) Calcule la côte  $Z_A$  du point A.
  - 2.2) Calcule l'énergie mécanique de la boule au point O ( $E_M(O)$ ) et son énergie mécanique en A ( $E_M(A)$ ).
  - 2.3) Compare les deux énergies et montre qu'il existe des frottements au mouvement de la boule et d'intensité  $f$ .
- 3) On note  $\vec{a}$  le vecteur accélérateur de la boule
  - 3.1) Exprime l'abscisse  $a_x$  de l'accélération en fonction de  $g$ ,  $\alpha$ ,  $m$  et  $f$ .
  - 3.2) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprime  $a_x$  en fonction de  $V_0$  et  $l$ .
  - 3.3) Calcule  $a_x$  et  $f$ .

On prendra  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

### Résolution

- 1) Les forces agissant sur la boule :  
 $\vec{P}$  : le poids de la boule ;  $\vec{R}$  : la réaction de la planche sur la boule.
- 2)
  - 2.1) La côte  $Z_A$  du point A :  $Z_A = l \sin \alpha$  A.N :  $Z_A = 1,5 \text{ m}$
  - 2.2)  $E_M(O) = \frac{1}{2} m v_0^2 + m g Z_0$  comme  $Z_0 = 0 \Rightarrow E_M(O) = \frac{1}{2} m v_0^2$  A.N :  
 $E_M(O) = \frac{1,5 \times 6^2}{2} = 27 \text{ J}$  ;  $E_M(A) = \frac{1}{2} m v_A^2 + m g Z_A$  comme  $v_A = 0 \Rightarrow E_M(A) = m g Z_A$  A.N :  $E_M(A) = 1,5 \times 10 \times 1,5 = 22,5 \text{ J}$
  - 2.3)  $E_M(O) > E_M(A) \Rightarrow$  il y a perte d'énergie due aux forces de frottements.

3)

3.1) Expression de  $a_x$  : on a  $m\vec{a} = \vec{R} + \vec{P} + \vec{f}$  d'après l'énoncé du théorème du centre d'inertie.

Selon l'axe des x :  $P_x = -mg \sin \alpha$  ;  $R_x = 0$  car  $\vec{R} \perp$  à (ox) ;  $f_x = -f$  on aura donc :  $ma_x = 0 - mg \sin \alpha - f \Rightarrow \mathbf{a_x = -\left(g \sin \alpha + \frac{f}{m}\right)}$

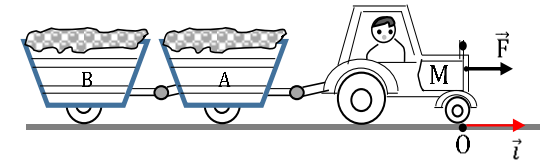
3.2)  $\Delta E_C(O \rightarrow A) = W_{O \rightarrow A}(\vec{R}) + W_{O \rightarrow A}(\vec{P}) + W_{O \rightarrow A}(\vec{f})$  ;  $W_{O \rightarrow A}(\vec{R}) = 0$ ,  $W_{O \rightarrow A}(\vec{P}) = -mg\ell \sin \alpha$ ,  $W_{O \rightarrow A}(\vec{f}) = -f\ell$

$\Rightarrow E_C(A) - E_C(O) = -\frac{1}{2}mv_0^2 = -mg\ell \sin \alpha - f\ell = m\ell a_x \Rightarrow \mathbf{a_x = -\frac{v_0^2}{2\ell}}$

3.3) Calcul de  $a_x$  et f:  $\mathbf{a_x = -\frac{6^2}{2 \times 3} = -6 \text{ m/s}^2}$  ;  $\mathbf{f = 1,5 \text{ N}}$

### Évaluation à faire à la maison

Un tracteur ( $M$ ) de masse  $m = 1000 \text{ kg}$ , tire derrière lui deux chariots A et B de masse respective  $m_A = 700 \text{ kg}$  et  $m_B = 300 \text{ kg}$ . Le moteur du tracteur développe une force attractive horizontale  $\vec{F}$  parallèle à la trajectoire munie du repère  $(O, \vec{i})$  : voir figure.



Le tracteur et sa charge partent sans frottement du point O à la date  $t_0 = 0$  avec une vitesse  $\vec{v}_0 = \vec{0}$  ; ils parcourent une distance  $d = 100 \text{ m}$  au bout de  $t_1 = 20 \text{ s}$ .

1. Exprime en fonction de  $d, t_1$  et  $\Sigma m = m + m_A + m_B$ .
  - 1.1. L'accélération  $a$  du tracteur chargé sur le parcours.
  - 1.2. La vitesse  $v_1$  du tracteur chargé au bout des 100 m de parcours.
  - 1.3. L'intensité de la force attractive  $\vec{F}$ .
2. Calcule  $a, F$  et  $v_1$ .
3. Calcule l'intensité de la tension du câble entre le tracteur et le chariot A. (pour cette question on considérait comme système le tracteur).

4. Avec la vitesse  $v_1$ , le tracteur aborde, toujours sans frottement, une colline, assimilée à un plan incliné de  $\alpha = 30^\circ$  par rapport au plan horizontal. Pour maintenir sa vitesse constante le conducteur du chariot augmente la puissance du moteur ce qui modifie l'intensité de la force  $\vec{F}$ . En appliquant le principe de l'inertie, calcule :
- 4.1. La nouvelle valeur de la force  $\vec{F}$  toujours parallèle au plan de la colline.
- 4.2. La valeur de la réaction de la colline sur le tracteur chargé.

**Donnée** :  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

### Résolution détaillée

1. Etude du système :

Système : ensemble (tracteur et chariots)

Référentiel : Terrestre supposé galiléen

Bilan des forces : le poids  $\vec{P}$  du système ; la réaction  $\vec{R}$  du support ; la force attractive  $\vec{F}$  développée par le moteur.

TCl :  $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F}$ . Selon  $(O, \vec{i})$ , on a :  $m_T a = F \Rightarrow a = \frac{F}{m_T} = \text{cste}$ .

D'où l'équation horaire  $x = \frac{a}{2} t^2$ .

1.1. Expression de  $a$  :  $a = \frac{2d}{t_1^2}$

1.2. Expression de  $v_1$  :  $v_1 = at_1 = \frac{2d}{t_1}$ .

1.3. Expression de l'intensité de la force attractive :  $F = a \cdot \sum m = \frac{2d}{t_1^2} \cdot \sum m$ .

2. Calcul de :

$$a = \frac{2 \times 100}{20^2} = 0,5 \text{ m/s}^2 ; v_1 = \frac{2 \times 100}{20} = 10 \text{ m/s} ; F = 0,5 \times 2000 = 1000 \text{ N}$$

3. Considérant comme système le tracteur, on a :  $ma = F - T \Rightarrow T = F - ma$ .

A.N :  $T = 1000 - 1000 \times 0,5 = 500 \text{ N}$ .

4. A vitesse constante d'après le TCl : on a :  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$

Soit le repère  $(O', \vec{i}, \vec{j})$  :  $\vec{P} \begin{cases} -P \sin \alpha = -(\sum m)g \sin \alpha \\ -P \cos \alpha = -(\sum m)g \cos \alpha \end{cases} ; \vec{R} \begin{cases} 0 \\ R \end{cases} ; \vec{F} \begin{cases} F \\ 0 \end{cases} \Rightarrow$

$$\begin{cases} -(\sum m)g \sin \alpha + 0 + F = 0 \\ -(\sum m)g \cos \alpha + R + 0 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F = (\sum m)g \sin \alpha \\ R = (\sum m)g \cos \alpha \end{cases} \text{ A.N. : } \begin{cases} F = 10.000 \text{ N} \\ R = 17320 \text{ N} \end{cases}$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : MECANIQUE</b>	
<b>Compétence 1 : Traiter une situation se rapportant à mécanique</b>	
<b>Titre de la leçon : MOUVEMENTS DANS LES CHAMPS <math>\vec{g}</math> ET <math>\vec{E}</math> UNIFORMES</b> <b>Durée : 8H (4 séances)5</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un champ uniforme.
Représenter	Le vecteur : - Champ électrostatique uniforme. - Champ de pesanteur.
Déterminer	Le vecteur- accélération dans : - Le champ de pesanteur uniforme ; - Le champ électrostatique uniforme.
Déterminer	- Les équations horaires du mouvement. - L'équation cartésienne de la trajectoire. - Les expressions de : la flèche ; la portée ; la déviation angulaire ; la déflexion électrostatique.
Utiliser	- Les équations horaires des mouvements. - L'équation cartésienne de la trajectoire.
Connaître	L'intérêt du champ électrostatique.

### **Situation d'apprentissage**

Pour faire découvrir les différentes disciplines, le Lycée a organisé des journées portes ouvertes auxquelles ont participé les élèves de la Terminale. En EPS, au cours du match de basketball, un élève de cette classe, placé au milieu du terrain, lance la balle et marque un panier.

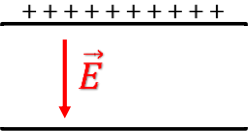
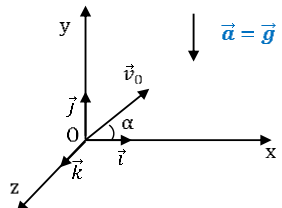
Au stand de Physique-Chimie, le principe de déviation d'un faisceau d'électrons dans une télévision analogique est expliqué à l'aide du tube de Crookes.

De retour en classe, les élèves de la Terminale C/D, veulent approfondir leur connaissance sur les mouvements de la balle de basketball et du faisceau d'électrons.

Ils entreprennent alors de déterminer les équations cartésiennes des trajectoires de la balle et du faisceau d'électron puis les différentes grandeurs caractéristiques des trajectoires.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Dispositif pour la chute parabolique avec accessoires - Alimentation stabilisée - chronomètre - Tube à déflexion - Source de tension de chauffage du filament 6V - Source de tension accélératrice variable (0 à 700 V) - Source de tension pour plaques déflectrices - Voltmètres	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Champ uniforme****2- Mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme**2.1. Vecteur accélération  $\vec{a}$ 2.2. Vecteur vitesse  $\vec{v}$  et vecteur position  $\vec{OG}$ 2.3. Equations horaires du mouvement**2.3.1. Les coordonnées de  $\vec{a}$ ,  $\vec{v}_0$  et  $\vec{OG}_0$** **2.3.2. Equations horaires du mouvement**2.4. Equation de la trajectoire2.5. Les caractéristiques de la trajectoire**2.5.1. La portée horizontale****2.5.2. La flèche**2.6. Problème de tir**3- Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme**3.1. Etude dynamique3.2. Equations horaires du mouvement3.3. Caractéristiques du faisceau**3.3.1. Les coordonnées du point de sortie (S) et du vecteur vitesses ( $\vec{v}_S$ ) à la sortie****3.3.2. Déviations angulaire****3.3.3. Déflexion électronique****Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
<b>MOUVEMENTS DANS LES CHAMPS <math>\vec{g}</math> ET <math>\vec{E}</math> UNIFORMES</b>				
<p><b>1. <u>Champ uniforme</u></b>            Un champ uniforme est un espace dans lequel le vecteur champ est constant.</p> <p><u>Exemple :</u></p> <p>✓ <b>Le champ de pesanteur (<math>\vec{g}</math>) :</b> Au voisinage de la terre (quelques km d'altitude), le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme. Ses caractéristiques sont :</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <p><math>\vec{g}</math>   <b>Direction:</b> Verticale</p> <p>        <b>Sens:</b> Du haut vers le bas</p> <p>        <b>Valeur:</b> <math>g(\text{N} \cdot \text{kg}^{-1})</math> ou <math>(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})</math></p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p>↓ <math>\vec{g}</math></p> </div> </div> <p>✓ <b>Le champ électrostatique (<math>\vec{E}</math>) :</b> Le champ électrostatique créée entre les armatures d'un condensateur plan est uniforme :</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <p><math>\vec{E}</math>   <b>Direction:</b> Perpendiculaire aux armatures</p> <p>        <b>Sens:</b> Sens des potentiels décroissants</p> <p>        <b>Valeur:</b> <math>E = \frac{U}{d} (\text{V} \cdot \text{m}^{-1})</math></p> </div> <div style="margin-left: 20px;">  </div> </div> <p><b>2. <u>Mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme</u></b>            Un projectile supposé ponctuel de masse <math>m</math> est lancé d'un point <math>O</math>, dans le champ de pesanteur uniforme, avec une vitesse initiale <math>\vec{v}_0</math> faisant un angle <math>\alpha</math> avec l'horizontale. Le mouvement du projectile est étudié dans un repère <math>(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})</math>.</p> <p>2.1- <u>Vecteur accélération <math>\vec{a}</math></u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <u>Système</u> : le projectile ;</li> <li>✓ Référentiel terrestre supposé galiléen ;</li> <li>✓ <u>Bilan des forces</u> : le poids ;</li> </ul> <p>Appliquons le théorème du centre d'inertie :</p> $\sum \vec{f}_{ext} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g} \leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}$ <div style="text-align: right;">  </div>				

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

2.2- Vecteur vitesse  $\vec{v}$  et vecteur position  $\vec{OG}$   
Le mouvement étant uniformément varié, on a :

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

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

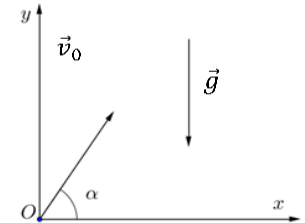
2.3- Equations horaires du mouvement

**2.3.1- Les coordonnées de  $\vec{a}$ ,  $\vec{v}_0$  et  $\vec{OG}_0$**

Dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  : à  $t = 0$  on a :

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

$$;\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos\alpha \\ v_{0y} = v_0 \sin\alpha \\ v_{0z} = 0 \end{cases}; \vec{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$$



**2.3.2- Equations horaires du mouvement**

$$\text{à } t \neq 0, \text{ on a : } \vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = -gt + v_0 \sin\alpha \\ v_z = 0 \end{cases}$$

$$\vec{OG} \begin{cases} x = (v_0 \cos\alpha)t \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t \\ z = 0 \end{cases}$$

**Remarque :**

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

2.4- Equation de la trajectoire

De l'expression des équations horaires, nous déduisons

$$t = \frac{x}{v_0 \cos\alpha} \leftrightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} \cdot x^2 + x \tan\alpha$$

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

2.5- Les caractéristiques de la trajectoire

**2.5.1- La portée horizontale**

✓ Définition

Soit P le point d'impact du projectile sur le plan horizontal passant par le point de lancement O. La portée du tir est la distance OP.

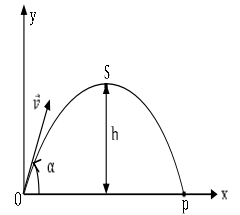
✓ Expression de la portée

$$\text{En P, } y = 0 \leftrightarrow 0 = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \tan \alpha \leftrightarrow x \left( -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x + \tan \alpha \right) =$$

$$0 \leftrightarrow \begin{cases} \left( -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x_p + \tan \alpha \right) = 0 \\ x_0 = x = 0 \text{ (le point de lancement)} \end{cases}$$

$$\leftrightarrow x_p = \frac{2v_0^2 \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{g \cos \alpha} = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

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



Pour  $v_0$  fixée, la portée est maximale lorsque  $\sin 2\alpha = 1 \leftrightarrow \alpha = \frac{\pi}{4}$  **donc**

$$x_m = \frac{v_0^2}{g}$$

**2.5.2- La flèche**

✓ Définition

La flèche du tir est l'altitude maximale atteinte par le projectile par rapport au point de lancement.

✓ Expression de la flèche ( $y_s$ )

$$\text{En S } v_y = 0 \leftrightarrow -g \cdot t_s + v_0 \sin \alpha = 0 \leftrightarrow t_s = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\leftrightarrow y_s = h = -\frac{1}{2} g \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{v_0^2}{g} \sin^2 \alpha = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

La flèche est maximale si  $\sin^2 \alpha = 1 \leftrightarrow \sin = 1 \leftrightarrow \alpha = \frac{\pi}{2}$  **(tir vertical)**

$$\leftrightarrow h_m = \frac{v_0^2}{2g}$$

**Remarque :**

L'énergie mécanique du projectile soumis à son seul poids dans le champ de pesanteur uniforme se conserve

**2.6- Problème de tir**

Il s'agit d'atteindre, à partir d'un point O et avec une vitesse  $\vec{v}_0$  convenable, une cible placée en un point A( $X_A$  ;  $Y_A$ ).

On sait que :  $y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \tan \alpha$

Le projectile atteint A  $\Rightarrow Y_A = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot X_A^2 + X_A \tan \alpha$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \tan^2 \alpha \Rightarrow Y_A = -\frac{g X_A^2}{2v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha) + X_A \tan \alpha$$

On aboutit à l'équation :  $-\frac{g X_A^2}{2v_0^2} \tan^2 \alpha + X_A \tan \alpha - \left(\frac{g X_A^2}{2v_0^2} + Y_A\right) = 0$  dont

l'inconnue est  $\tan \alpha$ . La résolution donne deux solutions :  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$

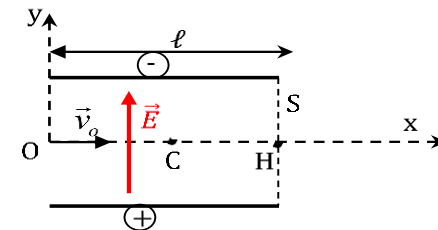
Si  $\alpha_1 < \alpha_2 \Rightarrow \alpha_1$  correspond à un tir tendu et  $\alpha_2$  à un tir en cloche.

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

Deux plaques parallèles de longueur  $\ell$  séparées par une distance  $d$  sont soumises à une tension  $U$ .

Une particule de charge  $q$  et de masse  $m$ , pénètre en O (milieu des plaques) avec une vitesse  $\vec{v}_0$ .

Etablissons les équations horaires du mouvement, puis l'équation de la trajectoire du projectile.

**3.1- Etude dynamique**

✓ **Système :** la particule de charge  $q$  et de masse  $m$  ;

✓ Référentiel : celui du laboratoire supposé galiléen ;

✓ bilan des forces : la force électrostatique  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$

Appliquons le théorème du centre d'inertie :  $\vec{F}_e = m \cdot \vec{a} = q\vec{E} \leftrightarrow \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$ .

$\vec{a}$  et  $\vec{E}$  ont la même direction mais le sens de  $\vec{a}$  dépend du signe de la charge.

### 3.2- Equations horaires du mouvement

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

$$\vec{E} = E \cdot \vec{j} \leftrightarrow \vec{a} = \frac{qE}{m} \vec{j} \leftrightarrow \vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{qE}{m} \end{cases}$$

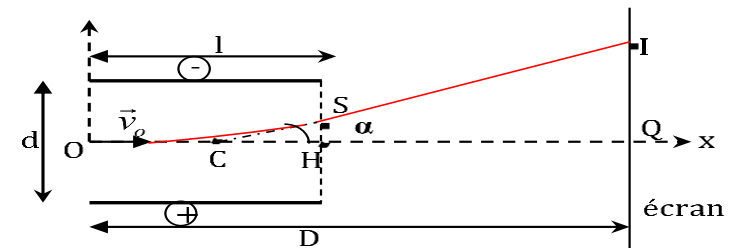
$$\text{à } t = 0, \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases} \text{ et } \vec{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} \text{ et}$$

$$\text{à } t \neq 0, \vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{qE}{m} \cdot t \end{cases} \text{ et } \vec{OG} \begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{qE}{2m} \cdot t^2 \end{cases}$$

L'équation de la trajectoire se déduit des équations horaires :

$$t = \frac{x}{v_0} \leftrightarrow y = \frac{1}{2} \frac{qE}{mv_0^2} x^2. \text{ C'est une parabole.}$$

### 3.3- Caractéristiques du faisceau

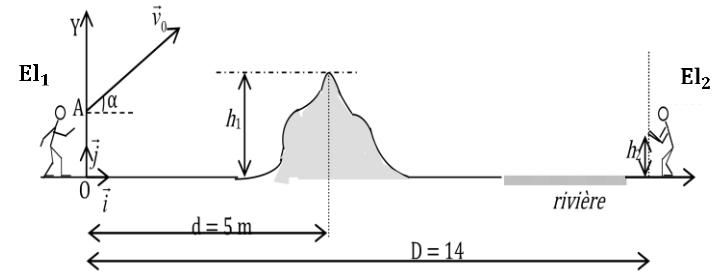


#### 3.3.1- Les coordonnées du point de sortie (S) et du vecteur vitesses ( $\vec{v}_s$ ) à la sortie

En S,  $x = l = x_s \leftrightarrow t = \frac{l}{v_0} \leftrightarrow y_s = \frac{1}{2} \frac{qEl^2}{mv_0^2}$  ; La condition sur U pour que la particule sorte en S sans heurter les plaques.

$$y_s < \frac{d}{2} \leftrightarrow \frac{qUl^2}{2mdv_0^2} < \frac{d}{2} \leftrightarrow U < \frac{md^2v_0^2}{ql^2}$$

				<p>Au-delà du champ électrostatique le mouvement de la particule est rectiligne uniforme car elle devient isolée (principe de l'inertie).</p> <p><b>3.3.2- Déviation angulaire</b>  <math>\tan \alpha = \frac{y_s}{x_{s/2}} = \frac{qEl}{mv_0^2}</math> où <math>\alpha</math> est la <b>déviation angulaire</b> <math>\Rightarrow \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{qEl}{mv_0^2} \right)</math></p> <p><b>3.3.3- Déflexion électronique</b>  C'est la déviation du faisceau sur l'écran c'est-à-dire la distance <b>QI</b>.  Dans le triangle CIQ rectangle en Q, on a : <math>\tan \alpha = \frac{QI}{CQ} = \frac{QI}{D - \frac{l}{2}}</math></p> <p>En définitive, La déviation électrostatique est : <math>\boxed{QI = \left( D - \frac{l}{2} \right) \frac{qE}{mv_0^2} l}</math></p> <p><b>Remarque</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La mesure de <b>QI</b> permet de calculer le rapport : <math>\frac{q}{mv_0^2}</math>. Le dispositif est donc un séparateur d'isotopes de même vitesse.</li> <li>- <b>QI</b> est proportionnel à la tension U appliquée <math>QI = \left( D - \frac{l}{2} \right) \frac{q\ell}{mdv_0^2} U</math> : principe de fonctionnement de l'oscilloscope.</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Deux élèves (<math>El_1</math> et <math>El_2</math>) se lancent une orange de masse <math>m = 200 \text{ g}</math>. un élève (<math>El_2</math>) se trouve au bord d'une rivière derrière une termitière (voir figure ci-dessous). La termitière se trouve à la distance <math>d = 5 \text{ m}</math> du point O et sa hauteur est <math>h_1 = 4 \text{ m}</math>. L'orange est lancé d'un point A par (<math>El_1</math>), dans un plan vertical avec une vitesse <math>\vec{v}_0</math> faisant un angle <math>\alpha = 45^\circ</math> avec l'horizontale. On néglige l'action de l'air sur l'orange. On donne <math>OA = h_0 = 2 \text{ m}</math> ; <math>g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}</math> ; <math>v_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}</math>. L'origine des temps est l'instant du lancé. (<math>El_2</math>) se trouve à <math>14 \text{ m}</math> de (<math>El_1</math>). Pour attraper l'orange, il tend ses mains à une hauteur <math>h_2 = 1,5 \text{ m}</math> du sol et ne bouge pas.</p>



1. Détermine :
  - 1.1. Les relations donnant les coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$ , du centre d'inertie  $G$  de l'orange en fonction  $g$ ,  $V_0$ ,  $\alpha$  et  $t$ ,
  - 1.2. l'équation cartésienne de la trajectoire du point  $G$  dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  faire l'application numérique.
2. Montre que
  - 2.1. l'équation cartésienne de la trajectoire de  $G$  dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  s'écrit :  $y = -0,10x^2 + x + 2$ .
  - 2.2. L'orange passe au-dessus de la termitière.
3. Dis si
  - 3.1.  $El_2$  pourra intercepter l'orange.
  - 3.2. L'orange tombera dans la rivière ou derrière  $El_2$ .

### Résolution

Système : orange

Référentiel : terrestre supposé galiléen

Repère :  $(O, \vec{i}, \vec{j})$

Bilan des force : le poids  $\vec{P}$  de l'orange.

$$\text{PFD : } m\vec{a} = m\vec{g} \Rightarrow \vec{a} = \vec{g} \Rightarrow \vec{a} \begin{cases} 0 \\ -g \end{cases}$$

1. Détermination :

$$1.1. \vec{v} = \int \vec{a} dt \Rightarrow \vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0 \Rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_0 \cos \alpha \\ -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OA} \begin{cases} x(t) = v_0 t \cos \alpha \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \sin \alpha + h_0 \end{cases}$$

- 1.2. L'équation cartésienne de la trajectoire :

$$\text{Posons } t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow y(x) = -\frac{1}{2} g \left( \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \left( \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right) \sin \alpha + h_0$$

$$y(x) = -\frac{gx^2}{2v_0^2(\cos \alpha)^2} + x \tan \alpha + h_0 \text{ A.N : } y(x) = -0,1 x^2 + x + 2$$

2.

2.1. On a  $y(x) = -0,1 x^2 + x + 2$  pour  $x = 0$  ce qui donne  $y = 2$  cela correspond à la position A.

2.2. Pour  $x = 5\text{m}$  on a  $y = -0,1 \times 25 + 5 + 2 = 4,5\text{ m}$  or  $y(5) > h_1$

3.

3.1. Pour  $x = 14\text{m}$  on a  $y = -0,1 \times (14)^2 + 14 + 2 = -3,6\text{ m}$  :  $E_2$  ne pourra pas intercepter l'orange.

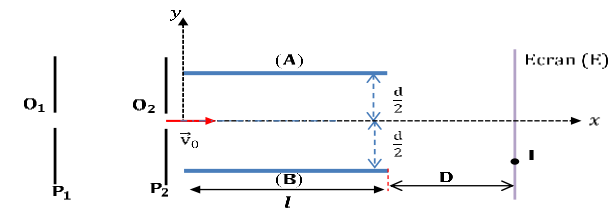
3.2. Soit  $y = 0 \Rightarrow -0,1 x^2 + x + 2 = 0$  résolvons l'équation :

$$\Delta = 1^2 - 4(2 \times -0,1) = 1,8 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 1,34 ; x_1 = \frac{-1-1,34}{-2 \times 0,1} = 11,71\text{m} ;$$

$x_2 = \frac{-1+1,34}{-2 \times 0,1} = -1,71\text{ m}$ .  $x_1 = 11,71 < D = 14$ , l'orange tombera dans la rivière.

### Evaluation 1 à faire à la maison

Dans tout l'exercice, on négligera le poids de la particule devant toute autre force.



Une particule de charge  $q = 2e$  et de masse  $m = 9,62 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ , sortant d'une chambre d'ionisation, pénètre avec une vitesse négligeable par un trou  $O_1$ , dans l'espace compris entre deux plaques verticales  $P_1$  et  $P_2$ . Elle en sort en  $O_2$  avec une vitesse  $v_0 = 5,16 \cdot 10^5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

1- Déterminer le signe et la valeur de la tension  $U_{P_1 P_2}$ . On donne:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ .

2- A la sortie de  $O_2$ , la particule pénètre avec la vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale, entre les armatures A et B d'un condensateur, de longueur  $l$  entre

lesquelles on applique une tension  $U_{AB} = U_0 = 220 \text{ V}$ . On donne  $AB = d = 4 \text{ cm}$  et  $l = 10 \text{ cm}$ .

- 2.1- Etablir dans le repère d'axes  $(Ox)$  et  $(Oy)$  les équations horaires du mouvement des ions entre A et B.
- 2.2- Montrer que la trajectoire est une parabole d'équation  $y(x) = -0,34 x^2$ .
- 2.3- La particule sort des plaques A et B, percute un écran **E** au point **I**.
- 2.3.1- Justifier que la particule sort effectivement des plaques.
- 2.3.2- A quelle distance **D** des plaques A et B, l'écran **E** est-il situé ?

### Résolution détaillée

1- Détermination du signe et de la valeur de la tension  $U_{P_1P_2}$  :

$$U_{P_1P_2} = V_{P_1} - V_{P_2}, V_{P_1} > V_{P_2} \Rightarrow U_{P_1P_2} > 0.$$

$$\Delta E_C = q\vec{E} \cdot \overrightarrow{P_1P_2} = qU_{P_1P_2} \Rightarrow \frac{1}{2}mv_0^2 = 2eU_{P_1P_2} \Rightarrow U_{P_1P_2} = \frac{mv_0^2}{4e} \text{ A.N :}$$

$$U_{P_1P_2} = 4002,16 \text{ V.}$$

2-

### Etude du système :

Système : particule de charge  $q = 2e$

Référentiel de laboratoire supposé galiléen.

Bilan des forces : Force électrostatique  $\vec{F}$ .

$$\text{D'après le TCI : } m\vec{a} = \vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E} \cdot \vec{E} \begin{cases} 0 \\ -E \end{cases}$$

2.1- Les équations horaires :

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{qE}{2m} t^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{eE}{m} t^2 \end{cases}$$

2.2- Posons :  $t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow y = -\frac{eE}{m} \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = -\frac{eE}{mv_0^2} x^2 = -\frac{eU_0}{mdv_0^2} x^2$ . En remplaçant les valeurs on a :  $y = -0,34 x^2$ .

2.3-

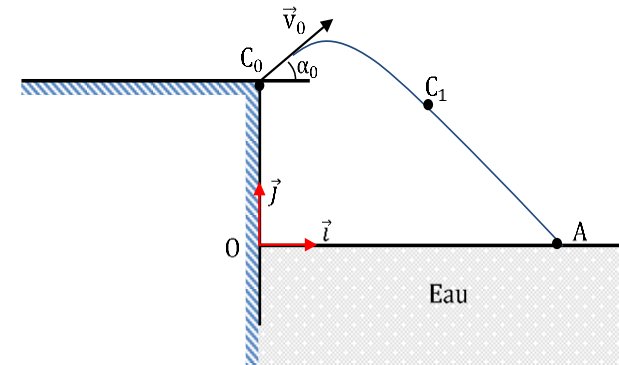
2.3.1- On a :  $y = -0,34 x^2$ . Pour  $x = l$  on a :  $y_S = -0,34 \times (l)^2 = -0,0034 \text{ m} = -0,34 \text{ cm}$ . On constate que  $\frac{d}{2} > |y_S|$  la particule sort effectivement des plaques.

$$2.3.2- \text{ On a : } \frac{OI}{D+\frac{l}{2}} = \frac{y_S}{\frac{l}{2}} \Rightarrow D = \frac{l}{2} \left( \frac{OI}{y_S} - 1 \right)$$

### **Evaluation 2 à faire à la maison**

Un élève s'amuse à plonger dans l'eau d'une piscine à partir d'un plancher. Il veut attraper un ballon flottant sur l'eau au point A. A la date  $t = 0$ , l'élève s'élance du plancher avec une vitesse  $\vec{v}_0$ , de valeur  $v_0$ , inclinée d'un angle  $\alpha_0$  par rapport à l'horizontale. L'angle  $\alpha_0$  est toujours le même. Sa valeur est  $\alpha_0 = \frac{\pi}{4}$  rad. La vitesse  $v_0$  peut varier.

On étudie le mouvement du centre d'inertie C du plongeur dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On associe à ce référentiel le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$ , voir schéma.



A la date  $t = 0$ , le centre d'inertie de l'élève est en  $C_0$  tel que  $OC_0 = 2\text{m}$ . On prend  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

1- Donne, à l'instant du départ, les coordonnées :

- 1.1- Du vecteur position  $\vec{OC}_0$  ;
- 1.2- Du vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  ;
- 1.3- Du vecteur accélération de la pesanteur  $\vec{g}$

2- Le théorème du centre d'inertie permet d'obtenir les équations horaires donnant la position du centre d'inertie C à chaque instant compris entre le départ et l'arrivée dans l'eau. Les frottements contre l'air sont négligés. On admettra les résultats suivants :

$$\vec{OC} = x\vec{i} + y\vec{j} \text{ avec } x = v_0 \cos \alpha_0 t \text{ et } y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \alpha_0 t + y_0.$$

2.1- Etabli l'équation littérale de la trajectoire  $y = f(x)$ .

2.2- Utilise les valeurs numériques pour vérifier que l'équation peut s'écrire :  $y = -9,8 \frac{x^2}{v_0^2} + x + 2$ .

2.3- Détermine littéralement à l'instant t, pour la position C<sub>1</sub> du schéma :

- a- Les coordonnées du vecteur accélération  $\vec{a}$  ;
- b- Les coordonnées du vecteur vitesse  $\vec{v}$  ;
- c- Représente qualitativement sur un schéma ces vecteurs au point C<sub>1</sub> de la trajectoire.

3- L'élève souhaite tomber exactement sur le ballon flottant au point A tel que OA = 2m. Recherche la valeur de  $\vec{v}_0$  permettant cela.

4- Sachant que sa vitesse initiale maximum vaut  $v_{\max} = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Donne la distance maximale à laquelle doit se trouver le ballon pour que l'élève puisse l'attraper en plongeant.

### Résolution détaillée

1. A l'instant du départ :

$$\vec{OC}_0 \begin{cases} 0 \\ OC_0 = 2\text{m} \end{cases} ; \vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \cos \alpha_0 \\ v_0 \sin \alpha_0 \end{cases} ; \vec{g} \begin{cases} 0 \\ -g \end{cases}$$

$$2. \text{ On a : } \vec{OC} \begin{cases} x = v_0 t \cos \alpha_0 \\ y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 t \sin \alpha_0 + y_0 \end{cases}$$

$$2.1. \text{ Posant } t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha_0} \Rightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2 (\cos \alpha_0)^2} x^2 + x \tan \alpha_0 + y_0.$$

$$2.2. \text{ Remplaçant par les valeurs numériques, on a : } y = -9,8 \frac{x^2}{v_0^2} + x + 2.$$

2.3.

$$\vec{a} \begin{cases} 0 \\ -g = -9,8 \text{ m/s}^2 \end{cases} ; \vec{v} \begin{cases} v_0 \cos \alpha_0 \\ -9,8t + v_0 \sin \alpha_0 \end{cases} ; \text{voir le schéma.}$$

$$3. \text{ A } x = 2\text{m}, y = 0 \Rightarrow -9,8 \frac{(2)^2}{v_0^2} + 2 + 2 = 0 \Rightarrow v_0 = \sqrt{9,8} = 3,13 \text{ m/s.}$$

$$4. \text{ On a : } y = -9,8 \frac{(x_{\max}^2)}{v_0^2} + x_{\max} + 2 = 0 \Rightarrow -9,8 \frac{(x_{\max}^2)}{49} + x_{\max} + 2 =$$

$$0 ; \text{ résolvons l'équation. } \Delta = 1^2 - 4 \left( \frac{-9,8}{49} \right) \times 2 = 2,6 ; x_1 = \frac{-1 - \sqrt{2,6}}{2 \times \frac{-9,8}{49}} =$$

$$6,5 \text{ m} ; x_2 = \frac{-1 + \sqrt{2,6}}{2 \times \frac{-9,8}{49}} = -1,5 \text{ m. Ici } x_{\max} = 6,5 \text{ m.}$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : MECANIQUE</b>	
<b>Compétence 1 : Traiter une situation se rapportant à mécanique</b>	
<b>Titre de la leçon : OSCILLATIONS MÉCANIQUES LIBRES</b>	
<b>Durée : 6H (3 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un oscillateur mécanique.
Connaître	Les caractéristiques générales d'un oscillateur mécanique.
Déterminer	L'équation différentielle d'un oscillateur mécanique non amorti.
Connaître	la forme générale de la solution de l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique
Déterminer	Les caractéristiques du mouvement d'un oscillateur mécanique non amorti : - La pulsation propre ; - La période propre ; - La fréquence propre ; - L'amplitude ; - La phase à l'origine des dates.
Écrire	La solution de l'équation différentielle.
Montrer	La conservation de l'énergie mécanique d'un oscillateur non amorti.
Tracer et Exploiter	Les graphes $x(t)$ et $v(t)$ .

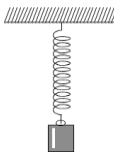
### **Situation d'apprentissage**

Lors de la préparation de la visite technique du véhicule de son Père, un élève en classe de Terminale C/D du Lycée, découvre un dépliant contenant les informations suivantes : « L'amortisseur d'une automobile fonctionne en duo avec un ressort de suspension pour assurer le confort à bord du véhicule ainsi que sa bonne tenue de route. Le rôle des amortisseurs est de maintenir les roues en contact avec le sol. Le ressort est soumis au processus de compression-détente continu en perdant à chaque fois un peu d'énergie. Si le ressort travaille seul, les oscillations se prolongent dans le temps. La fréquence et l'ampleur des mouvements occasionnés par le ressort doivent être contrôlés ».

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

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Ressort ; Potence ; - Solide ; Masses marquées ; - Chronomètre ; Banc à coussin d'air et accessoires ;	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>	
<b>1- <u>Caractéristiques générales d'un oscillateur mécaniques</u></b> 1.1- <u>Oscillateur mécanique</u> 1.2- <u>La période et la fréquence du mouvement</u> 1.3- <u>Oscillateur libre</u> 1.4- <u>Oscillateur harmonique</u> <b>2- <u>Etude d'un pendule élastique (non amorti)</u></b> 2.1- <u>Etude expérimentale d'un pendule élastique vertical</u>	2.2- <u>Etude théorique d'un pendule élastique horizontal</u> <b>2.2.1- <u>Équation différentielle</u></b> <b>2.2.2- <u>Equation horaire</u></b> <b>2.2.3- <u>Expressions et représentation graphique de <math>x(t)</math>, <math>v(t)</math> et <math>a(t)</math></u></b> <b><u>Activité d'application</u></b> <b>3- <u>Etude énergétique</u></b> 3.1- <u>Expression des énergies</u> 3.2- <u>Conservation de l'énergie mécanique</u> <b>4- <u>Oscillateur mécanique amorti</u></b>
<b>Situation d'évaluation</b>	

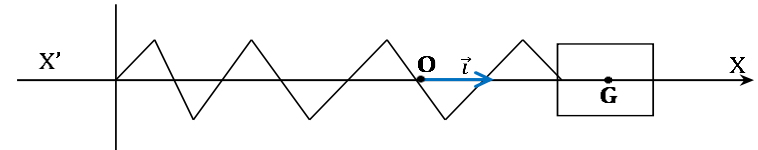
DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>OSCILLATIONS MÉCANIQUES LIBRES</b>
				<p><b>1. Caractéristiques générales d'un oscillateur mécaniques</b></p> <p>1.1. <u>Oscillateur mécanique</u> C'est un système mécanique qui effectue des mouvements d'aller-retour de part et d'autre de sa position d'équilibre. <b>Exemples</b> : une balançoire, un pendule élastique constitué d'un ressort et d'un solide fixé à l'une de ses extrémités...</p> <p>1.2. <u>La période et la fréquence du mouvement</u> Une oscillation est un aller-retour autour de la position d'équilibre. ✓ <b>La période T(s)</b> du mouvement est la durée d'une oscillation complète. ✓ <b>La fréquence N(Hz)</b> du mouvement correspond au nombre de périodes par seconde. La fréquence et la période du mouvement sont reliées par : <math>N = \frac{1}{T}</math></p> <p>1.3. <u>Oscillateur libre</u> C'est un oscillateur qui est abandonné à lui-même après excitation extérieure.</p> <p>1.4. <u>Oscillateur harmonique</u> C'est un oscillateur dont la loi horaire de son mouvement est une fonction sinusoïdale du temps.</p> <p><b>2. Etude d'un pendule élastique (non amorti)</b></p> <p>2.1. <u>Etude expérimentale d'un pendule élastique vertical</u> Caractéristiques de l'oscillateur : <math>k = 1\text{N/kg}</math> ; <math>m = 1\text{ kg}</math>. La mesure de 10 oscillations donne : <math>\Delta t = 6,3\text{ s}</math> La période de l'oscillateur est donc : <math>T = \frac{\Delta t}{10} = 6,3\text{ s}</math></p> 

## 2.2. Etude théorique d'un pendule élastique horizontal

On considère un pendule élastique constitué d'un ressort de raideur  $k$  dont l'extrémité libre est fixée à un solide. Le solide peut glisser sans frottement le long d'une tige horizontale.

À l'équilibre, le centre d'inertie  $G$  du solide coïncide avec l'origine  $O$  du repère.

On écarte le solide de sa position d'équilibre et on l'abandonne sans vitesse initiale

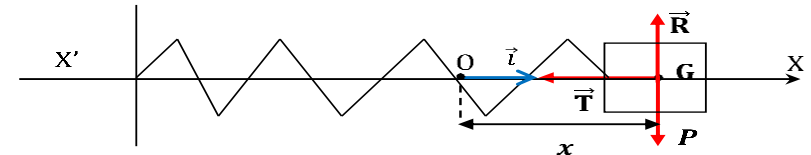


Il oscille autour de sa position d'équilibre et son centre d'inertie est repéré par son abscisse  $x$ .

### 2.2.1. Équation différentielle

- ✓ Système étudié : le solide de masse  $m$ ,
- ✓ Référentiel : terrestre supposé galiléen
- ✓ Bilan des forces extérieures appliquées au solide dans une position quelconque :

- Le poids du solide :  $\vec{P} = m\vec{g}$
- La réaction  $\vec{R}$  de l'axe
- Tension  $\vec{T}$  du ressort



Le théorème du centre d'inertie :  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T}$

Projetons cette relation dans la base  $(O, \vec{i})$  donne :

$$0 + 0 - T_x = ma_x \rightarrow -kx = m\ddot{x} \Leftrightarrow \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

C'est l'**équation différentielle** du mouvement de l'oscillateur.

**2.2.2. Equation horaire**

➤ Montrons que  $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  est solution

En effet  $\dot{x} = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) \rightarrow \ddot{x} = -X_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 x$   
 $\Leftrightarrow \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ .

$x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  est bien solution de cette l'équation différentielle quelles que soient les valeurs  $X_m$  et  $\varphi$  : il suffit de poser

que  $\omega_0^2 = \frac{k}{m} \Leftrightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  avec :

- ✓  $X_m$  : Amplitude du mouvement ou l'élongation maximale
- ✓  $\omega_0$  : Pulsation propre de l'oscillateur
- ✓  $\varphi$  : Phase à l'origine des dates

**NB** : Les grandeurs  $X_m$  et  $\varphi$  sont déterminées à partir des conditions initiales ( $x_0 = x(t=0)$  et  $v_0 = v(t=0)$ )

➤ Le mouvement du centre d'inertie d'un pendule élastique horizontal non amorti est **rectiligne et sinusoïdal**. C'est un **oscillateur harmonique**.

**Remarque :**

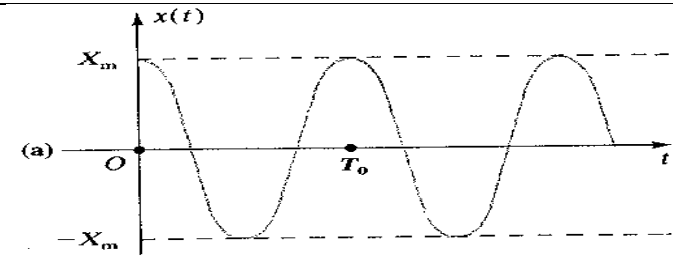
✓ La période propre :  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \Leftrightarrow T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  (s)

AN :  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{1}{1}} = 6,28$  s Ce qui est en accord avec la valeur expérimentale.

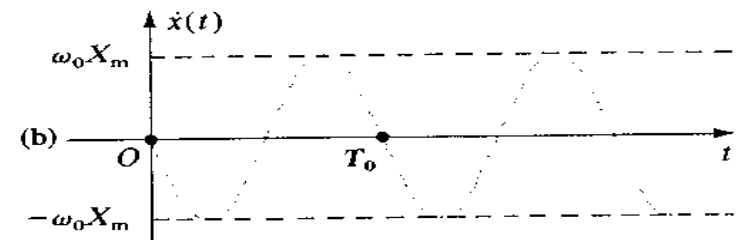
✓ La fréquence propre :  $N_0 = \frac{1}{T_0} \Leftrightarrow N_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$  (Hz)

**2.2.3. Expressions et représentation graphique de  $x(t)$ ,  $v(t)$  et  $a(t)$** 

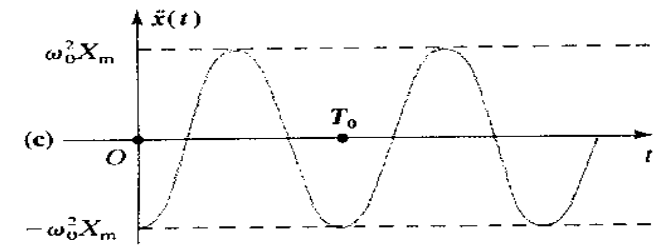
➤ La position :  $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$



- La vitesse :  $v(t) = \dot{x}(t) = -\omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$   
 Sa valeur est  $|\dot{x}| = \omega_0 X_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$  ; Sa valeur maximale est  $\omega_0 X_m$



- L'accélération :  $a(t) = \ddot{x}(t) = -\omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$   
 Sa valeur est  $|\ddot{x}| = \omega_0^2 X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  ; Sa valeur maximale est  $\omega_0^2 X_m$



### **Activité d'application**

L'équation horaire du mouvement d'un oscillateur mécanique harmonique est donnée par la relation :  $x = 5 \cos(15t + \frac{\pi}{6})$  avec  $x$  en cm et  $t$  en s.

- a- Détermine :
- a.1- l'amplitude, la période et la fréquence des oscillations.
  - a.2- la vitesse et l'accélération de l'oscillateur à chaque instant.
- b- Calcule la vitesse et l'accélération à l'instant  $t = 3s$ .

**Résolution détaillée**

a- Détermination de :

✓ L'amplitude des oscillations : on a  $x = 5 \cos(15t + \frac{\pi}{6})$  or la solution générale de l'équation différentielle est :  $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  donc par identification :  **$X_m = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$** .

✓ La période  $T_0$  et la fréquence  $N_0$  des oscillations :  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{1}{N_0}$   
comme  $\omega_0 = 15 \text{ rad/s} \rightarrow T_0 = \frac{2\pi}{15} = \mathbf{0,42 \text{ s}}$  et  $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0,42} = \mathbf{2,4 \text{ Hz}}$

✓ La vitesse de l'oscillateur :  $x = 5 \cos(15t + \frac{\pi}{6}) \rightarrow v = \dot{x} = -5 \cdot 10^{-2} \times 15 \sin(15t + \frac{\pi}{6}) = -0,75 \sin(15t + \frac{\pi}{6})$

$$v = -\mathbf{0,75 \sin(15t + \frac{\pi}{6})}$$

✓ L'accélération de l'oscillateur :  $v = -0,75 \sin(15t + \frac{\pi}{6}) \rightarrow a = \dot{v} = -0,75 \times 15 \cos(15t + \frac{\pi}{6}) = -11,25 \cos(15t + \frac{\pi}{6})$

$$a = -\mathbf{11,25 \cos(15t + \frac{\pi}{6})}$$

b- Calcul de :

✓ La vitesse à l'instant  $t = 3 \text{ s}$  : on a  $v = -0,75 \sin[15 \times 3 + (\frac{180}{6})] = -0,724 \text{ m/s}$

✓ L'accélération à l'instant  $t = 3 \text{ s}$  ;  $a = -11,25 \cos[15 \times 3 + (\frac{180}{6})] = -2,9 \text{ m/s}^2$ .

**3. Etude énergétique**3.1. Expression des énergies

➤ Énergie potentielle élastique du ressort :

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kX_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$

➤ Énergie cinétique du solide :

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mX_m^2\omega_0^2\sin^2(\omega_0t + \varphi)$$

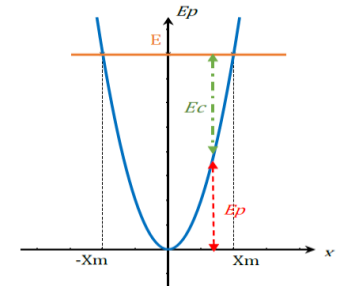
➤ L'énergie mécanique :

$$E = E_C + E_P = \frac{1}{2}kX_m^2\cos^2(\omega_0t + \varphi) + \frac{1}{2}mX_m^2\omega_0^2\sin^2(\omega_0t + \varphi)$$

### 3.2. Conservation de l'énergie mécanique

$$E = E_C + E_P = \frac{1}{2}kX_m^2(\cos^2(\omega_0t + \varphi) + \sin^2(\omega_0t + \varphi))$$

$$E = \frac{1}{2}kX_m^2 = \frac{1}{2}mX_m^2\omega_0^2 = \text{cste}$$



**Conclusion** : L'énergie mécanique d'un oscillateur harmonique se conserve.

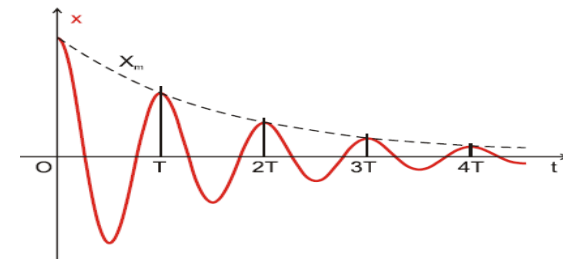
#### **Remarque :**

On retrouve l'équation différentielle en dérivant l'énergie mécanique par rapport au temps  $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \text{cste} \leftrightarrow \frac{dE}{dt} = 0$

### 4. **Oscillateur mécanique amorti**

En cas d'existence de frottements, l'oscillateur non entretenu est dit **amorti**. l'amplitude  $X_m$  des oscillations décroît progressivement et le mouvement est pseudopériodique.

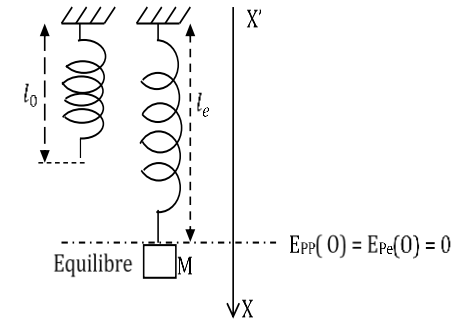
L'énergie mécanique de l'oscillateur diminue alors au cours du temps.



Enoncé de la situation  
d'évaluation

### Situation d'évaluation

Un solide de masse  $m$  que l'on pourra considérer comme ponctuel, est suspendu à l'extrémité d'un ressort de longueur à vide  $l_0$  et de raideur  $k$ . On suppose l'absence de toute force de frottement.



- 1) Détermine la longueur  $l_e$  du ressort lorsque le système est immobile à l'équilibre.
- 2) On repère la position du solide par sa cote sur l'axe  $(Ox)$  vertical orienté vers le bas. Le point  $O$  correspond à la position d'équilibre. Etablis l'équation différentielle vérifiée par  $x$ .
- 3) Calcule la somme de l'énergie potentielle de pesanteur du solide et de l'énergie potentielle élastique du ressort. On choisit le point  $O$  comme origine des énergies potentielles de pesanteur et élastique.
- 4) Détermine l'équation horaire du solide si à l'instant initial, il est lâché sans vitesse initiale de la cote  $x = x_0$ .

Données :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;  $l_0 = 20 \text{ cm}$  ;  $k = 100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$  ;  $m = 400 \text{ g}$  ;  $x_0 = -3 \text{ cm}$  .

### Résolution détaillée

- 1) En équilibre  $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow mg = kl_e \Rightarrow l_e = \frac{mg}{k}$  A.N :  $l_e = 0,0392 \text{ m} = 3,92 \text{ cm}$ .
- 2) D'après le TCI, on a :  $\vec{P} + \vec{T} = m\vec{a} \Rightarrow mg - k(l_e + x) = ma \Rightarrow -kx = m\ddot{x}$   
d'où l'équation différentielle :  $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$ .
- 3)  $E_{PP} = mgx_m$  ;  $E_{Ppe} = \frac{1}{2}kx_m^2$  A.N :  $E_{PP} = 0,12 \text{ J}$  ;  $E_{Ppe} = 0,045 \text{ J} \Rightarrow E_P = 0,165 \text{ J}$ .

Evaluation

Travail  
individuel

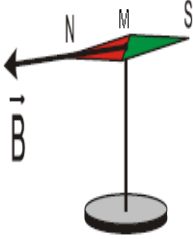
<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTROMAGNETISME</b>	
<b>Compétence 2 : Traiter une situation se rapportant à l'électromagnétisme</b>	
<b>Titre de la leçon : CHAMP MAGNETIQUE</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 4H (2 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	L'espace champ magnétique.
Déterminer	Les caractéristiques du vecteur- champ magnétique.
Représenter	le vecteur- champ magnétique $\vec{B}$ .
Définir	- Une ligne de champ. - Le spectre magnétique.
Représenter	Le spectre magnétique : d'un aimant droit et d'un aimant en « U ».
Définir	Un solénoïde.
Connaître	- Les règles d'orientation du champ magnétique. - Les sources de champ magnétique.
Représenter	Le spectre magnétique d'un solénoïde parcouru par un courant électrique continu.
Déterminer	Les caractéristiques du champ magnétique créé par un solénoïde parcouru par un courant électrique.
Connaître	L'unité de champ magnétique.
Tracer	le graphe $B = f(I)$ pour un solénoïde.
Utiliser	la relation $B = \mu_0 nI$ avec $n = N/l$
Déterminer	Les composantes horizontale et verticale du champ magnétique terrestre.

### Situation d'apprentissage

Un élève de la classe de Tle C du Lycée, 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.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Boussole ; Aimants (droit ; en U) ; Générateur - Poudre de fer - Solénoïde ; Solénoïde à plusieurs bobinages - Ampèremètre ; Teslamètre	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

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

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>CHAMP MAGNETIQUE</b></p> <p><b>1. Interactions magnétiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Des bobines parcourues par des courants de sens contraires se repoussent ; elles s'attirent si les courants sont de même sens.</li> <li>✓ Des pôles d'aimant de même nom se repoussent et des pôles de noms différents s'attirent</li> </ul> <p><b>2. Champ magnétique</b></p> <p>2.1. <u>Vecteur champ magnétique</u></p> <p>Un aimant agit à distance sur un autre aimant : il modifie les propriétés de l'espace qui l'entoure. Nous dirons que l'espace environnant un aimant ou une bobine parcourue par un courant est le siège d'<b>un champ magnétique</b>.</p> <p>Chaque point M du champ magnétique est caractérisé par un vecteur champ magnétique noté <math>\vec{B}(M)</math> dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b><u>Le point d'application</u></b> : le point M</li> <li>- <b><u>La direction</u></b> : celle de l'aiguille aimantée (boussole) placée en M</li> <li>- <b><u>Son sens</u></b> : dirigé du pôle sud vers le pôle nord de l'aiguille aimantée.</li> <li>- <b><u>Sa norme</u></b> : peut être déterminée par le calcul ou par mesure à l'aide d'un teslamètre à sonde de Hall.</li> </ul> <div style="text-align: right;">  </div> <p><b>Remarque</b> : l'unité du champ magnétique dans le S.I. est le tesla (symbole T)</p> <p>2.2. <u>Spectres magnétiques</u></p> <p><b>2.2.1. Définition</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Une ligne de champ est une courbe tangente en chacun de ses points avec le vecteur champ magnétique <math>\vec{B}</math>. Elle est orientée dans le sens de <math>\vec{B}</math>.</li> </ul>

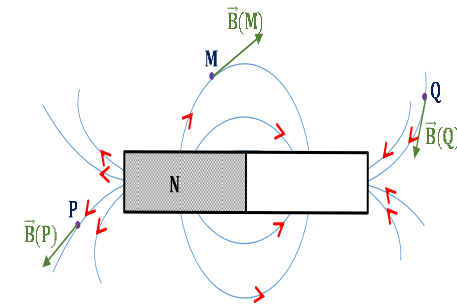
- ✓ Deux lignes de champ ne se coupent jamais parce qu'il n'existe qu'un seul vecteur champ magnétique en un point.
- ✓ L'ensemble des lignes de champ magnétique constitue le spectre du champ magnétique.

### 2.2.2. Visualisation de quelques spectres magnétiques

#### ➤ Spectre d'un champ magnétique créé par un aimant droit

Près des pôles les lignes de champ sont resserrées : le champ y est plus intense.

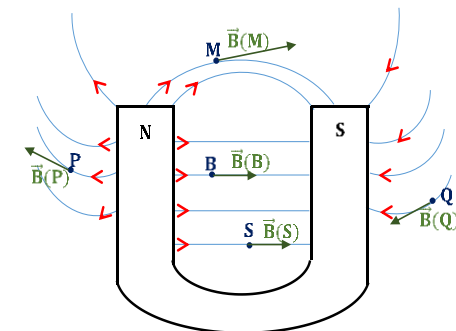
Les lignes de champ quittent le pôle nord pour converger vers le pôle sud.



Spectre magnétique d'un aimant droit

#### ➤ Spectre d'un champ magnétique créé par un aimant en U

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

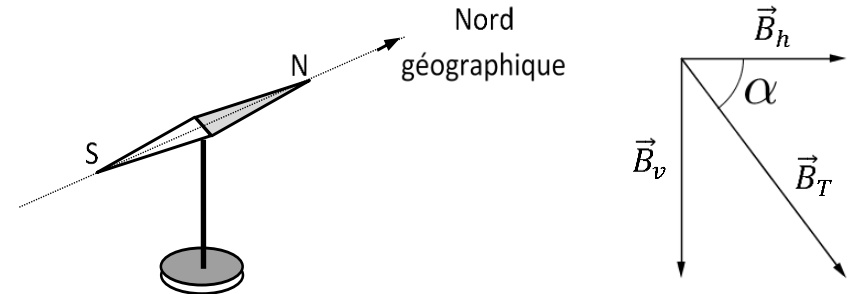


Spectre magnétique d'un aimant en U

### 2.3. Champ magnétique terrestre

Des aiguilles aimantées placées dans une région de l'espace loin de toute source apparente de champ magnétique, s'orientent toutes dans une même direction.

Cette direction particulière est due à la présence dans l'espace d'un champ magnétique : c'est le champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$ .



Le champ magnétique terrestre est la résultante de deux composantes :

$\vec{B}_h$  : composante horizontale du champ magnétique terrestre au point M.

$\vec{B}_v$  : composante verticale du champ magnétique terrestre au point M.

$$\vec{B}_T = \vec{B}_h + \vec{B}_v ; \alpha \text{ est l'angle d'inclinaison.}$$

**Remarque** : le champ magnétique terrestre se superpose toujours aux champs créés par les autres sources (aimants, courant) devant lesquels il est d'ailleurs souvent négligeable.

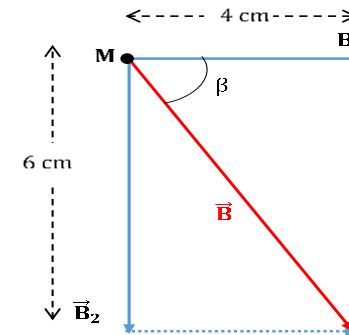
#### Activité d'application

En un point **M** de l'espace, règne deux champs magnétiques  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$ , de directions orthogonales de valeurs respectives  $B_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{T}$  et  $B_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{T}$ , créés par deux aimants droits dont les pôles Nord sont dirigés vers **M**.

- 1) Représente les champs  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  à l'échelle de 0,5 mT par cm.
- 2) Détermine :
  - 2.1) La valeur du champ  $\vec{B}$  résultant en **M**.
  - 2.2) L'angle  $\beta$  que fait  $\vec{B}$  avec  $\vec{B}_1$ .

**Résolution détaillée**

- 1) Le champ magnétique se dirige du pôle sud vers le pôle nord on aura donc :



2)

2.1) On a :  $B^2 = B_1^2 + B_2^2 \Rightarrow B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$  A.N :  $B = 3,6 \cdot 10^{-3} T$ .

2.2)  $\tan \beta = \frac{B_2}{B_1}$  A.N :  $\beta = 34^\circ$

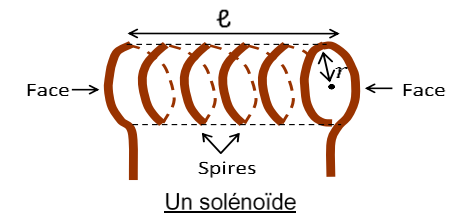
**3. Les solénoïdes****3.1. Définition**

Une bobine est un enroulement de fil électrique caractérisée par :

- ✓ Une longueur  $\ell$ ,
- ✓ Un nombre de spire  $N$ ,
- ✓ Le rayon  $r$  des spires.

Une bobine est longue si  $\ell \geq 10 \times r$ .

Un solénoïde est une bobine longue.

**3.2. Les faces d'une bobine**

Une bobine parcourue par un courant électrique se comporte comme un aimant. Elle possède deux faces : Une face NORD et une face SUD.

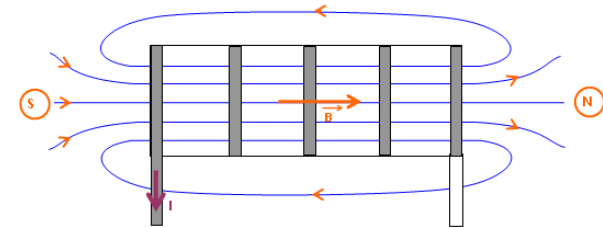


Pour retrouver les noms des faces, on peut utiliser la règle de la main droite :

- ✓ On tient la bobine dans la paume,
- ✓ Les doigts sont dans le sens du courant,
- ✓ Le pouce tendu indique la face Nord.

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

### 3.3. Le spectre magnétique



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

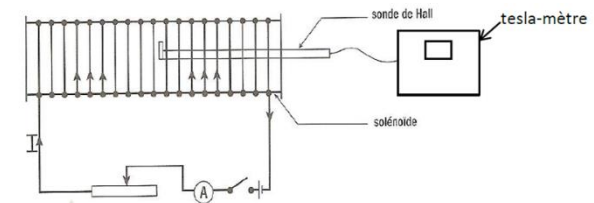
Il a pour caractéristiques :

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

## 4. Etude expérimentale de la variation du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde

### 4.1. Relation entre le champ B et l'intensité I du courant

#### 4.1.1. Expérience 1



Les caractéristiques du solénoïde sont : longueur  $l_1 = 0,5m$ , nombre de spires  $N_1 = 240$  spires.

Pour chaque valeur de  $I$ , on mesure la valeur  $B_1$  du champ magnétique puis on calcule  $B_1/I$ .

**4.1.2. Résultats et interprétation**

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

<b>I (A)</b>	1	2	3	4
<b>B<sub>1</sub>(T)</b>	6.10 <sup>-4</sup>	12.10 <sup>-4</sup>	18.10 <sup>-4</sup>	24.10 <sup>-4</sup>
<b>B<sub>1</sub>/I</b>	6.10 <sup>-4</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	6.10 <sup>-4</sup>

On déduit du tableau que **B<sub>1</sub>** est proportionnel à I : **B<sub>1</sub> = 6.10<sup>-4</sup>I** ; plus généralement, **B = k<sub>1</sub>I**

**4.2. Relation entre le champ B et le nombre n de spires par mètre****4.2.1. Expérience 2 et résultats**

On reprend l'expérience 1 avec un solénoïde de longueur  $l_2 = 0,80m$  comportant  $N_2 = 768$  spires.

On obtient les résultats suivants :

<b>I (A)</b>	1	2	3	4
<b>B<sub>2</sub>(T)</b>	12.10 <sup>-4</sup>	24.10 <sup>-4</sup>	36.10 <sup>-4</sup>	48.10 <sup>-4</sup>

**4.2.2. Interprétation 2**

Calculons le nombre  $n_1$  et  $n_2$  de spires par mètre pour chacun des deux solénoïdes.

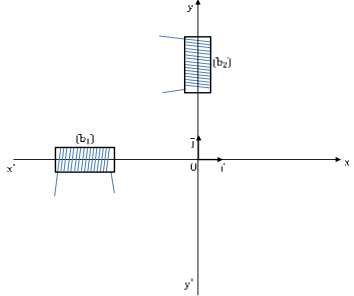
On a :  $n = \frac{N}{l} \rightarrow n_1 = 480sp/m$  et  $n_2 = 960sp/m$ . On constate que lorsque  $n_2 = 2n_1$  et  $B_2 = 2B_1$ .

A l'intérieur d'un solénoïde, le champ magnétique est proportionnel au nombre de spires par mètre : **B = k<sub>2</sub>n**

**4.3. Expression de B en fonction de n et I**

On reprend les résultats de l'expérience 1 en calculant le rapport  $B_1/(n_1I)$ .

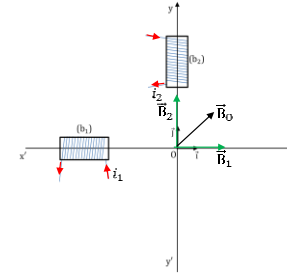
<b>I (A)</b>	1	2	3	4
<b>B<sub>1</sub>(T)</b>	6.10 <sup>-4</sup>	12.10 <sup>-4</sup>	18.10 <sup>-4</sup>	24.10 <sup>-4</sup>
<b>B<sub>1</sub>/(n<sub>1</sub>I)</b>	1,25.10 <sup>-6</sup>	1,25.10 <sup>-6</sup>	1,25.10 <sup>-6</sup>	1,25.10 <sup>-6</sup>

				<p>Ces résultats montrent que <math>B_1</math> est proportionnelle au produit <math>n_1 I \leftrightarrow B_1 = k_1 n_1 I = 1,2510^{-6} I</math>. En outre <math>\mu_0 = 4. \pi. 10^{-7} \approx 1,25. 10^{-6}</math> (perméabilité magnétique du vide)</p> <p>4.4. <u>Conclusion</u>  À l'intérieur d'un solénoïde comportant <math>n</math> spires par mètre et parcouru par un courant d'intensité <math>I</math>, l'expression du champ magnétique est :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">\mathbf{B} = \mu_0 n \mathbf{I} = \mu_0 \frac{N}{\ell} I</math> </div>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p><u>N.B</u> : on négligera le champ magnétique terrestre.</p> <p>Le plan est muni d'un repère d'axes <math>x'ox</math> et <math>y'oy</math> orthogonaux. Sur <math>x'ox</math> le vecteur unitaire est <math>\vec{i}</math> et sur <math>y'oy</math> le vecteur unitaire est <math>\vec{j}</math>.</p> <p>Une bobine (<math>b_1</math>), d'axe <math>x'ox</math>, crée en O, un champ magnétique <math>\vec{B}_1</math>.</p> <p>Une bobine (<math>b_2</math>), d'axe <math>y'oy</math>, crée en O, un champ magnétique <math>\vec{B}_2</math> (voir figure).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Précise sur un schéma : <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Le sens du courant <math>i_1</math> dans les spires de (<math>b_1</math>) pour qu'on ait <math>\vec{B}_1 = B_1 \vec{i}</math> avec <math>B_1 = \ \vec{B}_1\ </math>.</li> <li>1.2. Le sens du courant <math>i_2</math> dans les spires de (<math>b_2</math>) pour qu'on ait <math>\vec{B}_2 = B_2 \vec{j}</math> avec <math>B_2 = \ \vec{B}_2\ </math>.</li> </ol> </li> <li>2. Soit <math>B_1 = k. i_1</math> avec <math>k</math> un réel. Détermine <math>k</math>, lorsque <math>i_1 = 12,5</math> A, on a <math>B_1 = 5. 10^{-3}</math> T.</li> </ol>

3. On admet aussi que  $B_2 = k \cdot i_2$  ; on donne  $i_1 = 6A$  et  $i_2 = 8A$ .  
Calcule B intensité du champ magnétique  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$  en O.

### Résolution

1. Sens de  $i_1$  et  $i_2$



N.B : on utilise la main droite ; le pouce : sens du champ et les doigts : sens du courant de sorte que la paume soit à l'intérieur de la bobine.

2. Détermination de k :

$$B_1 = k \cdot i_1 \Rightarrow k = \frac{B_1}{i_1} \text{ A.N} : k = 4 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot \text{A}^{-1}.$$

3. Calcul de B :  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \Rightarrow B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(k \cdot i_1)^2 + (k \cdot i_2)^2} \Rightarrow$   
 $B = k \cdot \sqrt{i_1^2 + i_2^2} \text{ A.N} : B = 4 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$

### Evaluation à faire à la maison

On utilise un aimant droit  $A_1$  pouvant créer, en un point M de son environnement, un champ magnétique d'intensité  $B_1 = \frac{10^{-5}}{r^2} \text{ T}$  avec r: la distance entre le point M et l'aimant.

1. L'aimant  $A_1$  est placé comme l'indique la figure 1 ci-dessous.  $r = 0,2 \text{ m}$ .

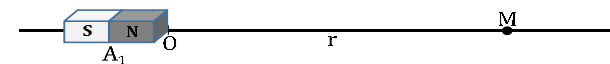


Figure 1

- 1.1. Calcule l'intensité du vecteur champ  $\vec{B}_1$  créé par  $A_1$  au point M.  
1.2. Représente le vecteur  $\vec{B}_1$  à l'échelle  $10 \cdot 10^{-5} \text{ T}$  par cm.

2. Un autre aimant droit  $A_2$ , identique à  $A_1$ , est placé sur l'axe (OM), symétriquement à  $A_1$  par rapport à M, ; avec le pôle sud dirigé vers M (voir figure 2).

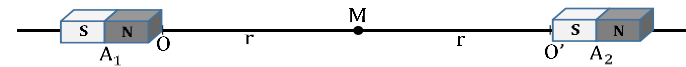
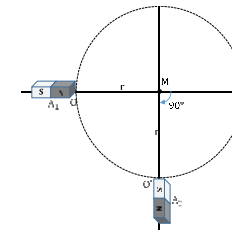


Figure 2

- 2.1. Représente le vecteur champ  $\vec{B}_2$  créé par l'aimant  $A_2$  au point M.  
 2.2. Représente le vecteur champ résultant  $\vec{B}_M = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$  et calcule son intensité.  
 3. Sur une circonférence de rayon  $r = 0,2$  m, on fait tourner  $A_2$  de  $\theta = 90^\circ$  dans le sens des aiguilles d'une montre.



- 3.1. Représente les vecteurs  $\vec{B}_2$  et  $\vec{B}_M$  après rotation.  
 3.2. Calcule l'intensité de  $\vec{B}_M$ .  
 3.3. Une aiguille aimantée, posée en M quelques instants avant la rotation de  $A_2$ , tourne d'un angle  $\alpha$  après la rotation de  $A_2$ . Calcule l'angle  $\alpha$ .

### Résolution

1.

1.1. Calcul de  $B_1$  :  $B_1 = \frac{10^{-5}}{r^2} r = 0,2 \text{ m} \Rightarrow B_1 = \frac{10^{-5}}{(0,2)^2} = 25 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

1.2. Représentation de  $\vec{B}_1$  : (voir cours)

2.

2.1. Représentation de  $\vec{B}_2$  : (voir cours)  $B_2 = B_1 = 25 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

2.2. Représentation de  $\vec{B}_M$  :  $\vec{B}_M$  colinéaire de même sens à  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  :  
 $B_M = 2B_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$

				<p>3.</p> <p>3.1. Représentation de <math>\vec{B}_M</math> : (voir cours).</p> <p>3.2. <math>B_M = B_1\sqrt{2} = 3,5 \cdot 10^{-4}\text{T}</math></p> <p>3.3. <math>\tan \alpha = \frac{B_2}{B_1} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{4}</math></p>
--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTROMAGNETISME</b>	
<b>Compétence 2 : Traiter une situation se rapportant à l'électromagnétisme</b>	
<b>Titre de la leçon : MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME</b>	
<b>Durée : 6H (3 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	La force de Lorentz.
Connaître	- L'expression de la force de Lorentz. - Les règles d'orientation de la force de Lorentz.
Représenter	la force de Lorentz $\vec{F} = q\vec{v}\wedge\vec{B}$ .
Déterminer	Les caractéristiques de la force de Lorentz.
Déterminer	la nature du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme (cas particulier où $\vec{B} \perp \vec{v}$ ).
Connaître	l'expression du rayon de la trajectoire d'une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme $R = mv/ q B$
Utiliser	la relation $R = mv/ q B$
Déterminer	La déflexion magnétique.
Analyser	Le mouvement d'une particule chargée dans : - Un spectromètre de masse ; - Un cyclotron ; - Un filtre de Wien ou filtre de vitesses.

### Situation d'apprentissage

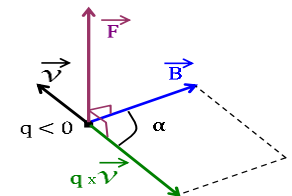
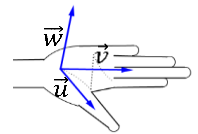
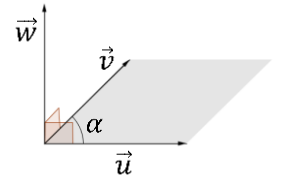
Des élèves en classe de Terminale du Lycée ont assisté à un documentaire diffusé par RTI2. Ce documentaire explique l'action d'un aimant sur un faisceau d'électrons et l'utilité du tube à déflexion dans les postes téléviseurs.

Soucieux d'approfondir les explications données dans le documentaire, ces élèves et leurs camarades de classe font des recherches pour définir la force de Lorentz, déterminer ses caractéristiques et analyser le mouvement d'une particule chargée dans un spectromètre de masse, dans un cyclotron et dans un filtre de vitesses.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Tube à déflexion (Jeulin) ou tubes de Crookes - Alimentation stabilisée ; Bobines de Helmholtz - Voltmètre ; Ampèremètre - Aiguille Aimantée	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>	
<b>1- Rappels sur le produit vectoriel</b> <b>2- La force de Lorentz</b> 2.1- Définition 2.2- Les caractéristiques de la force <b>Activité d'Application</b> <b>3- Étude expérimentale</b> 3.1- Dispositif expérimental 3.2- Observations et interprétation <b>4- Etude théorique : Cas ou <math>\vec{V}_0 \perp \vec{B}</math> (<math>\alpha = \frac{\pi}{2}</math> rad)</b>	4.1- Présentation 4.2- Étude dynamique 4.3- Nature du mouvement 4.4- Expression de la période et de la fréquence <b>5- Applications</b> 5.1- Le spectrographe de masse 5.2- La déflexion magnétique 5.3- Le filtre de Wien (filtre de vitesse) 5.4- Le cyclotron
<b>Situation d'évaluation</b>	

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME</b>
				<p><b>1. Rappels sur le produit vectoriel</b></p> <p>Soit <math>\vec{u}</math> et <math>\vec{v}</math> deux vecteurs de l'espace. On appelle produit vectoriel de <math>\vec{u}</math> et <math>\vec{v}</math>, le vecteur <math>\vec{w}</math> tel que : <math>\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v}</math>.</p> <p>Ses caractéristiques sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Direction</b> : perpendiculaire aux plans formés par <math>\vec{u}</math> et <math>\vec{v}</math>.</li> <li>✓ <b>Sens</b> : tel que le trièdre <math>(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})</math> soit direct.</li> <li>✓ <b>Norme</b> : <math>\ \vec{w}\  = \ \vec{u}\  \cdot \ \vec{v}\  \cdot  \sin \alpha </math></li> </ul> <p><b>NB</b> : le sens du produit vectoriel est défini par <b>la règle de la main droite</b> ou une autre méthode (bonhomme d'Ampère...)</p> <p><b>Remarque</b> :</p> <p>Si <math>\vec{u} \parallel \vec{v}</math> alors <math>\sin \alpha = 0 \Rightarrow \vec{w} = \vec{0}</math> ;</p> <p>Si <math>\vec{u} \perp \vec{v}</math> alors <math>\sin \alpha = \pm 1 \Rightarrow w = u \times v</math></p> <p><b>2. La force de Lorentz</b></p> <p>2.1. <u>Définition</u></p> <p>Dans un champ magnétique (<math>\vec{B}</math>), une particule de charge électrique (<math>q</math>), animée d'une vitesse (<math>\vec{v}</math>), subie <b>la force magnétique de Lorentz</b> défini par : <math>\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}</math></p> <p>2.2. <u>Les caractéristiques de la force</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Point d'application</b> : sur la particule,</li> <li>✓ <b>Direction</b> : la perpendiculaire au plan <math>(q\vec{v}, \vec{B})</math>,</li> <li>✓ <b>Sens</b> : est tel que le trièdre <math>(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})</math> soit direct,</li> <li>✓ <b>Valeur</b> : <math>F =  q \times v \times B \times \sin(\vec{v}, \vec{B}) </math></li> </ul>



Avec  $F$  en Newton (N),  $V$  en mètre par seconde ( $m.s^{-1}$ ) et  $B$  en Tesla (T).  
 On retrouve la direction et le sens de  $\vec{F}$  par **la règle des trois doigts de la main droite**

- L'index est placé suivant la direction et le sens de  $q \cdot \vec{v}$ ,
- Le majeur est placé suivant la direction et le sens de  $\vec{B}$ ,
- Le pouce tendu donne la direction et le sens de  $\vec{F}$ .

**NB :**

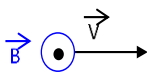
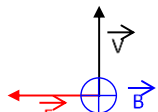
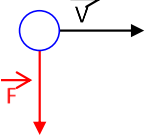
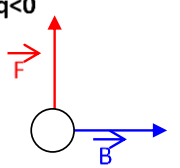
On a toujours  $\vec{B} \perp \vec{v} \Rightarrow$  la puissance  $\mathcal{P}(F) = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \times v \times \cos(\vec{F}, \vec{v})$   
 $\mathcal{P}(F) = F \times v \times \cos(\frac{\pi}{2}) = 0$  Or  $\mathcal{P}(F) = \frac{W_{\vec{F}}}{\Delta t} \Rightarrow W_{\vec{F}} = 0$  : **La force de Lorentz ne travaille pas.**

**Notation**

Tout vecteur orienté vers l'avant du plan de travail sera noté :  $\odot$   
 Tout vecteur orienté vers l'arrière du plan de travail sera noté :  $\otimes$

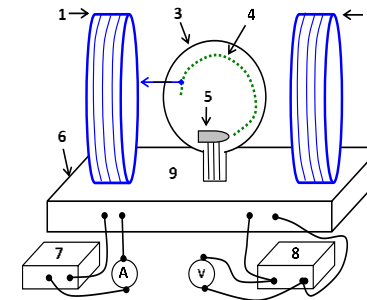
**Activité d'Application**

Sur les schémas ci-dessous doivent figurer  $\vec{V}$ ,  $\vec{B}$  et  $\vec{F}$  ( $\vec{F}$  force de Lorentz).  
 Sachant que  $\vec{V}$  est orthogonal à  $\vec{B}$ .  
 Représenter le vecteur manquant et déterminer le signe de la charge  $q$  si elle n'est pas donnée.

Représentation de $\vec{F}$	Signe de la charge $q$	Représentation de $\vec{B}$	Représentation de $\vec{V}$
$q > 0$ 	 $q \dots\dots\dots$	$q < 0$ 	$q < 0$ 

**Résolution :**

- Représentation de  $\vec{F}$  :  $\vec{F}$  est verticale dirigée vers le bas.
- Signe de la charge  $q$  :  $q > 0$ .
- Représentation de  $\vec{B}$  :  $\vec{B}$  est entrant.
- Représentation de  $\vec{V}$  :  $\vec{V}$  est entrant.

**3. Étude expérimentale****3.1. Dispositif expérimental**

**1 et 2** : Bobines d'Helmholtz. Entre les bobines le champ magnétique est uniforme.

**3** : Ampoule contenant un gaz fluorescent. Elle est mobile pour permettre de changer la direction de la vitesse de sortie des électrons.

**4** : Trace des électrons.

**5** : Canon à électrons.

**6** : Boîte de circuits électriques.

**7** : Générateur stabilisé pour alimenter les bobines.

**8** : Générateur THT (0 – 700V) pour alimenter le canon à électrons.

**9** : Aiguille aimantée pour indiquer la direction et le sens du champ magnétique.

**3.2. Observations et interprétations**

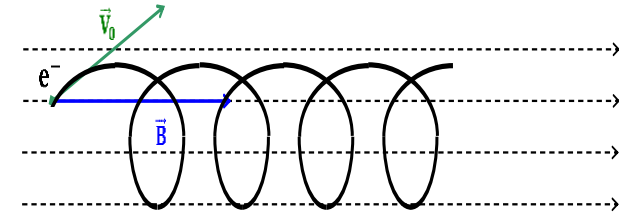
➤  $\vec{V}_0$  colinéaire à  $\vec{B}$  : La particule n'est pas déviée.

$$\alpha = (\vec{v}, \vec{B}) = 0 \text{ ou } \pi \text{ rad} \rightarrow \sin(\alpha) = 0 \rightarrow F = |q \times v \times B \times \sin(\alpha)| = 0$$

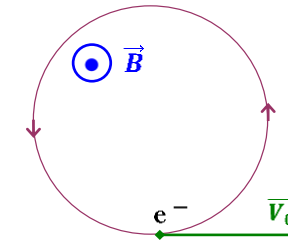
La particule ne subit aucune force ( $F = 0$ , Poids négligé).

Étant isolée dans un référentiel galiléen, elle a un mouvement rectiligne uniforme.

➤  $\vec{V}_0$  fait un angle quelconque avec  $\vec{B}$  :  $\alpha \notin \{0, \pm \pi, \pm \frac{\pi}{2}\}$ , La particule a un mouvement hélicoïdal.



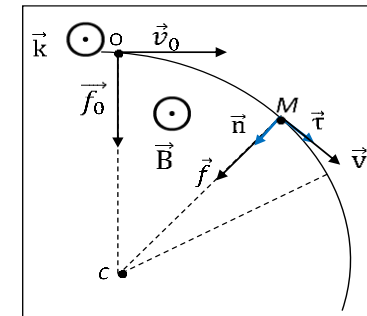
➤  $\vec{V}_0$  est perpendiculaire à  $\vec{B}$  :  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  rad. La particule a un mouvement circulaire uniforme situé dans le plan  $\perp$  à  $\vec{B}$ .



4. **Etude théorique** : Cas où  $\vec{V}_0 \perp$  à  $\vec{B}$  ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$  rad)

#### 4.1. Présentation

Soit une particule de charge  $q$  et de vitesse  $\vec{V}_0$  qui entre dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ .



- À  $t_0$ : La particule a une vitesse  $\vec{v}_0$  et subie la force  $\vec{F}_0 = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$  avec  $F_0 = qv_0B$ .

- A  $t \neq 0s$  : La particule a une vitesse  $\vec{v}$  et subie la force  $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$  avec  $F = qvB$ .

#### 4.2. Étude dynamique

✓ **Systeme** : Particule de charge  $q = -e$  et de masse  $m$ .

✓ **Référentiel** : Terrestre supposé Galiléen.

✓ **Bilan des forces extérieures** :

- La force de Lorentz  $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$

- Le poids  $\vec{P} = m\vec{g}$  négligé.

Théorème du CI :  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{a} = \frac{1}{m}(q\vec{v} \wedge \vec{B})$

#### 4.3. Nature du mouvement

➤ **Le mouvement est uniforme** :

✓ Première méthode :

La puissance de la force de Lorentz qui s'exerce sur la particule chargée est :  $\mathcal{P} = \vec{f} \cdot \vec{v} = 0$  car  $\vec{f} \perp \vec{v}$  ; donc  $W(\vec{f}) = 0$  et  $\Delta E_C = 0 \Leftrightarrow v = \text{cste}$   
 $\Rightarrow$  Le mouvement d'une particule chargée, soumise à la seule force de Lorentz est uniforme.

✓ Deuxième méthode :

Appliquons le théorème du centre d'inertie :

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = m \cdot \vec{a} = q \vec{v} \wedge \vec{B} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{v} \wedge \vec{B} \Leftrightarrow \vec{a} \perp \vec{v} \Leftrightarrow \vec{a} \cdot \vec{v} = 0$$

$\Rightarrow$  Le mouvement est uniforme

➤ **Le mouvement est plan** :

Considérons un axe  $(O, z)$  colinéaire à  $\vec{B}$  et  $\vec{k}$  un vecteur unitaire tel que  $\vec{B} = B\vec{k} \Rightarrow \vec{a} \cdot \vec{k} = 0 = a_z$  or  $a_z = \frac{dv_z}{dt} \Rightarrow v_z = \text{cste} = v_{0z} = 0$  ;

de plus  $v_z = \frac{dz}{dt} \Rightarrow z = z_0 = 0 \Rightarrow$  Le mouvement de la particule s'effectue dans le plan  $z = 0$ .

➤ **Le mouvement est circulaire** :

Dans la base de Frenet,  $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$ ; or  $v = \text{cte}$ , donc  $\frac{dv}{dt} = \mathbf{0}$  et  $\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n}$ ;  $\frac{v^2}{R} = \frac{q}{m} \cdot v \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B})$  avec  $(\vec{v}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2}$ ; finalement  $R = \frac{mv}{|q|B} \Rightarrow$  La trajectoire est circulaire de rayon  $R$

### ➤ Conclusion

Lorsqu'une particule chargée entre dans un champ magnétique uniforme avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  perpendiculaire au champ magnétique, cette particule décrit un mouvement circulaire uniforme de rayon  $R = \frac{mv_0}{|q|B}$ , dans un plan perpendiculaire au champ  $\vec{B}$  et contenant  $\vec{v}_0$ .

#### 4.4. Expression de la période et de la fréquence

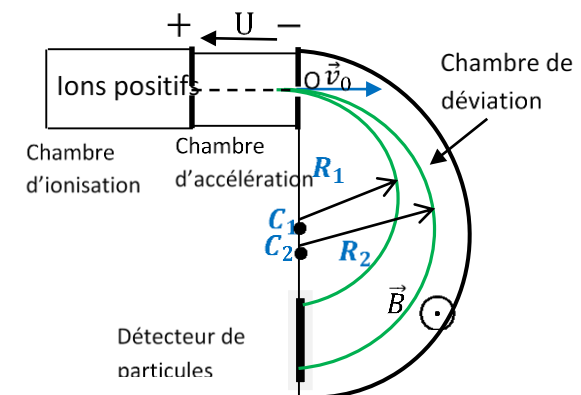
la période :  $T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{|q|B}$ ; la fréquence :  $f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$ ; la vitesse angulaire:  $\omega = \frac{v_0}{R} = \frac{|q|B}{m}$

Ces grandeurs sont indépendantes de la vitesse de la particule.

## 5. APPLICATIONS

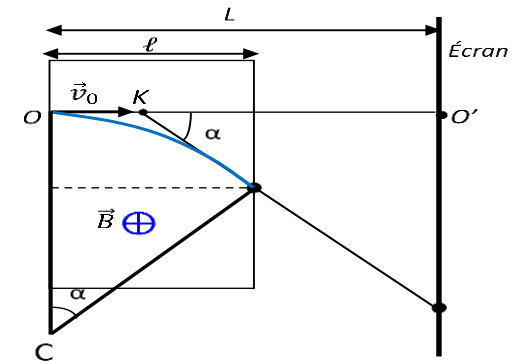
### 5.1. Le spectrographe de masse

Il sert à séparer les ions isotopes d'un même élément chimique. Il est formé de quatre compartiments, le tout placé dans un vide très poussé.



- ✓ **La Chambre d'ionisation** : les ions de même charge  $q$  mais de masses différentes  $y$  sont produits.
- ✓ **La chambre d'accélération** : les ions y pénètrent avec une vitesse négligeable avant d'être accélérés par la tension  $U > 0$  et en ressortent avec une vitesse  $v_0 = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}}$
- ✓ **Chambre de déviation** : les ions sont déviés par un champ magnétique en décrivant des demi-cercles de rayons respectifs  $R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{|q|}}$  et  $R_2 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{|q|}}$ ; Ainsi  $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$ ;  $R_1 > R_2 \Rightarrow m_1 > m_2$  : La particule de plus grande masse décrit le cercle de plus grand rayon
- ✓ **Le détecteur** : il recueille les particules.

### 5.2. La déflexion magnétique



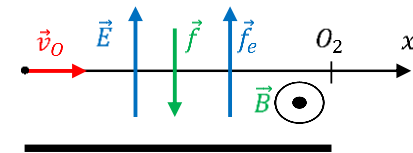
Un faisceau d'électrons, de vecteur-vitesse  $\vec{v}_0$  pénètre en O dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ . Dans cette région de largeur  $l$ , la trajectoire des électrons est un arc de cercle de centre C et de rayon R. le faisceau sort de cette région en S et décrit ensuite une trajectoire rectiligne.

Évaluons la distance  $O'I = D$  observée sur l'écran, appelée déflexion magnétique. On suppose que  $l \ll L$

On a  $CS = R$  et  $\sin \alpha = \frac{l}{R}$ ;  $\tan \alpha = \frac{D}{L} \approx \sin \alpha$  car  $\alpha$  est petit

$$\text{Donc } \frac{D}{L} = \frac{\ell}{R} \leftrightarrow D = \frac{L \cdot \ell}{R} \leftrightarrow \mathbf{D} = \left( \frac{|q|}{mv_0} \right) \mathbf{BL}\ell$$

### 5.3. Le filtre de Wien (filtre de vitesse)



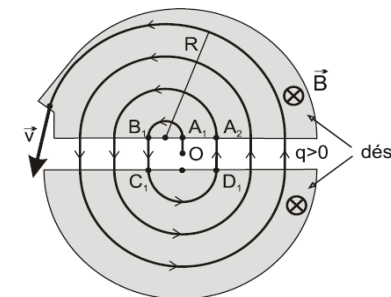
C'est un dispositif qui permet de séparer les isotopes d'une même source en fonction de leur vitesse. Ces ions pénètrent en  $O_1$  avec des vitesses différentes.

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

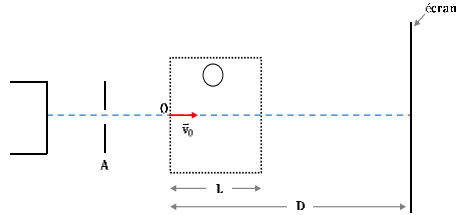
On observe que certains ions ont un mouvement rectiligne, d'autres déviés soit dans le sens de  $\vec{f}$  Soit selon  $\vec{f}_e$  selon les conditions suivantes :

- ✓ Si l'ion entre dans le filtre avec une vitesse  $\mathbf{v}_0 = \frac{E}{B}$ , il n'est pas dévié
- ✓ Si l'ion entre dans le filtre avec une vitesse  $\mathbf{v}_1 > \mathbf{v}_0$ , ( $f_e < f_m$ ), il est dévié dans le sens de  $\vec{f}_m$
- ✓ Si l'ion entre dans le filtre avec une vitesse  $\mathbf{v}_2 < \mathbf{v}_0$ , ( $f_e > f_m$ ), il est dévié dans le sens de  $\vec{f}_e$

### 5.4. Le cyclotron



- ✓ C'est un type d'accélérateur circulaire de particules chargées qui est constitué de deux électrodes en forme de D (dés).

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un champ magnétique uniforme règne à l'intérieur des dés où les particules décrivent des demi - cercles.</li> <li>- Une tension électrique alternative appliquée entre les dés accélère les particules à chaque traversée, la fréquence du champ électrique résultant étant la même que celle des particules.</li> <li>✓ La durée du parcours des demi- cercles est <math>\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{\pi R}{v} = \frac{\pi m}{ q B}</math></li> <li>✓ La durée de révolution de la particule est donc : <math>T = 2\Delta t = \frac{2\pi m}{ q B}</math></li> <li>✓ La vitesse maximale acquise par ces ions est liée au rayon utile maximal des dés (<math>R_m</math>) : <math>v_m = \frac{ q R_mB}{m}</math></li> <li>✓ L'énergie cinétique maximale est alors : <math>E_C = \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2}{m} R_m^2</math></li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Dans un tube cathodique de téléviseur, des électrons sont émis sans vitesse initiale par une cathode C, puis accélérés par l'anode A ; ils pénètrent en O, avec une vitesse <math>\vec{v}_0</math> dans un champ magnétique <math>\vec{B}</math>, orthogonal au plan de la figure. Le Champ n'existe que dans la zone de longueur L. On supposera <math>L = 1\text{cm} \ll D</math>. On donne <math>v_0 = 10^7 \text{ m/s}</math> ; <math>m_e = 9,1. 10^{-31} \text{ kg}</math> ; et <math>e = 1,6. 10^{-19} \text{ C}</math>. Un écran E placé à une distance <math>D = 50,0 \text{ cm}</math> de O, reçoit le faisceau d'électrons.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcule la tension accélératrice <math>U_{AC}</math>.</li> <li>2. Mouvement d'un électron dans l'espace de longueur L ; Les électrons sont déviés vers le haut.       <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Représente, en le justifiant le champ <math>\vec{B}</math>.</li> </ol> </li> </ol>

2.2. Montre que le mouvement d'un électron est circulaire et uniforme.

2.3. Calcule le rayon de la trajectoire pour  $B = 10^{-3}$  T.

3. Exprime puis calcule la valeur de :

3.1. La déflexion magnétique sur l'écran.

3.2. La déviation magnétique  $\alpha$  subie par le faisceau.

### Résolution

1. La tension accélératrice  $U_{AC}$  :

d'après le TEC on a :  $\frac{1}{2}mv_0^2 = |q|U_{AC} \Rightarrow U_{AC} = \frac{mv_0^2}{2|q|}$ , pour l'électron  $|q| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C  $\Rightarrow U_{AC} = 284,4$  V.

2.

2.1. Représentation du champ  $\vec{B}$  :  $\vec{B}$  est sortant car  $q < 0$  et  $\vec{F}_m$  dirigée vers le haut.

2.2.

D'après le TCI :  $m \cdot \vec{a} = q \vec{v} \wedge \vec{B} \Rightarrow \vec{a} \cdot \vec{v} = 0$  : mouvement uniforme.

Dans la base de Frenet,  $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$  ; or  $v = \text{cte}$ , donc  $\frac{dv}{dt} = \mathbf{0}$  et

$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n}$  ;  $\frac{v^2}{R} = \frac{q}{m} \cdot v \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B})$  avec  $(\vec{v}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2}$  ; finalement  $R = \frac{mv}{|q|B} \Rightarrow$  La

trajectoire est circulaire de rayon R.

Les électrons ont donc un mouvement circulaire et uniforme.

2.3. Rayon de la trajectoire :

$$R = \frac{mv}{|q|B} = \frac{mv_0}{eB} \text{ A.N : } R = 5,68 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 5,7 \text{ cm.}$$

3.

3.1. La déflexion magnétique sur l'écran :

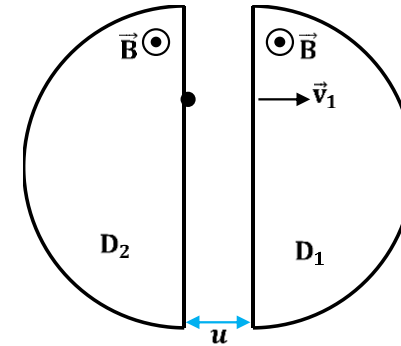
$$\text{On a } h = \left( \frac{|e|}{mv_0} \right) BDL \text{ A.N : } h = \left( \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31} \times 10^7} \right) \times 10^{-3} \times 50 \cdot 10^{-2} \times 10^{-2} = 8,79 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 8,8 \text{ cm.}$$

3.2. La déviation magnétique  $\alpha$  :  $\tan \alpha = \frac{h}{D} \Rightarrow \alpha = -\arctan\left(\frac{h}{D}\right)$  A.N :

$$\alpha = 10^\circ$$

**Evaluation à faire à la maison**

Un cyclotron est constitué de deux demi-cylindres  $D_1$  et  $D_2$  séparés par une distance  $\ell$  très petite. Le tout est placé dans le vide. Un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , perpendiculaire au plan de la figure, est créé dans  $D_1$  et  $D_2$ . On applique entre  $D_1$  et  $D_2$  une tension accélératrice  $u$ , variable de période  $T = 6,56 \mu\text{s}$ . Un faisceau de protons homocinétiques est introduit pratiquement sur le bord de  $D_2$  entre  $D_1$  et  $D_2$  (voir figure)



1. On règle  $u$  pour que le proton rentre dans  $D_1$  avec la vitesse  $\vec{v}_1$  de valeur  $v_1 = 1.10^4 \text{m/s}$  ; il décrit un demi-cercle de rayon  $R_1$  à la vitesse constante.
  - 1.1. Exprime La durée  $\tau$  mise par le proton dans  $D_1$  en fonction de  $m$ ,  $e$  et  $B$ .
  - 1.2. Exprime La période  $T$  de la tension  $u$  en fonction de  $\tau$  puis de  $e$ ,  $B$  et  $m$ .
  - 1.3. Calcule  $B$  intensité de  $\vec{B}$ .
  - 1.4. Exprime  $v_1$  en fonction de  $m$ ,  $e$  et  $u$ .
  - 1.5. Exprime  $R_1$  en fonction de  $e$ ,  $B$ ,  $m$  et  $v_1$ . Et calcule sa valeur.
2. Le proton sort de  $D_1$  et pénètre dans  $D_2$  avec une vitesse  $\vec{v}_2$  et y décrit un demi-cercle de rayon  $R_2$ .
  - 2.1. Exprime  $v_2$  en fonction de  $v_1$ .
  - 2.2. Exprime  $R_2$  en fonction de  $R_1$ .
3. A la  $n^{\text{ème}}$  entrée du proton dans  $D_1$ , sa vitesse est  $v_n$  et le rayon de sa trajectoire est  $R_n$ .
  - 3.1. Exprime  $v_n$  en fonction de  $n$  et  $v_1$ .

3.2. Exprime  $R_n$  en fonction de  $n$  et  $R_1$ .

4. Le rayon moyen du cyclotron est  $R = 5,5$  cm.

4.1. En déduis la valeur de  $n$ .

4.2. Calcule la vitesse de sortie  $v_n$ .

**Données :** masse du proton  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg ; charge du proton  $e = 1,66 \cdot 10^{-19}$  C

### Résolution détaillée

1. Proton dans  $D_1$ .

1.1. La durée  $\tau$  du mouvement de  $D_1$  :  $\tau = \frac{\pi R_1}{v_1}$  or  $R_1 = \frac{mv_1}{eB} \Rightarrow \tau = \frac{\pi m}{eB}$ .

1.2. La période  $T$  de la tension  $u$  :  $T = 2\tau = \frac{2\pi m}{eB}$ .

1.3. Calcul de  $B$  :  $B = \frac{2\pi m}{eT}$  A.N :  $B = 10^{-2} T$ .

1.4. La vitesse  $v_1$  : d'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = eu \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2eu}{m}}$$

1.5. Le rayon  $R_1$  : d'après le théorème du centre d'inertie :  $m\vec{a} = \vec{F}_m$ .

$$\text{Sur } \vec{n}, \text{ on a : } \frac{v_1^2}{R_1} = \frac{ev_1B}{m} \Rightarrow R_1 = \frac{mv_1}{eB} \text{ A.N : } R_1 = 1 \text{ cm.}$$

2. Proton dans  $D_2$ .

2.1.  $v_2$  en fonction de  $v_1$  : d'après TEC :  $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = eu \Rightarrow$

$$v_2^2 = v_1^2 + \frac{2eu}{m} \text{ or } \frac{2eu}{m} = v_1^2 \Rightarrow v_2^2 = 2v_1^2 \Rightarrow v_2 = v_1\sqrt{2}.$$

2.2.  $R_2$  en fonction de  $R_1$  : on a  $R_2 = \frac{mv_2}{eB} = \frac{mv_1\sqrt{2}}{eB} = R_1\sqrt{2}$ .

3. Le proton au  $n^{\text{ème}}$  tour ;

3.1. Expression de  $v_n$  en fonction de  $n$  et  $v_1$ .

$$\text{On a : } \begin{cases} v_2 = v_1\sqrt{2} \\ v_3^2 = v_2^2 + \frac{2eu}{m} \Rightarrow v_3 = v_1\sqrt{3} \\ v_4^2 = v_3^2 + \frac{2eu}{m} \Rightarrow v_4 = v_1\sqrt{4} \end{cases}$$

Admettons vrai à l'ordre  $n - 1$  :  $v_{(n-1)} = v_1\sqrt{n-1}$ .

Vérification :  $v_n^2 - v_{(n-1)}^2 = \frac{2eu}{m} \Rightarrow v_n^2 = v_1^2(n-1) + v_1^2 = nv_1^2$  d'où

$$v_n = v_1\sqrt{n}$$

				<p>3.2. Expression de de <math>R_n</math> en fonction de <math>n</math> et <math>R_1</math>.</p> $R_n = \frac{mv_n}{eB} = \frac{m}{eB} v_1 \sqrt{n} \Rightarrow R_n = R_1 \sqrt{n}$ <p>4.</p> <p>4.1. Calcul de la valeur de <math>n</math> : on a <math>R_n = R_1 \sqrt{n} \Rightarrow n = \left(\frac{R_n}{R_1}\right)^2</math> A.N : <math>n = \left(\frac{5,5}{1}\right)^2 = 30,25 \approx 30</math>.</p> <p>4.2. Calcul de <math>v_n</math> : on a <math>v_n = v_1 \sqrt{n}</math> A.N : <math>v_n = 10^4 \times \sqrt{30} = 5,5 \cdot 10^4</math> m/s.</p>
--	--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

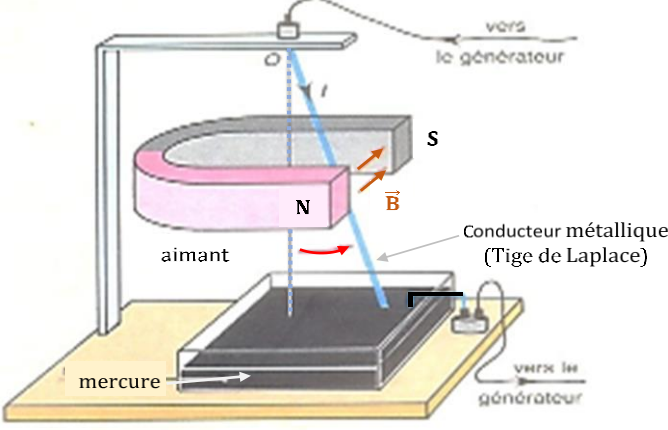
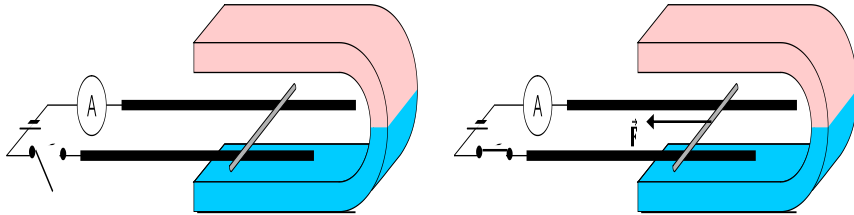
<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTROMAGNETISME</b>	
<b>Compétence 2 : Traiter une situation se rapportant à l'électromagnétisme</b>	
<b>Titre de la leçon : LOI DE LA LAPLACE</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 4H (2 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Énoncer	La loi de Laplace.
Connaître	- l'expression de la force de Laplace $\vec{F} = I\vec{\Lambda}\vec{B}$ . - Les règles d'orientation de la force électromagnétique.
Déterminer	Les caractéristiques de la force de Laplace.
Représenter	la force de Laplace $\vec{F} = I\vec{\Lambda}\vec{B}$ .
Utiliser	La loi de Laplace.
Analyser	Quelques applications de la loi de Laplace : balance de Cotton ; roue de Barlow.
Expliquer	Le fonctionnement d'un haut-parleur.

### **Situation d'apprentissage**

Lors de la lecture d'une revue scientifique, un élève de la classe de la Terminale D du Lycée, apprend que lorsqu'une tige métallique parcourue par un courant électrique continu est plongée dans un champ magnétique, il s'exerce sur elle une force électromagnétique. L'élève partage cette information à ses camarades de classe qui, afin de mieux s'approprier cette force, entreprennent de déterminer ses caractéristiques, de la représenter et d'analyser quelques applications de cette force.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Aimants droits et Aimants en U - Rails de Laplace ; Tige de Laplace ; - Conducteur rectiligne ; - Alimentation 6V-5A ; Rhéostat 8A ; - Balance de Cotton	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>
<b>1- Mise en évidence de la force de Laplace</b> 1.1- <u>Expérience de la tige de Laplace</u> 1.2- <u>Expérience des rails de Laplace</u> 1.3- <u>Interprétation et conclusion</u> <b>2- Loi de Laplace</b> <b>3- Les Applications</b> 3.1- <u>La balance de Cotton</u> <b>3.1.1- Etude théorique</b> <b>3.1.2- Etude expérimentale</b> ➤ <u>Expérience :</u> ➤ <u>Résultats :</u> ➤ <u>Exploitation des résultats</u> 3.2- <u>La roue de Barlow</u> 3.3- <u>Le haut-parleur électrodynamique</u>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>LOI DE LAPLACE</b></p> <p><b>1. Mise en évidence de la force de Laplace</b></p> <p>1.1. <u>Expérience de la tige de Laplace</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lorsqu'on ferme le circuit, la tige pivote autour du point O d'un angle <math>\alpha</math> en restant dans le plan perpendiculaire à <math>\vec{B}</math>.</li> <li>✓ Le sens de la déviation change si l'on change le sens du courant électrique ou si l'on permute les pôles de l'aimant.</li> <li>✓ L'angle <math>\alpha</math> augmente si l'on augmente l'intensité du courant électrique ou du champ magnétique.</li> </ul> <p>1.2. <u>Expérience des rails de Laplace</u></p>  <p>Lorsqu'on ferme l'interrupteur, la tige se déplace perpendiculairement au champ magnétique. Le sens du déplacement est lié au sens du courant électrique et aux pôles de l'aimant.</p>

### 1.3. Interprétation et conclusion

Le passage du courant dans le conducteur est dû à un déplacement de porteurs de charge qui sont des électrons. Sur chaque électron s'exerce une force de Lorentz.

Donc le conducteur est soumis à un ensemble de forces réparties dont la résultante est appelée **force de Laplace**.

Cette force dépend de l'intensité du courant et du champ magnétique.

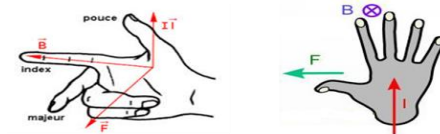
### 2. Loi de Laplace

Un conducteur métallique de longueur  $\ell$ , parcouru par un courant électrique d'intensité  $I$ , placé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , est soumis à une force électromagnétique appelée force de Laplace  $\vec{F}$ .

Son expression est:  $\vec{F} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$ .

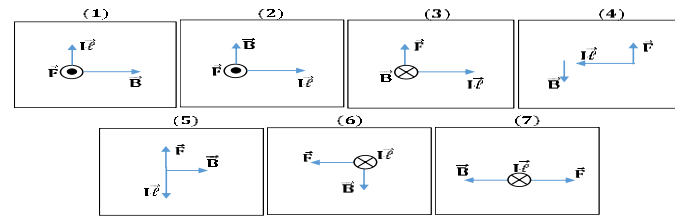
Les caractéristiques de  $\vec{F}$  sont:

- ✓ **Point d'application** : milieu du conducteur
- ✓ **Direction** :  $\perp$  au plan formé par  $\vec{\ell}$  et  $\vec{B}$
- ✓ **Sens** : tel que le trièdre ( $\vec{\ell}$  ;  $\vec{B}$  ;  $\vec{F}$ ) soit direct
- ✓ **Norme** :  $F = I \ell B |\sin\alpha|$



### Activité d'application

Un conducteur électrique, de longueur  $\ell$ , traversé par un courant d'intensité  $I$ , baigne dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  perpendiculaire au plan contenant le conducteur électrique. La force de Laplace  $\vec{F}$ , agissant sur le conducteur électrique, est représentée dans chacun des cas.



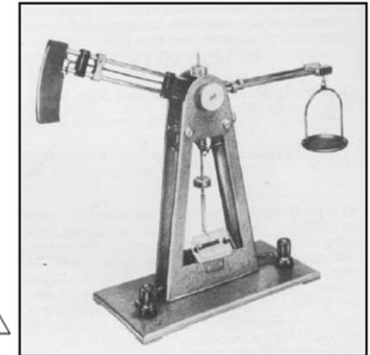
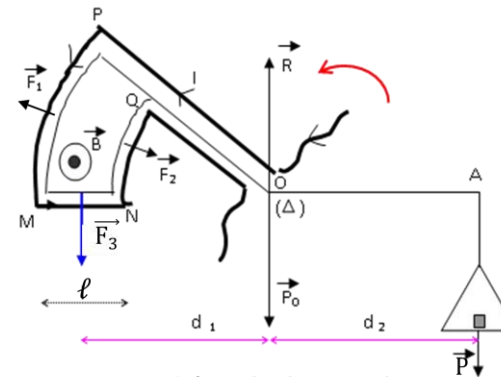
Coche vrai si la représentation de  $\vec{F}$  est correcte, sinon coche faux.

	1	2	3	4	5	6	7
Vrai		X	X			X	
Faux	X			X	X		X

### 3. Les Applications

#### 3.1. La balance de Cotton

La balance de Cotton permet de mesurer l'intensité du champ magnétique



**Schéma du dispositif**

#### 3.1.1. Etude théorique

**Bilan des forces :**

- ✓ Le poids  $\vec{P}_0$  du fléau
- ✓ La réaction  $\vec{R}$  de l'axe
- ✓ Le poids  $\vec{P}$  des masses
- ✓ Les forces de Laplace  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  sur le cadre PMNQ

**Condition d'équilibre** :  $\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = 0$

$$\Leftrightarrow \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = 0$$

$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}_0) = 0; \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) = 0; \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = -mgd_2; \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_2) = 0;$$

$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_3) = I\ell B d_1 \text{ (car } \vec{F}_3 \perp \vec{MN} \text{)}$$

$$\Rightarrow 0 + 0 - mgd_2 + 0 + 0 + I\ell B d_1 = 0 \Rightarrow I\ell B d_1 - mgd_2 = 0 \text{ or } d_1 = d_2$$

donc :  $\mathbf{B} = \frac{mg}{I\ell}$

### 3.1.2. Etude expérimentale

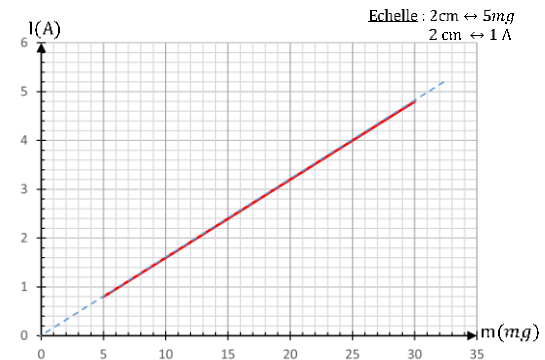
#### ➤ Expérience :

Pour différentes valeurs de masses marquées posées dans le plateau, déterminons l'intensité du courant électrique  $I$  nécessaire au rétablissement de l'équilibre de la balance.

#### ➤ Résultats :

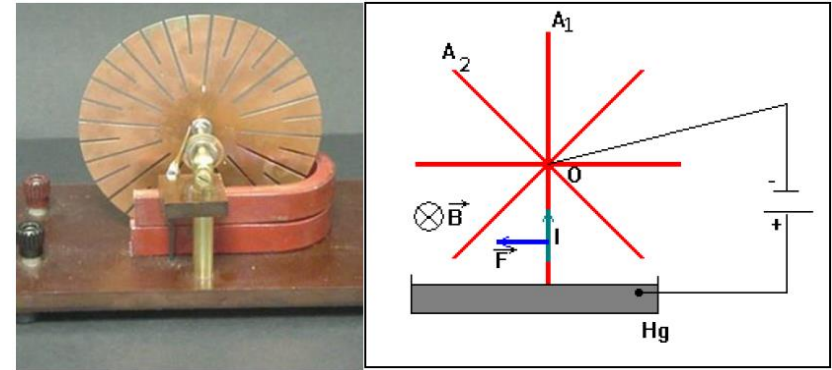
$m$ (mg)	5	10	15	20	25	30
$I$ (A)	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8

#### ➤ Exploitation des résultats



La courbe  $I = f(m)$  est une droite qui passe par l'origine du repère, son équation est de la forme :  $I = k \cdot m$  avec  $k = \frac{\Delta I}{\Delta m}$ .

Comme  $I = \frac{g}{B\ell} m = km \Rightarrow k = \frac{g}{B\ell}$  d'où  $B = \frac{g}{k\ell}$ .

3.2. La roue de Barlow

Chaque rayon de la roue, plongé dans le champ  $\vec{B}$  subit une déviation ce qui entraîne la rotation de la roue.

La puissance développée par la force de Laplace est :

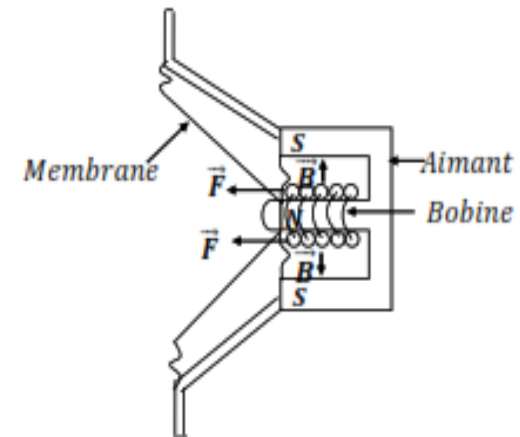
$$\mathcal{P}(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \times \omega \text{ or } F = I\ell B \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = I\ell B \text{ et } \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = F \frac{\ell}{2}$$

$$\Rightarrow \mathcal{P}(\vec{F}) = I\ell^2 \frac{B}{2} \omega$$

3.3. Le haut-parleur électrodynamique

Parcourue par un courant variable, la bobine est soumise à des forces de Laplace de sens aussi variable.

Sous l'effet de ces forces, la membrane solidaire de la bobine vibre, ce qui donne un son.



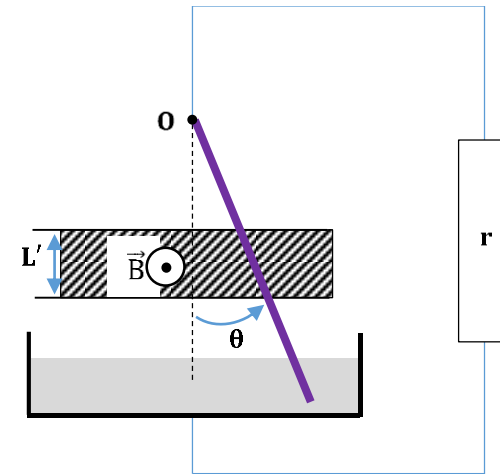
Enoncé de la situation  
d'évaluation

Evaluation

Travail  
individuel

### Situation d'évaluation

Au laboratoire de physique-chimie, un groupe d'élèves de terminale D réalisent le montage dont le schéma est décrit comme suit : un conducteur électrique de longueur  $\ell$ , de masse  $m$  est susceptible de tourner autour d'un axe horizontal passant par un point  $O$ . A l'équilibre le conducteur fait un angle  $\theta$  avec la verticale. Il est alors parcouru par un courant d'intensité  $I$  ; une portion du conducteur symétrique par rapport à son centre d'inertie  $G$  est soumise à un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ .



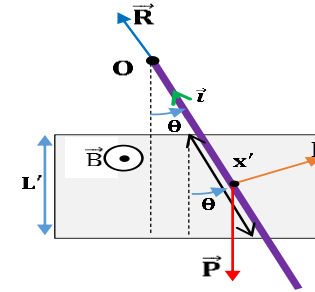
Il t'ai demandé d'étudier l'équilibre du conducteur.

- 1) Représente sur un schéma clair les forces agissant sur le conducteur.
- 2) Exprime l'intensité de la force de LAPLACE en fonction de  $\theta$ ,  $I$ ,  $L'$  et  $B$ .
- 3) Ecris la relation d'équilibre du conducteur.
- 4) En déduis l'expression de l'intensité  $I$  du courant en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $L'$ ,  $\ell$  et  $B$ .
- 5) Calcule l'intensité  $I$  du courant.

**Donnée** :  $m = 20 \text{ g}$  ;  $\theta = 30^\circ$  ;  $g = 10 \text{ N/kg}$  ;  $L' = 5 \text{ cm}$  ;  $B = 0,5 \text{ T}$ .

### Résolution détaillée

1) Représentation des forces agissant sur le conducteur :



2) Expression de l'intensité de la force de LAPLACE : on a  $F = Ix'B$  or

$$x' = \frac{L'}{\cos \theta} \Rightarrow F = IB \frac{L'}{\cos \theta}.$$

3) La relation à l'équilibre : on a :  $\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_{\text{ext}}) = 0$

$$\Rightarrow \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) = 0;$$

4) Expression de l'intensité I du courant : on a  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) + \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) +$

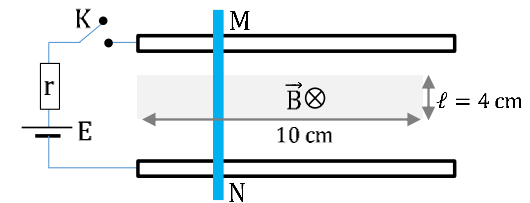
$$\mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) = 0 \text{ or } \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = -mg \frac{\ell \sin \theta}{2}; \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = +IB \frac{L' \ell}{2 \cos \theta}; \mathcal{M}_\Delta(\vec{R}) =$$

$$0 \Rightarrow IB \frac{L' \ell}{2 \cos \theta} - mg \frac{\ell \sin \theta}{2} = 0 \Rightarrow I = \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{L'B}. \text{ A.N: } I =$$

$$\frac{20 \cdot 10^{-3} \times 10 \times \sin 30 \cos 30}{5 \cdot 10^{-2} \times 0,5} = 3,46 \text{ A}$$

### Evaluation à faire à la maison

Deux rails conducteurs, suffisamment longs, sont placés parallèlement et espacés de 20 cm. Ces rails sont reliés aux bornes d'un générateur (E, r) et par une tige conductrice (MN) ; voir figure ci-dessous.



Un champ magnétique uniforme, vertical, de longueur  $\ell = 4 \text{ cm}$ , s'étend entre les rails à égale distance de ceux-ci, sur une longueur  $L = 10 \text{ cm}$ .

1. On ferme le circuit.

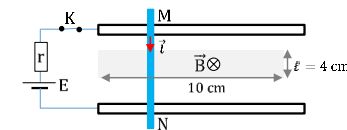
- 1.1. Indique, sur un schéma clair, le sens du courant dans la tige et calcule son intensité pour  $E = 15 \text{ V}$  et  $r = 10 \Omega$ .
- 1.2. Cite les forces agissant sur la tige et représente les dans une vue de profil.
- 1.3. Trouve l'intensité de la force de Laplace si  $B = 1 \text{ T}$ .
- 1.4. Détermine l'intensité de l'accélération  $\vec{a}$  avec laquelle la tige se met en mouvement, si elle a une masse  $m = 60 \text{ g}$ .
2. On veut que la tige reste immobile ; on soulève pour cela les rails d'un angle  $\alpha$ , à partir de leur extrémité libre, sans modifier le champ magnétique.
  - 2.1. Ecris la relation vectorielle qui lie les forces agissant sur la tige.
  - 2.2. Trouve la valeur de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  des rails par rapport à l'horizontale.

Donnée :  $g = 10 \text{ N/kg}$ .

### Résolution détaillée

1.

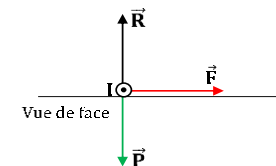
1.1. Sens du courant :



$$I = \frac{E}{r} \text{ A.N} : I = 1,5 \text{ A}$$

1.2. Les forces agissant sur la tige :  $\vec{P}$ ;  $\vec{R}$  et  $\vec{F}$ .

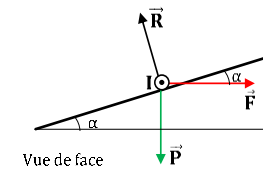
Représentation :



1.3. On a :  $F = I l B \text{ A.N} : F = 1,5 \times 4 \cdot 10^{-2} \times 1 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ .

1.4. On a :  $m a = F \Rightarrow a = \frac{F}{m} \text{ A.N} : a = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

2.



2.1. Relation vectorielle des forces agissant sur la tige :  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$ .

2.2. Détermination de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  : la projection donne :

$$-P \sin \alpha + 0 + F \cos \alpha = 0 \Rightarrow \tan \alpha = \frac{F}{P} \alpha = 5,7^\circ \approx 6^\circ.$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTROMAGNETISME</b>	
<b>Compétence 2 : Traiter une situation se rapportant à l'électromagnétisme</b>	
<b>Titre de la leçon : AUTO-INDUCTION</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 4H (2 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Le flux propre.
Connaître	l'expression du flux propre $\phi_p = L i$ .
Expliquer	Le phénomène d'auto-induction.
Connaître	La loi de l'auto-induction.
Déterminer	L'inductance L d'un solénoïde.
Connaître	- L'expression de l'inductance L d'un solénoïde. - L'unité d'inductance.
Connaître	L'expression de : - La tension aux bornes d'une bobine ; - L'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine.
Déterminer	- La force électromotrice d'auto-induction. - La tension aux bornes d'une bobine. - L'énergie électromagnétique emmagasinée dans une bobine.
Appliquer	La loi de l'auto-induction.

### Situation d'apprentissage

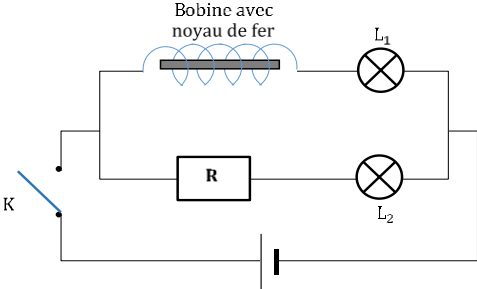
En regardant un documentaire sur la chaîne Discovery science, une élève en classe de la Terminale D du Lycée apprend que le retard mis par certaines lampes fluorescentes à s'allumer normalement est dû au fait qu'elles contiennent une bobine.

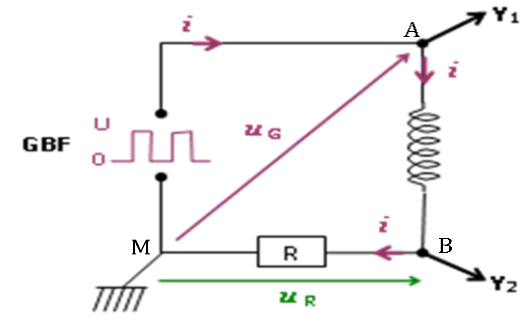
En classe, toute contente et émue d'avoir appris quelque chose de nouveau, elle partage l'information avec ses camarades de classe. Ensemble, ils décident d'expliquer le phénomène d'auto-induction, de déterminer la f.é.m. d'auto-induction, la tension aux bornes d'une bobine, l'énergie emmagasinée dans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

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Alimentation 6 V ; GBF ; 2 lampes de 4,5 V - Rhéostat 33 $\Omega$ ; Limes ; Pointe ; Interrupteur ; - Oscilloscope bicourbe ; - Transformateur démontable avec 2 bobines de 1000 spires - Bobine à noyau de fer mobile (0 à 1 H)	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### PLAN DE LA LEÇON

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

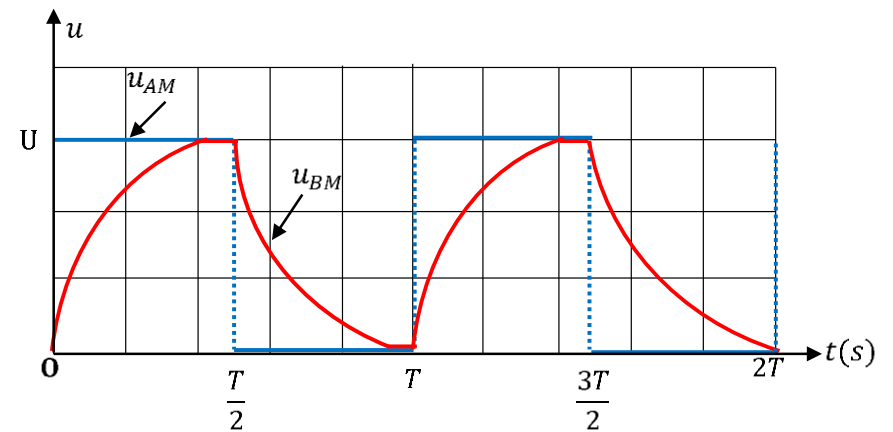
DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>AUTO-INDUCTION</b>
				<p><b>1. Comportement d'une bobine dans un circuit : le phénomène d'auto-induction</b></p> <p>1.1. <u>Expérience 1 : Retard à l'allumage d'une lampe</u></p> <p><b>1.1.1. Schéma du montage</b></p>  <p>Les deux lampes <math>L_1</math> et <math>L_2</math> sont identiques. La bobine et le conducteur ohmique ont la même résistance.</p> <p><b>1.1.2. Observations</b></p> <p>K est fermé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La lampe <math>L_2</math> s'allume instantanément ;</li> <li>✓ La lampe <math>L_1</math> s'allume en retard, puis progressivement brille du même éclat que <math>L_2</math>.</li> </ul> <p><b>1.1.3. Conclusion</b></p> <p>L'établissement du courant dans la branche comportant la bobine se déroule en deux phases :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La phase transitoire au cours de laquelle le courant s'établit progressivement.</li> <li>✓ La phase permanente où le courant ne varie plus.</li> </ul> <p>La bobine semble donc s'opposer temporairement à l'installation du courant dans cette branche.</p> <p>1.2. <u>Expérience 2 : visualisation du phénomène à l'oscilloscope</u></p> <p><b>1.2.1. Montage expérimental</b></p>

**Schéma du montage**

On visualise successivement sur :

- La voie  $Y_1$  : la tension  $u_G = u_{AM}$  aux bornes du GBF.
- La voie  $Y_2$  : la tension  $u_R = Ri$

**N.B** : La courbe  $u_{BM} = u_R$  a la même forme que  $i$



### 1.2.2. Analyse des oscillogrammes

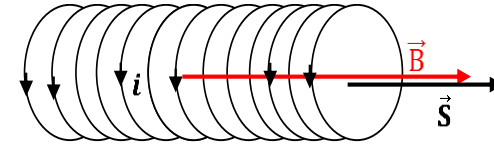
- ✓ Pour  $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$ ,  $u_G = U$ , le courant s'établit progressivement dans le circuit.
- ✓ pour  $\frac{T}{2} \leq t \leq T$ ,  $u_G = 0$ , le courant s'annule progressivement dans le circuit.

### 1.2.3. Conclusion

Dans une portion de circuit comportant une bobine, l'établissement (ou l'annulation) du courant se fait de manière progressive. C'est le phénomène d'auto-induction.

## 2. Flux propre et inductance d'une bobine

### 2.1. Flux propre d'une bobine



Lorsqu'un courant  $i$  traverse une spire d'une bobine, il engendre un champ magnétique  $\vec{B}$ .

Ce champ crée une grandeur physique appelé **flux propre** noté

$$\Phi_P = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS.$$

Le flux propre à travers l'ensemble des  $N$  spires de la bobine est :

$$\Phi_P = N\vec{B} \cdot \vec{S} = NBS$$

Unité : le **Weber** ( $Wb$ )

### 2.2. L'inductance d'une bobine

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} i \quad \text{donc} \quad \Phi_P = \mu_0 \frac{N^2}{l} S \cdot i = \mu_0 n^2 \cdot l \cdot S i$$

$$\text{On pose} \begin{cases} L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S = \mu_0 n^2 \cdot l \cdot S \\ \text{soit} \quad \Phi_P = Li \end{cases}$$

$\mu_0$  : la perméabilité du vide. ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  SI)

Le coefficient de proportionnalité  $L$  est l'**inductance de la bobine**, son unité est le **Henry** ( $H$ ).

## 3. Force électromotrice d'auto-induction

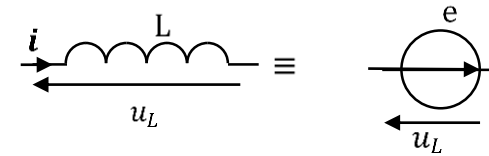
### 3.1. Expression de la f.é.m. d'auto-induction

Une bobine d'inductance  $L$  parcourue par un courant variable  $i$  se comporte comme un générateur. Sa f.é.m. est donnée par la relation :

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

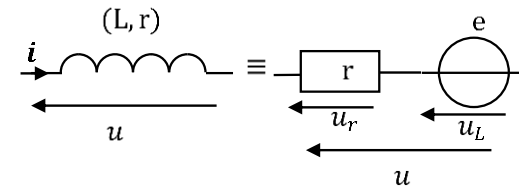
3.2. Loi d'Ohm aux bornes d'une bobine

➤ Cas d'une Bobine idéal



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

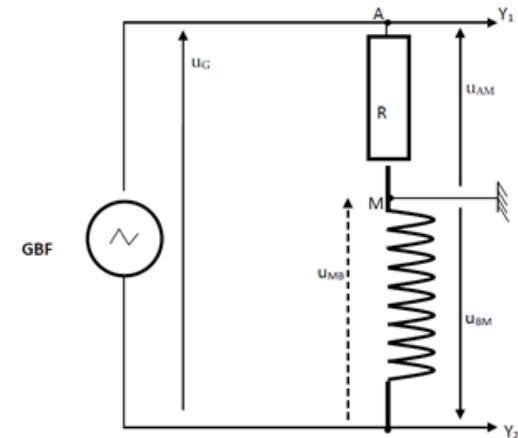
➤ Cas d'une bobine réelle



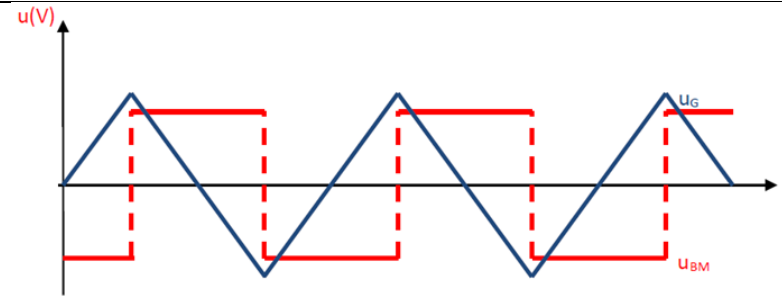
$$u = ri + L \frac{di}{dt}$$

3.3. Vérification expérimentale

3.3.1. Montage



3.3.2. Observation



### 3.3.3. Vérification de l'expression de la f.é.m.

Montrons que, en appliquant une tension triangulaire à l'entrée du circuit, la tension  $u_{BM}$  aux bornes de la bobine est une tension rectangulaire ou créneau.

$u_G = u_{AB} = u_{AM} + u_{MB}$  (1). On choisit  $R$  très grand devant  $r$  de sorte à négliger  $u_{MB}$  devant  $u_{AM}$ .

(1) Devient  $u_G = u_{AM} = Ri$  soit  $i = \frac{u_G}{R}$  (2) or  $u_{MB} = L \frac{di}{dt}$  (3) car  $r$  est très petit donc  $ri$  est négligeable.

De (2) et (3) on a :  $u_{MB} = L \frac{di}{dt} = \frac{L}{R} \frac{du_G}{dt}$ .

à l'oscilloscope on visualise  $u_{MB} = -u_{BM} = -L \frac{di}{dt} = -\frac{L}{R} \frac{du_G}{dt}$ .

- ✓  $t \in \left[0; \frac{T}{4}\right] \Rightarrow u_G = at$  alors  $u_{MB} = -\frac{La}{R}$  (constante < 0)
- ✓  $t \in \left[\frac{T}{4}; \frac{3T}{4}\right] \Rightarrow u_G = -at + b$  alors  $u_{MB} = \frac{La}{R}$  (constante > 0)
- ✓  $t \in \left[\frac{3T}{4}; T\right] \Rightarrow u_G = at + b'$  alors  $u_{MB} = -\frac{La}{R}$  (constante < 0)

Pour déterminer  $L$ , il faut déterminer graphiquement la pente  $a$  sur l'oscillogramme.

#### Activité d'application :

Une bobine d'inductance  $L = 0,1$  H et de résistance  $r = 5 \Omega$  est traversée par un courant d'intensité  $I = 300$  mA.

1. Calcule :
  - 1.1. Le flux d'auto-induction à travers la bobine (TC).
  - 1.2. La tension aux bornes de la bobine.

2. L'intensité du courant varie maintenant de  $I_1 = 300 \text{ mA}$  à  $I_2 = 0 \text{ mA}$  en  $0,15 \text{ s}$ .

2.1. Donne l'expression de l'intensité  $I(t)$  du courant.

2.2. Calcule la f.é.m. d'auto-induction.

2.3. Donne l'expression de la tension aux bornes de la bobine et calcule sa valeur à la date  $t = 0,10 \text{ s}$ .

**Résolution détaillée :**

1. Calcul de :

1.1. Le flux d'auto-induction :  $\phi = LI A.N : \phi = 0,1 \times 0,3 = 3.10^{-2} \text{ Wb}$ .

1.2. La tension aux bornes de la bobine :  $u = rI A.N : u = 5 \times 0,3 = 1,5V$ .

2.

2.1. Expression de l'intensité  $i(t) : \frac{di(t)}{dt} = -2$  et  $i(t) = -2 \int_{0,15}^t dt \Rightarrow i(t) = -2t + 0,3$ .

2.2. Calcul de la f.é.m. :  $e(t) = -L \frac{di}{dt} : e(t) = 2L. A.N : e = 0,2 V$ .

2.3. Expression de la tension aux bornes de la bobine :  $u = ri + L \frac{di}{dt} \Rightarrow u = 5(-2t + 0,3) + 0,1(-2) \Rightarrow u = -10t + 1,3$ .

Sa valeur pour  $t = 0,10 \text{ s} : u = 0,3V$

**4. Energie électromagnétique emmagasinée dans la bobine**

4.1. Puissance reçue par la bobine

$$\mathcal{P} = R. i^2 + L. i \frac{di}{dt} \quad \left\{ \begin{array}{l} R. i^2 \text{ est la puissance joule} \\ L. i \frac{di}{dt} \text{ est la puissance magnétique} \end{array} \right.$$

4.2. Expression de l'énergie emmagasinée dans la bobine

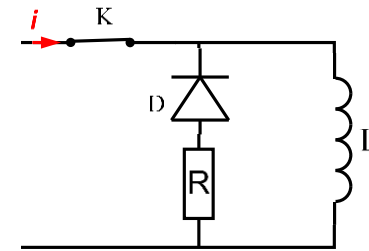
$$\mathcal{P} = \frac{dW_e}{dt} \Leftrightarrow dW_e = \mathcal{P} dt = L i di \Leftrightarrow W_e = L \int i di \Leftrightarrow W_e = \frac{1}{2} L i^2$$

**Remarque :**

À l'ouverture du circuit, cette énergie est restituée sous forme d'étincelles dites de rupture entre les bornes de l'interrupteur.

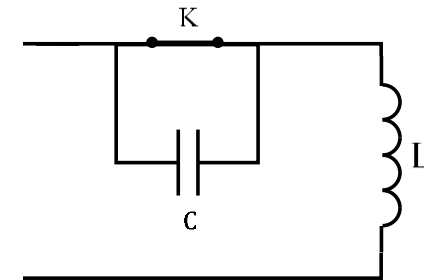
Pour éviter les étincelles de rupture il faut :

- Mettre en parallèle avec la bobine, une résistance en série avec une diode.



Lorsqu'on ouvre K, le courant de rupture s'amortit à travers la résistance

- Mettre un condensateur aux bornes de l'interrupteur.

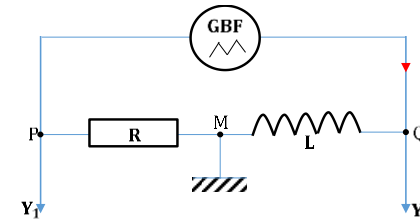


Lorsqu'on ouvre K, il y a échange d'énergie entre la bobine et le condensateur ; le courant s'amortit à travers la résistance de la bobine.

Enoncé de la situation d'évaluation

### Situation d'évaluation

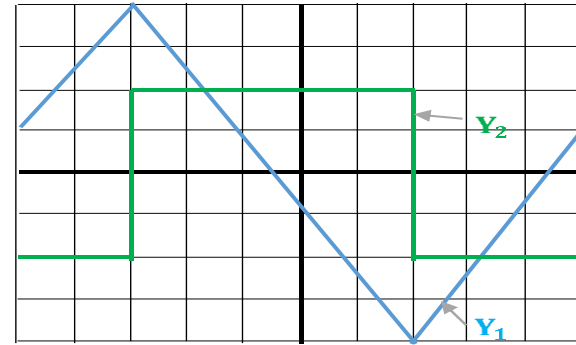
On se propose de déterminer l'inductance d'une bobine. Au laboratoire, on réalise le montage schématisé ci-dessous.



Le générateur délivre une tension rectangulaire. La figure ci-dessous représente les oscillogrammes obtenus.

Evaluation

Travail individuel



Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :  
 - Sensibilité vertical :  $Y_1$  : 1V/carreau ;  $Y_2$  : 50 mV/carreau.  
 - Balayage horizontal : 0,1 ms/carreau

(Figure)

**Donnée :**  $R = 1000 \Omega$ .

- 1) Désigne les tensions représentées respectivement par les oscillogrammes des voies  $Y_1$  et  $Y_2$ .
- 2)
  - 2.1) Exprime la tension  $U_{MP}$  en fonction de l'intensité  $i(t)$  du courant.
  - 2.2) En déduis l'expression de la tension  $U_{QM}$  en fonction de  $R$ ,  $L$  et la dérivée par rapport au temps de la tension  $U_{PM}$ .
  - 2.3) Calcule l'inductance  $L$  de la bobine, en utilisant l'expression trouvée en 2.1) et les oscillogrammes.

### Résolution détaillée

1) Sur la voie  $Y_1$  : tension  $u_{PM}$ . Sur la voie  $Y_2$  : tension  $u_{QM}$ .

2)

$$2.1) u_{MP} = Ri(t).$$

$$2.2) u_{QM} = L \frac{di(t)}{dt} \text{ comme } i(t) = \frac{u_{MP}}{R} = -\frac{u_{PM}}{R} \Rightarrow u_{QM} = -\frac{L}{R} \frac{du_{PM}}{dt}.$$

$$2.3) L = -Ru_{QM} \frac{\Delta t}{\Delta u_{PM}} \text{ A.N : } L = -1000 \times 0,1 \frac{(-5 \times 0,1 \cdot 10^{-3})}{8} = 0,00625 \text{ H} = 6,25 \text{ mH}$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTRICITE</b>	
<b>Compétence 3 : Traiter une situation se rapportant à l'électricité</b>	
<b>Titre de la leçon : MONTAGES DÉRIVATEUR ET INTÉGRATEUR</b>	
<b>Durée : 2H</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel idéal.
Interpréter	Les oscillogrammes : - Du montage dérivateur ; - Du montage intégrateur.
Établir	La relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie : - D'un montage dérivateur ; - D'un montage intégrateur.
Distinguer	Un montage dérivateur d'un montage intégrateur.
Dégager	L'intérêt d'un montage : - Dérivateur ; - Intégrateur.

### **Situation d'apprentissage**

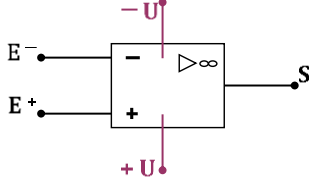
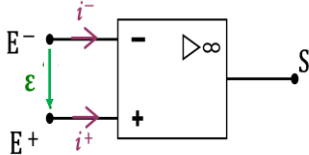
Au cours d'une conférence prononcée sur les TIC au Lycée, les élèves de la Terminale ont été édifiés sur le rôle joué par les TIC dans notre vie. Ils ont ainsi appris que l'A.O (Amplificateur Opérationnel) étudié en première dans un circuit est aussi capable de réaliser des opérations de dérivation et d'intégration.

Afin de vérifier cette information, de retour en classe, ils se proposent de déterminer la relation entre la tension d'entrée et la tension de sortie d'un montage dérivateur puis d'un montage intégrateur et de dégager l'intérêt de chacun de ces montages.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - <b>Panneau-de l'AO (CNMS)</b> ; Platine leybold - Amplificateurs opérationnels (TL071 ou TL081 ou TL082 ou LM741) ; Alimentation symétrique (+ou-15V) - Conducteurs ohmiques ; Condensateurs ; Ampèremètre ; Voltmètre - GBF ; Fils de Connexion ; Oscilloscopes bicourbes	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### **PLAN DE LA LEÇON**

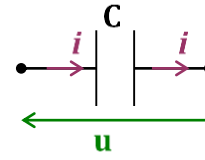
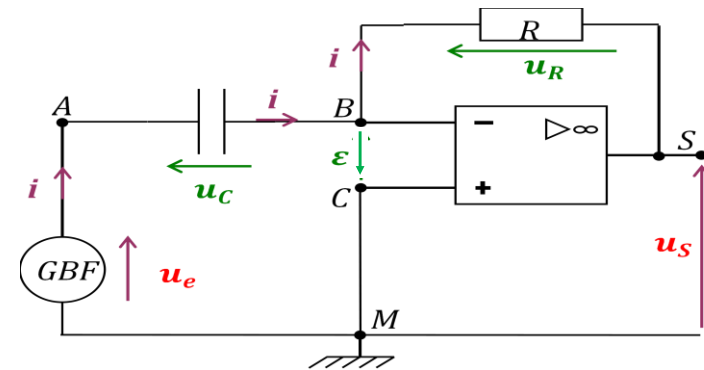
<b>1- Rappels</b> 1.1- <u>Amplificateur opérationnel (Ampli Op ou AO)</u> 1.2- <u>Le condensateur</u> <b>2- Le montage dérivateur</b> 2.1- <u>Etude théorique</u> 2.1.1- <u>Schéma du montage</u> 2.1.2- <u>Relation entre <math>U_s</math> et <math>U_e</math></u> 2.2- <u>Vérification expérimentale</u> 2.2.1- <u>Schéma du montage</u> 2.2.2- <u>Visualisation</u> <b>3- Le montage intégrateur</b> 3.1- <u>Etude théorique</u> 3.1.1- <u>Schéma du montage</u> 3.1.2- <u>Relation entre <math>U_s</math> et <math>U_e</math></u> 3.2- <u>Vérification expérimentale</u> 3.2.1- <u>Montage</u> 3.2.2- <u>Visualisation</u>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
<b>MONTAGES DÉRIVATEUR ET INTÉGRATEUR</b>				
<p><b>1. Rappels</b></p> <p>1.1. <u>Amplificateur opérationnel (Ampli Op ou AO)</u> L'AO est un circuit intégré présenté généralement sous forme d'une puce à 08 pattes (bornes de connexion).</p> <p>➤ <b>Symbole et bornes principales :</b></p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p><math>E^-</math> : Entrée inverseuse</p> <p><math>E^+</math> : Entrée non inverseuse</p> <p><math>S</math> : La sortie</p> <p><math>+U</math>; <math>-U</math> : Les bornes d'alimentation</p> </div> </div> <p><b>Remarque :</b> On ne représente pas les bornes <math>+U</math>, <math>-U</math> sur les schémas.</p> <p>➤ <b>Propriétés d'un AO idéal (AOP) :</b></p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  </div> <p><math>i^- = i^+ = 0</math> : Aucun courant n'entre dans l'AO.</p> <p><math>\epsilon = U_{E^+E^-} = 0</math> : <math>E^-</math> et <math>E^+</math> sont au même potentiel.</p> <p><b>NB :</b> La tension de sortie <math>U_S</math> est toujours comprise entre <math>-V_{Sat}</math> et <math>+V_{Sat}</math>. <math>V_{Sat}</math> : la tension de saturation. Elle est donnée par le constructeur.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En régime linéaire : <math>-V_{Sat} &lt; U_S &lt; +V_{Sat}</math>.</li> <li>- En régime saturé : <math>U_S = \pm V_{Sat}</math></li> </ul>				

1.2. Le condensateur

À chaque instant (t) :

- le condensateur porte la charge électrique  $q$  (en Coulomb C)
- $q = CU$  et  $i = \frac{dq}{dt}$

2. Le montage dérivateur2.1. Etude théorique2.1.1. Schéma du montage2.1.2. Relation entre  $U_s$  et  $U_e$ 

✓ La maille MABCM :  $U_e - U_c = 0 \Rightarrow U_e = U_c$  (1)

✓ La maille MCBSM :  $-U_R - U_s = 0 \Rightarrow U_s = -U_R = -Ri$  (2)

Pour le condensateur :  $q = CU_c$  devient avec (1) devient :  $q = CU_e$ .

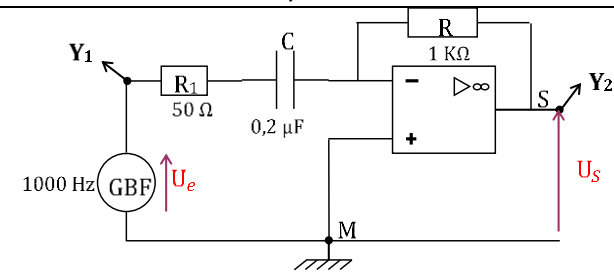
$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow i = C \frac{dU_e}{dt} \quad (3).$$

En utilisant (3), (2) devient :  $U_s = -Ri = -RC \frac{dU_e}{dt}$

Finalement :  $U_s = -RC \frac{dU_e}{dt}$ .

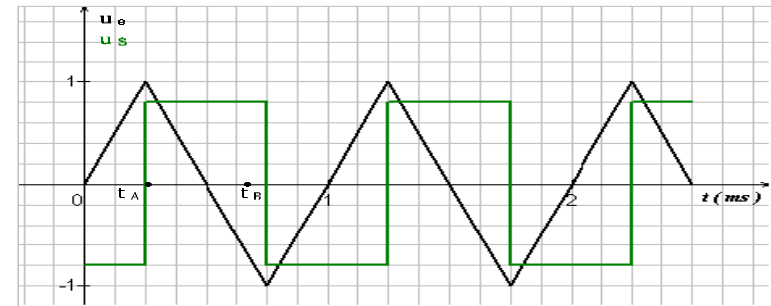
—  $RC$  étant une constante, la tension de sortie  $U_s$  est proportionnelle à la dérivée par rapport au temps de la tension d'entrée  $U_e$ .

2.2. Vérification expérimentale2.2.1. Schéma du montage



$R_1$  sert à compenser le fait que l'AO n'est pas idéal.

### 2.2.2. Visualisation



Vérification : Sur l'intervalle  $[t_A; t_B] = [0,25 \text{ ms}; 0,75 \text{ ms}]$ ,

- $U_S = + 0,8V = \text{cte}$
- $U_e$  est une droite de la forme  $U_e = at + b$  avec  $a$  et  $b$  des constantes  
 $\Rightarrow \frac{du_e}{dt} = a$
- $a$  est la pente de la droite :  $a = \frac{\Delta u_e}{\Delta t} = \frac{-1-1}{(0,75-0,25)10^{-3}} = - 4000$
- $U_S = -RC \frac{du_e}{dt} = - RCa = - (1000)(0,2 \cdot 10^{-6})(- 4000) = + 0,8V$

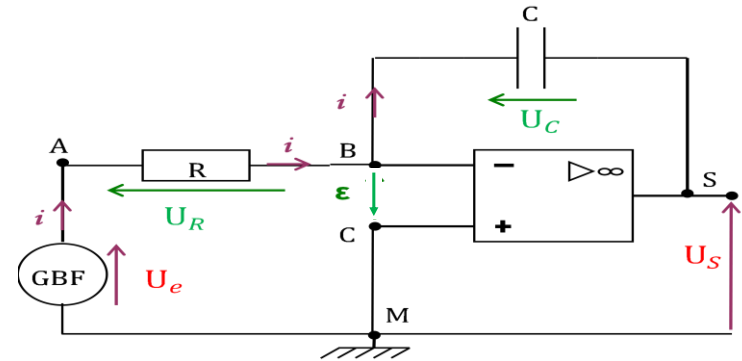
### Remarque :

Le montage dérivateur est utilisé dans les systèmes de régulation pour surveiller le taux de variation de grandeurs physiques telles que par exemple la température ou la pression.

### 3. Le montage intégrateur

#### 3.1. Etude théorique

##### 3.1.1. Schéma du montage



**3.1.2. Relation entre  $U_S$  et  $U_e$**

✓ La maille MABCM :  $U_e - U_R = 0 \Rightarrow U_e = U_R = Ri$  (1)

✓ La maille MCBSM :  $-U_C - U_S = 0 \Rightarrow U_S = -U_C$  (2)

Pour le condensateur :  $q = CU_C$  devient avec (2) devient :  $q = -CU_S$ .

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow i = -C \frac{dU_S}{dt} \quad (3).$$

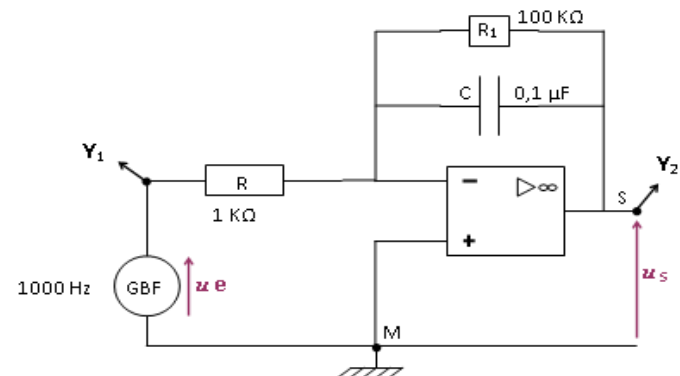
En utilisant (3), (1) devient :  $U_e = Ri = -RC \frac{dU_S}{dt}$

$$\text{Finalement : } U_e = -RC \frac{dU_S}{dt} \Rightarrow U_S = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_e dt.$$

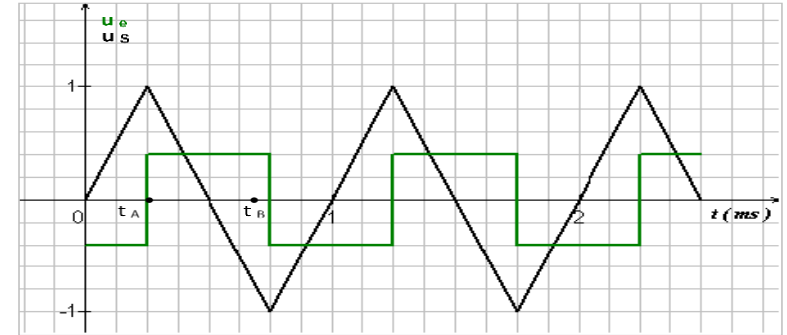
**la tension de sortie  $U_S$  est proportionnelle à l'intégrale par rapport au temps de la tension d'entrée  $U_e$ .**

**3.2. Vérification expérimentale**

**3.2.1. Montage**



**3.2.2. Visualisation**



**Vérification** : Sur l'intervalle  $[t_A; t_B] = [0.25 \text{ ms}; 0.75 \text{ ms}]$ ,

- $U_e = +0,4V = \text{cte}$
- $U_s$  est une droite de la forme  $U_s = at + b$  avec  $a$  et  $b$  des constantes
- $\Rightarrow \frac{du_s}{dt} = a$
- $a$  est la pente de la droite :  $a = \frac{\Delta u_e}{\Delta t} = \frac{-1-1}{(0,75-0,25)10^{-3}} = -4000$
- $U_e = -RC \frac{du_s}{dt} = -RCa = -(1000)(0,1 \cdot 10^{-6})(-4000) = +0,4V$

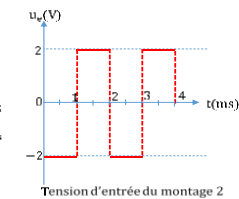
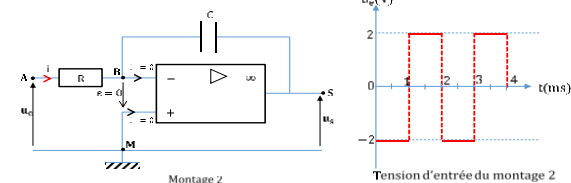
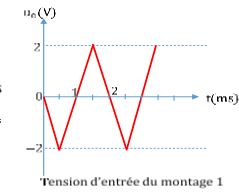
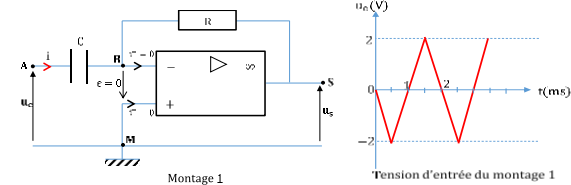
Enoncé de la situation d'évaluation

**Situation d'évaluation**

Tu es chargé d'expliquer la leçon sur les montages intégrateur et dérivateur à ton voisin de classe absent à ce cours pour raison de santé. A 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.

Evaluation

Travail individuel



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

**Données :**  $R = 20 \text{ k}\Omega$  ;  $C = 50 \text{ nF}$

1. Nomme chaque montage.
2. Détermine :
  - 2.1. La période  $T$  ;
  - 2.2. La fréquence  $N$  du signal.
  - 2.3. La tension de sortie  $u_s(t)$  pour chaque montage.
3. Représente sur le même graphe  $u_e$  et  $u_s$ .

**Résolution détaillée**

1. Montage 1 : dérivateur ; Montage 2 : intégrateur.

2. Détermination de :

2.1. la période  $T$ :  $T = 2 \times 0,5 = 1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ .

2.2. la fréquence  $N = \frac{1}{T} = 1000 \text{ Hz}$ .

- 2.3. La tension de sortie  $u_s(t)$  pour chaque montage :

- montage 1 :  $u_s(t) = -RC \frac{du_e}{dt}$

$t \in ]0; 0,5]$ ,  $u_e(t) = -4t \Rightarrow u_s(t) = 4RC$

$t \in [0,5; 1,5]$ ,  $u_e(t) = 4t - 4 \Rightarrow u_s(t) = -4RC$

- montage 2 :  $u_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_e dt$ .

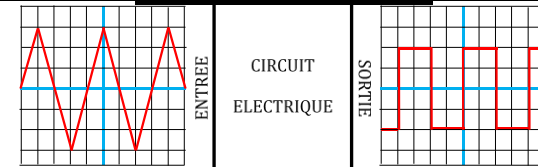
$t \in ]0; 1]$ ,  $u_e(t) = -2 \Rightarrow u_s(t) = -\frac{1}{RC} \int -2 dt = \frac{2}{RC} t + K$  ;

$t \in [1; 2]$   $u_e(t) = 2 \Rightarrow u_s(t) = -\frac{1}{RC} \int 2 dt = -\frac{2}{RC} t + K$

3. Voir représentation

**Evaluation à faire à la maison**

Un circuit électrique, pouvant être un montage dérivateur ou un montage intégrateur, est en étude par un groupe d'élèves. A l'aide d'un oscilloscope bicourbe, le groupe visualise la tension à l'entrée et la tension à la sortie de ce circuit. Le résultat obtenu par le groupe est représenté sur la figure ci-dessous.



1. Cite les composants électriques et électroniques nécessaires à ce circuit.
2. Précise le régime de fonctionnement de l'AOP et donne la valeur de sa tension différentielle.
3. La période de la tension d'entrée est  $T = 20 \text{ ms}$ , en déduire la fréquence de la tension de sortie.
4. En vous servant des aspects des signaux, donne la nature du montage.
5. La valeur maximale de la tension à l'entrée  $U_e = 30 \text{ V}$  et celle de la tension à la sortie  $U_s = 12 \text{ V}$ . A partir de la réponse de la question 4, calcule le produit RC.

### Résolution détaillée

1. Les composants électriques et électroniques nécessaires à ce circuit sont : le conducteur ohmique, le condensateur et l'Amplificateur opérationnel.
2. L'AOP fonctionne ici en régime linéaire. Sa tension différentielle est  $\varepsilon = 0$ .
3. La fréquence est :  $N = \frac{1}{T} \text{ A.N} : N = 50 \text{ Hz}$ .
4. A l'entrée  $u_e$  triangulaire et à la sortie  $u_s$  en créneaux : montage dérivateur.
5. On a un montage dérivateur  $\Rightarrow u_s = -RC \frac{du_e}{dt} \Rightarrow RC = -U_s \frac{\Delta t}{\Delta u_e}$

Détermination de  $\frac{\Delta u_e}{\Delta t}$  :

à  $\frac{T}{4}$ , on a :  $u_e = a \frac{T}{4} + b = U_e$  (1); à  $\frac{3T}{4}$ , on a :  $u_e = a \frac{3T}{4} + b = -U_e$  (2).

(1) - (2) =  $\frac{aT}{4} + b - \frac{3aT}{4} - b = 2u_e \Rightarrow a = -\frac{4U_e}{T} = \frac{\Delta u_e}{\Delta t}$ . On a donc :

$RC = -U_s \times -\frac{T}{4U_e} \Rightarrow RC = U_s \times \frac{T}{4U_e} \text{ A.N} : RC = \frac{12 \times 20 \cdot 10^{-3}}{4 \times 30} = 2 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{F}$ .

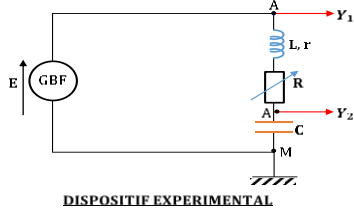
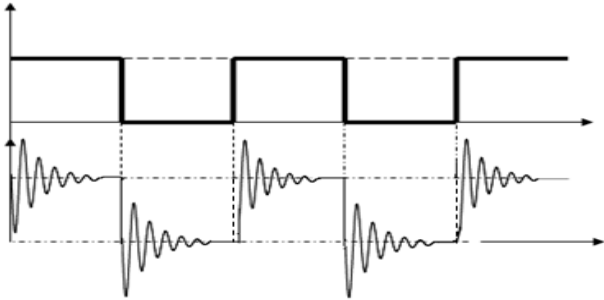
<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTRICITE</b>	
<b>Compétence 3 : Traiter une situation se rapportant à l'électricité</b>	
<b>Titre de la leçon : OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT LC</b> <b>Durée : 6H (3 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un oscillateur électrique.
Interpréter	La charge et la décharge d'un condensateur.
Établir	L'équation différentielle d'un oscillateur électrique LC.
Connaitre	Une solution de l'équation différentielle.
Connaitre	Les caractéristiques des oscillations d'un oscillateur électrique LC : La pulsation propre ; la période propre ; la fréquence propre ; l'amplitude ; la phase à l'origine des dates.
Utiliser	La pulsation propre ; la période propre ; la fréquence propre ; l'amplitude ; la phase à l'origine des dates.
Déterminer	L'énergie emmagasinée dans un circuit LC.
Montrer	La conservation de l'énergie totale du circuit LC.
Établir	L'analogie oscillateur mécanique-oscillateur électrique.
Expliquer	L'influence de la résistance interne de la bobine sur les oscillations électriques.
Analyser	Un montage à "résistance négative".
Expliquer	L'entretien des oscillations avec un circuit intégré linéaire.

### Situation d'apprentissage

Au cours d'une journée carrière au lycée, les élèves de la Tle C s'entretiennent avec un électronicien. Ce dernier leur apprend qu'il est possible à l'aide d'une bobine et d'un condensateur de réaliser des oscillations électriques libres. Les élèves sont perplexes car jusqu'à présent ils ne connaissent que des oscillations mécaniques libres. Pour en savoir davantage, de retour en classe, ils entreprennent de définir un oscillateur électrique, d'établir l'équation différentielle d'un oscillateur électrique LC et de faire ressortir l'analogie oscillateur mécanique-oscillateur électrique.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Bobines ; ampèremètre ; voltmètre ; GBF ; oscilloscope - Condensateur ; potentiomètre (100Ω) ; 2 résistors de 1 kΩ - 2 rhéostats ; Interrupteur ; AO (TL081 ou TL082) - Platine leybold - fils de Connexion	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

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

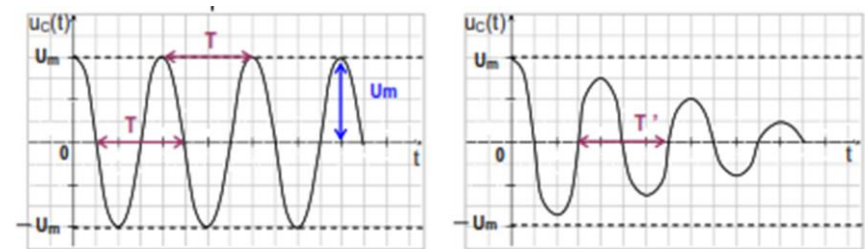
DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES LIBRES DANS UN CIRCUIT LC</b></p> <p><b>1. Oscillateur électrique</b> Un oscillateur électrique libre est un circuit électrique constitué d'un condensateur de capacité <math>C</math> initialement chargé et d'une bobine (<math>L, r</math>).</p> <p><b>2. Charge et décharge d'un condensateur dans une bobine</b></p> <p>2.1. <u>Dispositifs expérimentaux</u></p>  <p style="text-align: center;">DISPOSITIF EXPERIMENTAL</p> <p>2.2. <u>Visualisation à l'oscilloscope</u></p>  <p>2.3. <u>Interprétation</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De <math>0</math> à <math>\frac{T}{2}</math> : La tension aux bornes du circuit est constante et égale à <math>E</math>. Le condensateur se charge progressivement. La tension <math>U_{AM} = \frac{q}{C}</math> atteint la valeur <math>E</math> en oscillant. L'amplitude des oscillations décroît.</li> <li>✓ De <math>\frac{T}{2} \leq t &lt; T</math> : <math>U_{GBF} = 0</math>, le condensateur se décharge. La tension <math>U_{AM}</math> s'annule après quelques oscillations d'amplitude décroissante.</li> </ul>

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

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

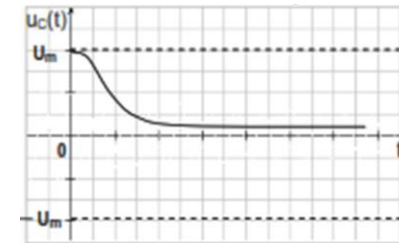
#### 2.4. Influence de la résistance totale du circuit

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



(a):  $R_t$  très faible

(b):  $R_t$  faible



(c):  $R_t$  très grand

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

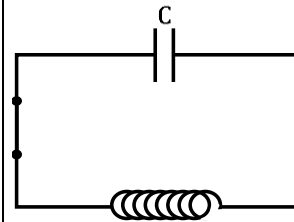
#### 2.5. Conclusion

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

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

### 3. Étude théorique d'un circuit LC idéal (oscillation non amortie)

#### 3.1. Équation différentielle du circuit LC



Loi des mailles donne :  $U_L + U_C = 0$ , Or  $U_L = L \frac{di}{dt}$  et  $U_C = \frac{q_A}{C}$  ; On obtient alors :  $L \frac{di}{dt} + \frac{q_A}{C} = 0$ .

**NB** : le condensateur est préalablement chargé.

$$L\ddot{q}_A + \frac{1}{C}q_A = 0 \quad (1) \text{ avec } i = \frac{dq_A}{dt}$$

Soit  $\ddot{q}_A + \frac{1}{LC}q_A = 0$  : Équation différentielle

de la charge d'un condensateur.

#### 3.2. Solution de l'équation différentielle

Cette équation est celle d'un oscillateur électrique harmonique. Elle admet pour solution :  $q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  avec :

$Q_m$  : Valeur maximale ou Amplitude de la charge ;  $\varphi$  : la phase à l'origine ;  $\omega_0 t + \varphi$  : la phase à un instant t.

La pulsation propre :  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

La période propre est :  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$  ;

la fréquence propre est :  $N_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

#### Remarque :

$Q_m$  et  $\varphi$  se déterminent à l'aide des conditions initiales.

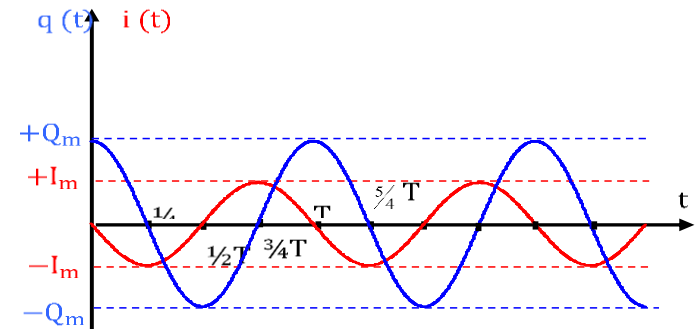
#### 3.3. Expression de l'intensité i en fonction du temps

Adoptons les conditions initiales suivantes : à  $t = 0$ ,  $q_A = Q_m$  et  $i = 0$  avec  $Q_m > 0$ . On a  $q = Q_m \cos(\varphi) = Q_m \Rightarrow \cos(\varphi) = 1$  ;  $\varphi = 0$ .

Ainsi :  $q = Q_m \cos(\omega_0 t)$ , par la suite :  $i = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t) = \omega_0 Q_m \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$ .

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

**Illustration graphique**



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

3.4. Bilan énergétique

3.4.1. Expression de l'énergie

➤ Energie emmagasinée par le condensateur

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

➤ Energie emmagasinée par la bobine

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

➤ Energie totale du circuit

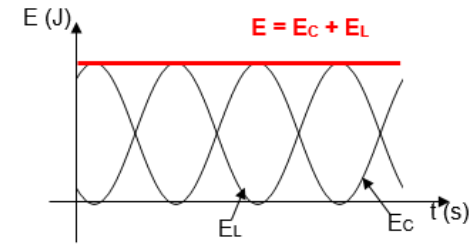
$$E_T = E_L(t) + E_C(t) = \frac{1}{2} LQ_m^2 \omega_0^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \frac{Q_m^2}{2C} \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$

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

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

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

3.4.2. Illustration graphique du bilan énergétique



#### ÉCHANGE ÉNERGÉTIQUE DANS UN CIRCUIT L C

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

#### **4. Analogie oscillateur mécanique - oscillateur électrique**

OSCILLATEUR MÉCANIQUE	OSCILLATEUR ÉLECTRIQUE
$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$	$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$
$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (pulsation propre)	$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ (pulsation propre)
$x = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ (position)	$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ (charge)
$\dot{x} = -X_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$ (vitesse)	$i = -Q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$ (intensité)
$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$	$E = \frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$
m (masse)	L (inductance)
k (constante de raideur)	$\frac{1}{C}$ (capacité)
f (force de frottement)	r (résistance)

#### **5. Entretien des oscillations**

En réalité la bobine purement inductive n'existe pas. Ce qui engendre des oscillations amorties dans les circuits LC. Pour obtenir des

oscillations non amorties, il faut parvenir à restituer l'énergie perdue par effet joule.

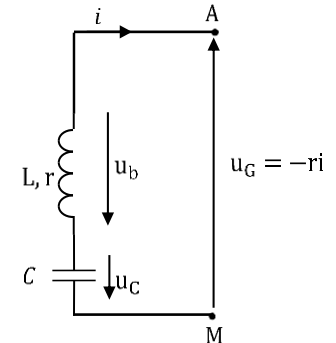
### 5.1. Introduction d'un générateur auxiliaire

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

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

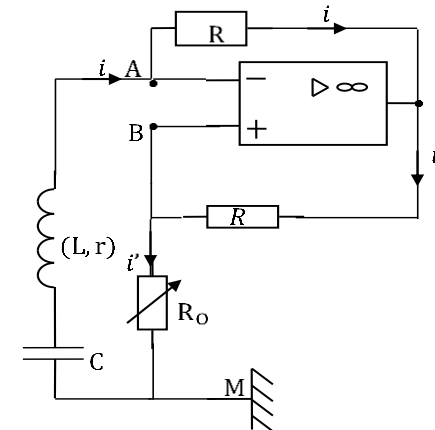
La solution est  $u_G = -ri$  pour que le générateur puisse jouer son rôle.

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



### 5.2. Réalisation pratique d'un dispositif d'entretien

On utilise un AO supposé idéal fonctionnant en régime linéaire.



Montrons qu'il remplit parfaitement ce rôle.

**Exprimons  $U_{AM}$  :**

$$U_{AM} = U_{AB} + U_{BM} = 0 + R_o i' \rightarrow U_{AM} = R_o i'$$

**Relation entre  $i$  et  $i'$**

Dans la maille ASBA,  $U_{AS} + U_{SB} + U_{BA} = 0$ .  $Ri + Ri' = 0 \leftrightarrow i + i' = 0 \leftrightarrow i = -i'$  ;

Donc  $U_{AM} = -R_o i = U_G$  ;

				<p>Faisons varier <math>R_0</math> à partir de zéro.</p> <p>Dès que <math>R_0 = r</math>, on observe des oscillations sinusoïdales Périodiques, de période <math>T = 2\pi\sqrt{LC}</math></p> <p>Ce sont des oscillations électriques libres entretenues.</p> <p><b>Remarque</b></p> <p>Ce dispositif est un moyen d'entretenir des oscillations électriques.</p>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>Un condensateur de capacité <math>C = 100 \mu\text{F}</math> est chargé sous une tension constante <math>U = 40 \text{ V}</math>. On le relie à une bobine pure d'inductance <math>L = 40 \text{ mH}</math> et de résistance négligeable.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcule :       <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. La fréquence propre des oscillations électriques.</li> <li>1.2. L'intensité maximale <math>I_m</math> du courant si la charge maximale du condensateur est égale à sa charge initiale.</li> </ol> </li> <li>2. Donne :       <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. L'équation différentielle du circuit, en prenant pour variable la charge <math>q</math> du condensateur.</li> <li>2.2. L'expression de <math>q(t)</math> sachant qu'à l'instant <math>t = 0\text{s}</math>, on ferme le circuit.</li> </ol> </li> <li>3. Calcule la capacité du condensateur à monter en série avec la bobine pour obtenir un circuit LC de fréquence propre <math>1560 \text{ Hz}</math>.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b><u>Résolution détaillée</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcul de :       <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. La fréquence propre des oscillations électriques : <math>N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}</math></li> </ol> <p>A.N : <math>N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{40.10^{-3} \times 100.10^{-6}}} = 79,57\text{Hz} \approx 80 \text{ Hz}</math></p> <li>1.2. L'intensité maximale <math>I_m = Q_m \omega_0 = \frac{CU}{\sqrt{LC}}</math></li> </li></ol> <p>A.N : <math>I_m = \frac{100.10^{-6} \times 40}{\sqrt{40.10^{-3} \times 100.10^{-6}}} = 2 \text{ A}</math></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.</li> </ol>

- 2.1. Equation différentielle :  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$
- 2.2. Expression de  $q(t)$  :  $q(t) = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$  ; on a  $Q_m = CU = 4 \cdot 10^{-3} C$  ;  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 500 \text{ rad/s}$  ; à  $t = 0$ ,  $q(t) = Q_m \Rightarrow \varphi = 0$   
 $q(t) = 4 \cdot 10^{-3} \cos(500t)$
3. Calcul de la capacité du condensateur si  $N_0 = 1560 \text{ Hz}$  : on a :  $N = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{1}{(2\pi N)^2 L}$ . A.N :  $C = 0,26 \mu\text{F}$

### Evaluation à faire à la maison

#### Evaluation 1

On charge un condensateur de capacité  $C = 1 \text{ nF}$  sous une tension constante  $U = 2\text{V}$ , puis à un instant  $t = 0$ , on le relie aux bornes d'une bobine d'inductance  $L$ . La fréquence des oscillations dans le circuit est alors  $N = 1,59 \cdot 10^4 \text{ Hz}$ .

1. Exprime, en fonction du temps :
  - 1.1. La charge du condensateur.
  - 1.2. La tension aux bornes du condensateur.
2. Calcule la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine.
3. Détermine la valeur de  $q(t)$  ( $q(t) > 0$ ) quand  $i(t) = 10^{-4} \text{ A}$ .
4. Calcule l'énergie magnétique du circuit lorsque la charge du condensateur est  $q = 1,73 \text{ nC}$ .

#### Résolution détaillée

1. Expression de :
  - 1.1. La charge du condensateur :  $q(t) = Q_m \cos(\omega t + \varphi) = CU \cos(2\pi N t + \varphi)$  ici  $\varphi = 0 \Rightarrow q(t) = 2 \cdot 10^{-9} \cos(31800\pi t)$
  - 1.2. La tension aux bornes du condensateur :  $u_C(t) = \frac{q(t)}{C}$  ;  $u_C(t) = 2 \cos(31800\pi t)$ .
2. Calcul de la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine : on a :  $\omega^2 = \frac{1}{LC} = (2\pi N)^2 \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi N)^2 C}$ . A.N :  $L = 0,1 \text{ H}$

3. Détermination de la valeur de  $q(t)$  lorsque  $i(t) = 10^{-4} \text{ A}$  : on a :

$$q(t) = 2 \cdot 10^{-9} \cos(31800\pi t) \Rightarrow i(t) = \frac{dq}{dt} = -2 \cdot 10^{-9} \times$$

$$31800\pi \sin(31800\pi t) \Rightarrow i(t) = -2 \cdot 10^{-4} \sin(31800\pi t) = 10^{-4}$$

$$\Rightarrow \sin(31800\pi t) = -\frac{1}{2} = \sin\left(\frac{11\pi}{6}\right) \Rightarrow 31800\pi t = \frac{11\pi}{6} \Rightarrow q =$$

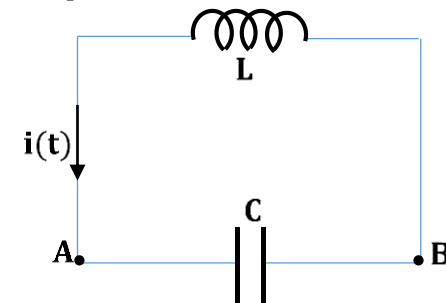
$$2 \cdot 10^{-9} \cos\left(\frac{11\pi}{6}\right) = 1,73 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 1,73 \text{ nC.}$$

4. Calcul de l'énergie magnétique du circuit lorsque  $q = 1,73 \text{ nC}$  :

on a :  $E_L = \frac{1}{2} Li^2$  ; à  $q = 1,73 \text{ nC}$  ,  $i = 10^{-4} \text{ A} \Rightarrow E_L = \frac{1}{2} \times 0,1 \times (10^{-4})^2 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ J.}$

### Evaluation 2

Le montage ci-dessous comprend : un condensateur de capacité  $C = 1,0 \mu\text{F}$  ; une bobine d'inductance  $L = 1,0 \text{ H}$  et de résistance négligeable. À la date  $t = 0$ , le condensateur, initialement chargé sous une tension  $U_0 = 12 \text{ V}$ , 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. Calcule l'énergie emmagasinée dans le condensateur en fin de charge.
2. Etablis l'équation différentielle ( $q$  la charge portée par l'armature A).

3.

3.1. Vérifie que la solution de cette équation différentielle est de la forme  $q(t) = Q_m \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t + \varphi\right)$

3.2. Détermine la valeur de :  $Q_m$  ;  $\varphi$  ;  $\omega_0$  et  $T_0$ .

4. On se propose maintenant d'étudier l'évolution des énergies emmagasinées dans le condensateur et dans la bobine au cours du temps.

4.1. Détermine les expressions en fonction du temps de :

- L'intensité  $i(t)$  du courant électrique ;
- L'énergie  $E_C(t)$  emmagasinée dans la bobine ;
- L'énergie  $E_L(t)$  emmagasinée dans la bobine ;

4.2. Montre qu'à chaque instant l'énergie totale  $E$  est conservée.

### Résolution détaillée

1. Calcul de l'énergie emmagasinée dans le condensateur en fin de

charge : on a :  $E_C = \frac{1}{2} \frac{Q_m^2}{C}$  en fin de charge  $Q_m = CU_0 \Rightarrow E_C = \frac{1}{2} CU_0^2$  A.N :

$$E_C = 72 \mu\text{J}.$$

2. Etablissement de l'équation différentielle :  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$

3.

3.1.  $q(t) = Q_m \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}t + \varphi\right)$  (Démonstration à faire)

3.2. Détermination de :

$$\checkmark \begin{cases} q(0) = Q_m \cos \varphi = CU_0 \\ i(0) = -\frac{Q_m}{\sqrt{LC}} \sin \varphi = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi = 0 \\ Q_m = CU_0 = 12 \cdot 10^{-6} \text{C} \end{cases}$$

$$\checkmark \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1000 \text{ rad/s}$$

$$\checkmark T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{s} = 6,3 \text{ ms}$$

4.

4.1. Détermination des expressions en fonction du temps de :

✓ L'intensité  $i(t)$  du courant : on a :  $q(t) =$

$$12 \cdot 10^{-6} \cos(1000t) \Rightarrow i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -12 \cdot 10^{-3} \sin(1000t).$$

✓ L'énergie  $E_C(t) = \frac{1}{2C}q^2 = 72 \cdot 10^{-6} (\cos(1000t))^2$ .

✓ L'énergie  $E_L(t) = \frac{1}{2}Li^2 = 72 \cdot 10^{-6} (\sin(1000t))^2$ .

4.2. L'énergie totale  $E(t) = E_C(t) + E_L(t) = 72 \cdot 10^{-6} \text{J}$ .

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTRICITE</b>	
<b>Compétence 3 : Traiter une situation se rapportant à l'électricité</b>	
<b>Titre de la leçon : CIRCUIT RLC SÉRIE EN RÉGIME SINUSOÏDAL FORCÉ</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 4H (2 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	le courant alternatif sinusoïdal ( $I_m, \omega, \varphi$ ).
Connaître et Utiliser	La relation entre : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les tensions maximale et efficace d'une tension alternative sinusoïdale ;</li> <li>- Les intensités maximale et efficace d'un courant alternatif sinusoïdal.</li> <li>- La période d'une tension alternative sinusoïdale.</li> <li>- la phase <math> \varphi_{u/i}  = \frac{2\pi}{T} \tau</math>.</li> <li>- l'impédance du dipôle RLC (<math>Z = \frac{U}{I}</math>).</li> </ul>
Connaître	L'unité d'impédance.
Construire	Le diagramme de Fresnel.
Connaître et Utiliser	Les expressions des grandeurs suivantes: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impédance Z ;</li> <li>- <math>\tan \varphi_{u/i}</math>, <math>\cos \varphi_{u/i}</math> et <math>\sin \varphi_{u/i}</math>.</li> </ul>

### Situation d'apprentissage

Un élève de la Tle du lycée découvre dans une revue scientifique, qu'il est possible d'alimenter en courant sinusoïdal à l'aide d'un générateur basse fréquence (GBF), l'association en série d'un résistor, d'un condensateur et d'une bobine. Intrigué, il informe ses camarades de classe. Ensemble, ils entreprennent sous la conduite de leur professeur de physique-chimie 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.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GBF ; Bobines d'inductance variable ;</li> <li>- Oscilloscope ; Condensateur ; Boîte de résistors à décades ;</li> <li>- Platine leybold ;</li> <li>- Fils de connexion ; Multimètres</li> </ul>	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### PLAN DE LA LEÇON

<b>1- Rappels et définitions</b> 1.1- <u>Courant alternatif sinusoïdal</u> 1.2- <u>Intensité et Tension efficaces</u> <b>Activité d'application 1</b> <b>2- Etude expérimentale d'un circuit RLC série</b> 2.1- <u>Impédance d'un dipôle</u> <b>2.1.1- Expérience</b> ➤ <u>Schéma du montage expérimental</u> ➤ <u>Tableau des mesures</u> <b>2.1.2- Exploitation des résultats</b> <b>2.1.3- Conclusion</b> 2.2- <u>Visualisation à l'oscilloscope</u> <b>2.2.1- Expérience : schéma du montage</b> <b>2.2.2- Etude des oscillogrammes</b>	<b>2.2.3- Détermination graphique de <math>\varphi_{u/i}</math></b> <b>Activité d'application 2</b> <b>3- Etude théorique du circuit RLC série</b> 3.1- <u>Schéma et équation différentielle</u> ➤ <u>Schéma</u> ➤ <u>Équation différentielle</u> 3.2- <u>Résolution de l'équation différentielle par la méthode de Fresnel</u> <b>3.2.1- Construction de Fresnel</b> <b>3.2.2- Expression de l'impédance Z du circuit RLC</b> <b>3.2.3- la phase <math>\varphi_{u/i}</math></b> <b>3.2.4- Nature du circuit selon le signe de <math>\varphi_{u/i}</math></b>
<b>Situation d'évaluation</b>	

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>CIRCUIT RLC SÉRIE EN RÉGIME SINUSOÏDAL FORCE</b>
				<p><b>1. <u>Rappels et définitions</u></b></p> <p>1.1. <u>Courant alternatif sinusoïdal</u>  C'est un courant électrique dont l'intensité est une fonction sinusoïdale du temps. Il change deux fois de signe pendant une période.  Son expression est : <math>i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i)</math> Avec :</p> <p><math>I_m</math> : intensité maximale en (A) ;  <math>\omega</math> : pulsation en (rad/s) ; (<math>\omega = 2\pi N = \frac{2\pi}{T}</math> ou <math>N</math> est la fréquence et <math>T</math> la période)  <math>\varphi_i</math> : phase à l'origine (rad) ;  <math>\omega t + \varphi_i</math> : phase à l'instant t (rad) ;</p> <p><b><u>N.B</u></b> : La tension alternative sinusoïdale est aussi de la forme : <math>u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_u)</math> avec <math>U_m</math> : tension maximale en (V)</p> <p>1.2. <u>Intensité et Tension efficaces</u></p> <p>✓ <b>Intensité efficace</b> : <math>I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}</math>  ✓ <b>Tension efficace</b> : <math>U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}</math></p> <p><b><u>Remarque</u></b> :  <i>Les valeurs efficaces sont mesurées à l'aide des multimètres.  La valeur maximale d'une tension peut être mesurée à l'aide d'un oscilloscope.</i></p> <p><b><u>Remarque</u></b> : <math>\frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{U_m}{I_m}</math></p> <p><b><u>Activité d'application 1</u></b>  Soit la tension <math>u_{AB} = 311 \cos(628 t + \frac{\pi}{2})</math> avec <math>u_{AB}</math> en volt et t en seconde.</p> <p>1) Donner la valeur maximale, la pulsation et la phase à l'origine de la tension <math>u_{AB}</math>.</p>

2) Calculer la valeur efficace, la période et la fréquence de cette tension.

**Résolution :**

1) La valeur maximale :  $U_m = 311 \text{ V}$  ; la pulsation :  $\omega = 628 \text{ ras/s}$  ; la phase à l'origine :  $\varphi = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$ .

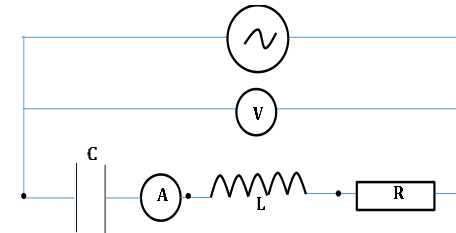
2) La valeur efficace :  $U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}$  ; la période :  $T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = 0,01 \text{ s}$  ; la fréquence :  $N = \frac{1}{T} \Rightarrow T = 100\text{Hz}$ .

**2. Etude expérimentale d'un circuit RLC série**

2.1. Impédance d'un dipôle

2.1.1. Expérience

➤ Schéma du montage expérimental



On fixe une fréquence de la tension sinusoïdale et On fait varier la tension efficace et on relève les intensités efficaces correspondantes.

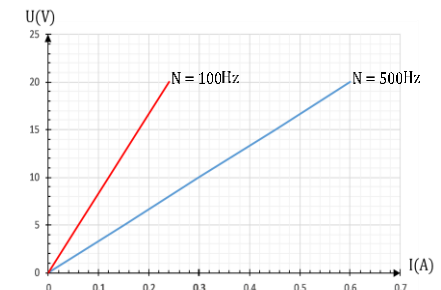
➤ Tableau des mesures

Fréquence (Hz)	U(V)	0	5	10	15	20
100	I(A)	0	0,06	0,12	0,18	0,24
500	I(A)	0	0,15	0,3	0,45	0,6

2.1.2. Exploitation des résultats

Graphes  $U = f(I)$ .

Pour chaque fréquence, on obtient une droite qui passe par l'origine des axes. La tension efficace  $U$  est donc proportionnelle à l'intensité efficace  $I$ .



Le coefficient de proportionnalité noté  $Z$  est appelé l'impédance du circuit RLC.

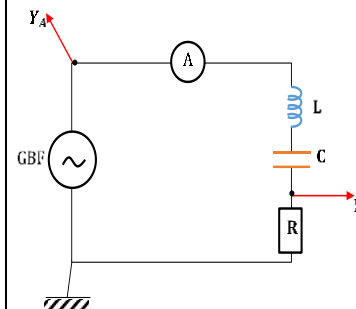
### 2.1.3. Conclusion

On appelle **impédance** d'un circuit, le rapport  $\frac{U}{I}$  noté  $Z$ . Elle s'exprime

en ohms ( $\Omega$ ) 
$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}$$

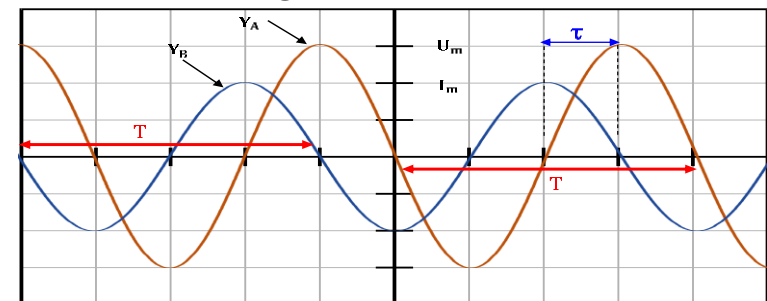
## 2.2. Visualisation à l'oscilloscope

### 2.2.1. Expérience : schéma du montage



$Y_A$ : Tension  $U_{AB}$  aux bornes du GBF  
 $Y_B$ : Tension aux bornes de R ;  $U_R = Ri$   
 L'oscilloscope permet de visualiser les variations de la tension  $u$  aux bornes du circuit RLC et les variations de l'intensité  $i$  qui le traverse.

### 2.2.2. Etude des oscillogrammes



$u(t)$  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 :

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

**N.B :** ici  $\mathbf{u(t)}$  est en retard par rapport à  $\mathbf{i(t)}$  donc  $\boldsymbol{\varphi_{u/i} < 0}$ .

➤ **Analyse d'un oscillogramme :**

- ✓ Identifier les deux sinusoïdes
- ✓ Déterminer graphiquement la période, la tension maximale  $U_m$  et l'intensité maximale  $I_m$ .
- ✓ Déterminer laquelle des grandeurs est en avance sur l'autre. La grandeur en avance s'annule la 1<sup>ère</sup> ou atteint son maximum la 1<sup>ère</sup>.

**2.2.3. Détermination graphique de  $\boldsymbol{\varphi_{u/i}}$**

$|\boldsymbol{\varphi_{u/i}}| = \frac{2\pi\tau}{T}$  avec  $\boldsymbol{\tau}$ : Décalage horaire entre  $\mathbf{u(t)}$  et  $\mathbf{i(t)}$ .

**Exemple :**

$|\boldsymbol{\varphi_{u/i}}| = 2\pi \times \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2}$  avec  $L_T = 4$  et  $\ell = 1$ ;  $\boldsymbol{\varphi_{u/i} = -\frac{\pi}{2}}$  rad

**Remarque**

- ✓ Si  $\boldsymbol{\varphi_{u/i} > 0}$ , la tension est en avance par rapport à l'intensité.
- ✓ Si  $\boldsymbol{\varphi_{u/i} < 0}$ , la tension est en retard par rapport à l'intensité.
- ✓ Si  $\boldsymbol{\varphi_{u/i} = 0}$ , la tension et l'intensité sont en phase.

**Activité d'application 2**

Un générateur maintient entre ses bornes une tension dont la valeur instantanée est donnée (en volts) par l'expression :  $\mathbf{u(t) = 15 \cos(314t + 0,5)}$ . L'intensité instantanée dans le circuit est alors (en mA) :  $\mathbf{i(t) = 40 \cos(\omega t)}$ .

1. Donne la valeur de  $\boldsymbol{\omega}$ .
2. Calcule l'impédance du circuit.
3. Donne la phase de la tension par rapport à l'intensité.

**Résolution détaillée :**

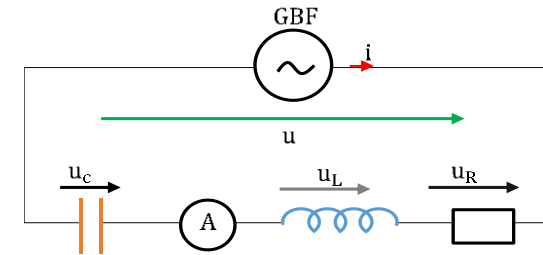
1. La tension et l'intensité sont de même période d'où  $\boldsymbol{\omega = 314}$  rad/s.
2. L'impédance  $\boldsymbol{Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \Rightarrow Z = \frac{15}{40 \cdot 10^{-3}} = 375\Omega}$ .

3. La phase de la tension par rapport à l'intensité :  $\varphi_{u/i} = 0,5 \text{ rad}$

### 3. Etude théorique du circuit RLC série

#### 3.1. Schéma et équation différentielle

##### ➤ Schéma



On a d'après la loi des mailles:  $u = u_R + u_L + u_C = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C}$ ; d'où

$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt.$$

En posant  $i(t) = I_m \cos(\omega t)$ , on a  $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_{u/i})$

##### - Aux bornes de (R)

$$u_R = RI_m \cos(\omega t) \text{ soit } U_{Rm} = RI_m; \text{ l'impédance } Z_R = \frac{U_{Rm}}{I_m} = R$$

##### - Aux bornes de la bobine(L) (bobine purement inductive $r=0$ )

$$u_L = L \frac{di}{dt} = -L\omega I_m \sin(\omega t) = L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \text{ avec } U_{Lm} = L\omega I_m$$

soit  $Z_L = L\omega$

##### - Aux bornes du condensateur (C)

$$u_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int (I_m \cos \omega t) dt = \frac{I_m}{C\omega} \sin(\omega t) = \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right),$$

avec  $U_{Cm} = \frac{I_m}{C\omega}$ ; son impédance  $Z_C = \frac{1}{C\omega}$ .

##### ➤ Équation différentielle

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \text{ devient :}$$

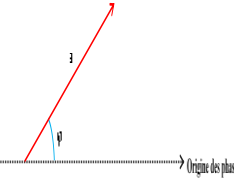
$$u(t) = RI_m \cos(\omega t) + L\omega I_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

#### 3.2. Résolution de l'équation différentielle par la méthode de Fresnel

**3.2.1. Construction de Fresnel**

A toute grandeur sinusoïdale  $x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi)$ , on fait correspondre **un vecteur de Fresnel**  $\vec{x}$  tel que :

- ✓ La norme est égale à  $X_m$  ;
- ✓ La direction fait un angle  $\varphi$  avec l'horizontale.

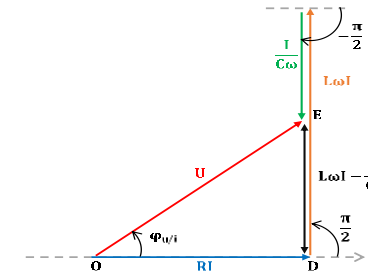


En associant des vecteurs de Fresnel aux différentes tensions on obtient :  $\vec{u} = \vec{u}_R + \vec{u}_L + \vec{u}_C$  avec

$\vec{u}(U, \varphi_{u/i})$ ;  $\vec{u}_R(RI, 0)$ ;  $\vec{u}_L(L\omega I, +\frac{\pi}{2})$ ;  $\vec{u}_C(\frac{I}{C\omega}, -\frac{\pi}{2})$  d'où

le **diagramme de Fresnel** ci-après :

On prendra comme origine des phases pour tout circuit *RLC* l'axe des intensités.



En considérant le triangle *ODE* rectangle en *D*, on obtient :  $U^2 = (RI)^2 + (L\omega I - \frac{I}{C\omega})^2$

**3.2.2. Expression de l'impédance *Z* du circuit *RLC***

d'après le diagramme de Fresnel,  $U^2 = (RI)^2 + (L\omega I - \frac{I}{C\omega})^2 \Rightarrow U^2 =$

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

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

**N.B.:**

- ✓  $Z_L = L\omega$  est appelée **réactance** d'induction

- ✓  $Z_C = \frac{1}{C\omega}$  est appelée **réactance** de la capacité
- ✓  $L\omega - \frac{1}{C\omega}$  est la réactance du circuit
- ✓ si la bobine possède une résistance interne  $r$ , la résistance totale du circuit est  $R + r$  et on a :  $Z = \sqrt{(R + r)^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$ .

### 3.2.3. la phase $\varphi_{u/i}$

D'après la représentation de Fresnel :  $\tan \varphi_{u/i} = \frac{DE}{OD} = \frac{L\omega I - \frac{I}{C\omega}}{RI} =$

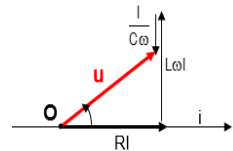
$\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \Rightarrow \boxed{\tan \varphi_{u/i} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}}$ ; en considérant le cosinus on obtient :

$\cos \varphi_{u/i} = \frac{OD}{OE} = \frac{RI}{U}$  or  $U = Z \times I \Rightarrow \cos \varphi_{u/i} = \frac{R}{Z}$ . Comme  $Z =$

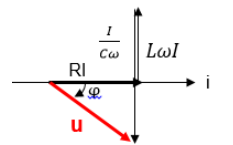
$$\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \Rightarrow \boxed{\cos \varphi_{u/i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}}$$

### 3.2.4. Nature du circuit selon le signe de

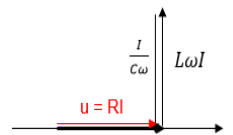
- Si  $\varphi_{u/i} > 0$ ,  $\tan \varphi_{u/i} > 0 \Rightarrow L\omega > \frac{1}{C\omega}$ , la tension est **en avance** sur l'intensité. Le circuit est dit **inductif**. Le diagramme de Fresnel est :



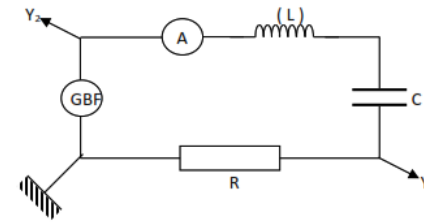
- Si  $\varphi_{u/i} < 0$ ,  $\tan \varphi_{u/i} < 0 \Rightarrow L\omega < \frac{1}{C\omega}$ , la tension est **en retard** sur l'intensité. Le circuit est dit **capacitif**. Le diagramme de Fresnel est :



- Si  $\varphi_{u/i} = 0$ ,  $\tan \varphi_{u/i} = 0$ ,  $L\omega = \frac{1}{C\omega}$ , la tension et l'intensité sont **en phase**. On est à la **résonance d'intensité** et le circuit est dit **résistif**. Le diagramme de Fresnel est :



Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>Lors d'un TP, un professeur de Physique-Chimie met à la disposition d'un groupe d'élèves de terminale D du Lycée Moderne d'ABOISSO, un circuit électrique en série constitué d'un générateur basse fréquence (GBF) qui délivre une tension sinusoïdale d'expression <math>u(t) = 10\sqrt{2} \cos(10^3\pi t)</math>, d'un conducteur ohmique de résistance <math>R = 1000 \Omega</math>, d'un condensateur de capacité <math>C = 2\mu\text{F}</math>, d'un ampèremètre et d'une bobine d'inductance <math>L = 0,5 \text{ H}</math> de résistance négligeable.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fais le schéma du montage.</li> <li>2. Indique sur le schéma les branchements d'un oscilloscope pour visualiser l'allure des variations de la tension <math>u_R(t)</math> aux bornes du conducteur ohmique de résistance <math>R</math> sur la voie <math>Y_1</math> et les variations de la tension <math>u(t)</math> aux bornes du générateurs sur la voie <math>Y_2</math>.</li> <li>3. Donne l'expression de l'impédance <math>Z</math> du circuit en fonction de <math>R, C, L</math> et <math>\omega</math>.</li> <li>4. Calcule :       <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1. La valeur de <math>Z</math>.</li> <li>4.2. L'intensité efficace <math>I_{\text{eff}}</math> du courant dans le circuit.</li> </ol> </li> <li>5. Détermine :       <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. La phase <math>\varphi_{u/i}</math> de la tension <math>u(t)</math> par rapport à l'intensité <math>i(t)</math>.</li> <li>5.2. La nature du circuit.</li> </ol> </li> <li>6. Le professeur demande aux élèves de retrouver la nature du circuit par la construction de FRESNEL.       <ol style="list-style-type: none"> <li>6.1. Détermine les tensions efficaces :           <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>U_C</math> aux bornes du condensateur ;</li> <li>➤ <math>U_L</math> aux bornes de la bobine ;</li> <li>➤ <math>U_R</math> aux bornes du conducteur ohmique.</li> </ul> </li> <li>6.2. Réalise le diagramme de Fresnel des tensions efficaces de ce circuit. (Échelle : <math>1\text{cm} \leftrightarrow 1 \text{ V}</math>).</li> <li>6.3. Donne à partir de ce diagramme la nature du circuit.</li> </ol> </li> </ol> <p style="text-align: center;"><b><u>Résolution détaillée</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schéma du montage :</li> </ol>
------------	--------------------	-------------------------------------	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



2. Voir schéma.

3. l'expression de l'impédance  $Z$  :  $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

4.

4.1. la valeur de  $Z$  :  $Z = \sqrt{1000^2 + \left(0,5 \times 10^3 \pi - \frac{1}{2,10^{-6} \times 10^3 \pi}\right)^2} = 1730 \Omega$ .

4.2. L'intensité efficace  $I_{\text{eff}}$  du courant :  $I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{Z} \text{ A.N} : I_{\text{eff}} = \frac{10}{1730} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 5,8 \text{ mA}$ .

5.

5.1. La phase  $\varphi$  de  $u$  par rapport à  $i$  :  $\tan \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \text{ A.N} : \tan \varphi = \frac{0,5 \times 10^3 \pi - \frac{1}{2,10^{-6} \times 10^3 \pi}}{1000} = 1,4 \Rightarrow \varphi = 0,95 \text{ rad}$ .

5.2. On a  $\varphi > 0$ , circuit inductif.

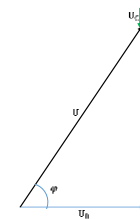
6.

6.1. Les tensions efficaces :

$$U_C = \frac{I_{\text{eff}}}{C\omega} = \frac{5,8 \cdot 10^{-3}}{2,10^{-6} \times 10^3 \pi} = 0,9 \text{ V} ; U_L = L\omega I_{\text{eff}} = 0,5 \times 10^3 \pi \times$$

$$5,8 \cdot 10^{-3} = 9 \text{ V} ; U_R = R I_{\text{eff}} = 1000 \times 5,8 \cdot 10^{-3} = 5,8 \text{ V}.$$

6.2. Diagramme de Fresnel :



6.3. A partir du diagramme, on retrouve  $\varphi > 0$  (valeur qu'on peut même mesurer).

\*

**Evaluation à faire à la maison****Evaluation 1 :**

A- Une bobine d'inductance  $L = 0,1 \text{ H}$  et de résistance  $r = 60 \Omega$  est alimentée par une tension sinusoïdale  $u(t) = 10\sqrt{2} \cos(100\pi \cdot t)$ .

Déterminer :

- A.1- Le déphasage de la tension  $u(t)$  par rapport à l'intensité  $i(t)$ .  
A.2- L'expression de  $i(t)$ .

B- Un condensateur de capacité  $c = 5 \mu\text{F}$  associé en série avec un conducteur ohmique de résistance  $R$ . L'ensemble est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence  $N = 1000 \text{ Hz}$  et de valeur efficace  $U = 24 \text{ V}$ . Le déphasage de la tension  $u(t)$  par rapport à l'intensité  $i(t)$  est  $|\varphi| = \frac{\pi}{4}$ .

- B.1- précise le signe de  $\varphi$  ;  
B.2- calcule  $R$ .  
B.3- donne les expressions de  $u(t)$  ;  $u_R(t)$  et  $u_C(t)$ .

**Résolution détaillée**

A-

A.1- Le déphasage de la tension  $u(t)$  par rapport à  $i(t)$  : on a  $\tan \varphi = \frac{L\omega}{R} = \frac{0,1 \times 100\pi}{60} = 523,59 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \varphi = 27,63^\circ \approx \frac{\pi}{6}$ .

A.2- l'expression de  $i(t)$  :  $i(t) = I_m \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$  on a :  $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{r^2 + (L\omega)^2}} = 0,21 \text{ A} \Rightarrow i(t) = 0,21 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$

B-

B.1- le signe de  $\varphi$  : on a : un circuit capacitif d'où  $\varphi < 0$ .

B.2- calcul de  $R$  : on a :  $\tan \varphi = \frac{1}{CR\omega} \Rightarrow R = \frac{1}{C\omega \tan|\varphi|} = \frac{1}{2\pi NC \tan|\varphi|}$  A.N :  $R = 31,8\Omega \approx 32 \Omega$ .

B.3- expression de :

$$\checkmark u(t) = U_m \cos\left(2\pi Nt - \frac{\pi}{4}\right) = 24\sqrt{2} \cos\left(2000\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$\checkmark u_R(t) = Ri(t) = RI_m \cos(2\pi Nt). RI_m = \frac{RU\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi NC}\right)^2}} = 24 \text{ V} \Rightarrow u_R(t) = 24 \cos(2000\pi t).$$

$$\checkmark u_C(t) = \frac{I_m}{C\omega} \cos\left(2\pi Nt - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{I_m}{C\omega} = \frac{U\sqrt{2}}{2\pi NC \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi NC}\right)^2}} = 23,94 \approx 24 \text{ V}$$

$$\Rightarrow u_C(t) = 24 \cos\left(2000\pi t - \frac{\pi}{2}\right)$$

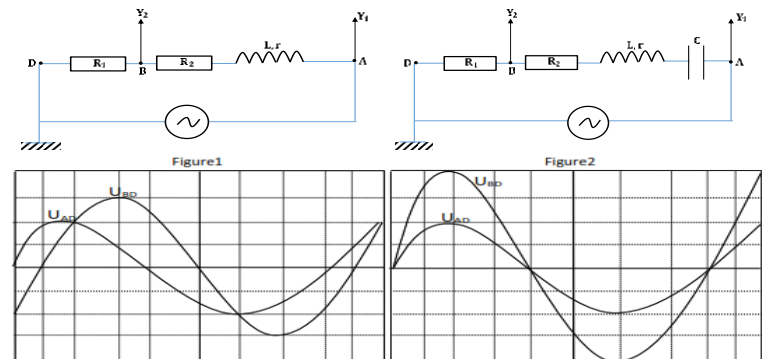
**Evaluation 2 :**

Sous l'autorité du professeur de Physique-Chimie, un groupe d'élèves 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  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 32 \Omega$  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 :  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ s/div}$  ;
- ✓ voie  $Y_1$  :  $5 \text{ V/div}$  ; Voie  $Y_2$  :  $0,5 \text{ V/div}$ .



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  $\omega$ .
  - 1.2) Les valeurs maximales de la tension  $u_{AD}$  et l'intensité  $i_{AD}$ .

- 1.3) La phase  $\varphi$  de  $u_{AD}$  par rapport à  $i_{AD}$  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  $\tan \varphi$  et de  $\cos \varphi$ .
- 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  $\varphi'$  de U par rapport à i.
- 2.2) Détermine la capacité C en supposant  $L = 0,15$  H.

### Résolution détaillée

- 1) Détermination de :
- 1.1) La période T : T fait 8 divisions  $\Rightarrow T = 8 \times 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,02s = 20$  ms.  
La pulsation  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi$  rad/s.
- 1.2)  $U_{ADm}$  fait 2 div  $\Rightarrow U_{ADm} = 2 \times 5 = 10V$ ;  $i_{ADm} = \frac{U_{BDm}}{R_1} = \frac{3 \times 0,5}{10} = 0,15$  A.
- 1.3) La phase  $\varphi$  : on a :  $|\varphi| = \frac{2\pi\tau}{T} = 2\pi \frac{1}{8} = \frac{\pi}{4}$  comme  $\varphi > 0 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{4}$ ;  
l'impédance totale  $Z_t$  : on a :  $Z_t = \frac{U_{ADm}}{i_{ADm}} \text{ A.N} : Z_t = 66,67 \Omega$ .
- 1.4) Expression de  $i_{AD}(t)$  et  $u_{AD}(t)$  :  
 $i_{AD}(t) = 0,15 \cos\left(100\pi t - \frac{\pi}{4}\right)$  ;  $u_{AD}(t) = 10 \cos(100\pi t)$
- 1.5) Expressions littérales de  $\tan \varphi$  et  $\cos \varphi$  :  
$$\tan \varphi = \frac{L\omega}{(R_1+R_2+r)} ; \cos \varphi = \frac{(R_1+R_2+r)}{Z_t}$$
- 1.6) Calcul de la valeur de L et de r :  
 $\cos \varphi = \frac{(R_1+R_2+r)}{Z_t} \Rightarrow r = Z_t \cos \varphi - (R_1 + R_2) \text{ A.N} : r = 5,1\Omega$ ;  
 $\tan \varphi = \frac{L\omega}{(R_1+R_2+r)} \Rightarrow L = \frac{(R_1+R_2+r) \tan \varphi}{\omega} \text{ A.N} : L = 0,15$  H
- 2)
- 2.1) La valeur de la phase  $\varphi'$  :  $\varphi' = 0 \Rightarrow u(t)$  et  $i(t)$  sont en phase.
- 2.2) En phase  $L\omega = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow C = \frac{1}{L\omega^2} = \frac{T^2}{L(2\pi)^2} \text{ A.N} : C = 67,5 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 67,5 \mu\text{F}$ .

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : ELECTRICITE</b>	
<b>Compétence 3 : Traiter une situation se rapportant à l'électricité</b>	
<b>Titre de la leçon : RÉSONANCE D'INTENSITÉ D'UN CIRCUIT RLC SÉRIE</b>	
<b>Durée : 4H (2 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Tracer et Exploiter	La courbe de résonance d'intensité $I=f(N)$ .
Expliquer	- Le phénomène de résonance d'intensité. - Le phénomène de surtension à la résonance d'intensité.
Définir et Déterminer	- La fréquence de résonance. - La bande passante. - Le facteur de qualité.
Connaître	Les expressions : - De la fréquence de résonance d'intensité ; - De la bande passante ; - Du facteur de qualité ; - la valeur de la phase $\varphi_{u/i}$ à la résonance d'intensité.
Donner	Quelques applications de la résonance : - En mécanique ; - En électronique ; - En acoustique.

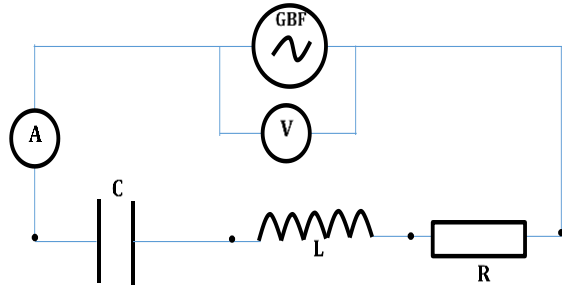
### **Situation d'apprentissage**

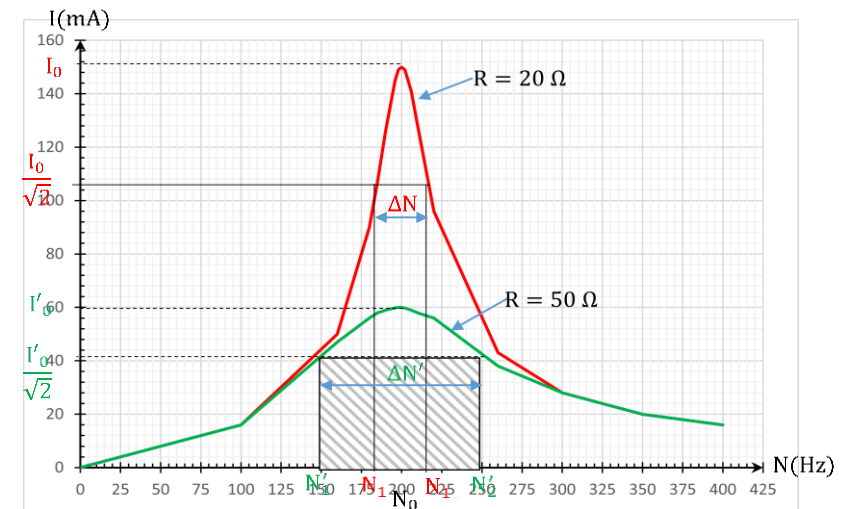
Lors d'une visite d'étude à la Radio d'ABOISSO, les élèves de la Terminale du Lycée apprennent d'un technicien que cette radio peut être captée à la fréquence ... kHz sur la bande FM. Il existe d'autres fréquences proches de celle de la Radio. Chaque poste récepteur, pour éviter le chevauchement de stations, doit avoir un circuit sélectif qu'on peut vérifier avec la courbe de résonance d'intensité.

De retour en classe, ils veulent vérifier cette information. Ils décident alors de tracer la courbe de résonance d'intensité, d'expliquer le phénomène de résonance d'intensité et de déterminer la fréquence de résonance.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - GBF ; Multimètres ; Bobine sans noyau ; - Boîte de capacités (0 – 15 $\mu$ F) ; Oscilloscope - Boîte de résistors à décades ; Résistors - Interrupteur ; Platine leybold ; Fils de connexion	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>
<b>1- <u>Etude expérimentale de la résonance d'intensité</u></b> 1.1- <u>Schéma du montage expérimental</u> 1.2- <u>Résultats</u> 1.3- <u>Courbes de résonance</u> 1.4- <u>Étude de la courbe de résonance</u>
<b>2- <u>Étude théorique de la résonance</u></b>
<b>3- <u>Bande passante à 3 dB (décibels) d'un circuit RLC série</u></b> 3.1- <u>Définition</u> 3.2- <u>Largeur de la bande passante</u> 3.3- <u>Facteur de qualité</u>
<b>4- <u>Phénomène de surtension</u></b>
<b>5- <u>Quelques applications de la résonance</u></b>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE																																																																												
				<p style="text-align: center;"><b>RÉSONANCE D'INTENSITÉ D'UN CIRCUIT RLC SÉRIE</b></p> <p><b>1. <u>Etude expérimentale de la résonance d'intensité</u></b></p> <p>1.1. <u>Schéma du montage expérimental</u></p>  <p>On fixe une valeur <math>R</math> du résistor, On fait varier la fréquence <math>N</math> (d'où la pulsation <math>\omega</math>) de la tension du générateur et on relève la valeur de l'intensité efficace <math>I</math> en maintenant constant la tension efficace <math>U</math> aux bornes du générateur . Les mesures sont consignées dans le tableau suivant.</p> <p>1.2. <u>Résultats</u></p> <p style="text-align: center;"><math>L = 0,1\text{H}; C = 6,1\mu\text{F}; U = 3\text{V}</math></p> <p>Pour <math>R = 20 \Omega</math>.</p> <table border="1" data-bbox="1211 975 2175 1066"> <tbody> <tr> <td><b>N(Hz)</b></td> <td>0</td> <td>100</td> <td>160</td> <td>180</td> <td>185</td> <td>190</td> <td>196</td> <td>198</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td><b>I(mA)</b></td> <td>0</td> <td>16</td> <td>50</td> <td>90</td> <td>107</td> <td>126</td> <td>145</td> <td>149</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1211 1110 2085 1201"> <tbody> <tr> <td><b>N(Hz)</b></td> <td>202</td> <td>206</td> <td>210</td> <td>220</td> <td>260</td> <td>300</td> <td>350</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td><b>I(mA)</b></td> <td>149</td> <td>141</td> <td>128</td> <td>96</td> <td>43</td> <td>28</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pour <math>R = 50 \Omega</math></p> <table border="1" data-bbox="1211 1246 2175 1337"> <tbody> <tr> <td><b>N(Hz)</b></td> <td>0</td> <td>100</td> <td>160</td> <td>180</td> <td>185</td> <td>190</td> <td>196</td> <td>198</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td><b>I(mA)</b></td> <td>0</td> <td>16</td> <td>47</td> <td>56</td> <td>58</td> <td>59</td> <td>59,8</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1211 1382 2085 1473"> <tbody> <tr> <td><b>N(Hz)</b></td> <td>202</td> <td>206</td> <td>210</td> <td>220</td> <td>260</td> <td>300</td> <td>350</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td><b>I(mA)</b></td> <td>59,7</td> <td>59</td> <td>58</td> <td>56</td> <td>38</td> <td>28</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>	<b>N(Hz)</b>	0	100	160	180	185	190	196	198	200	<b>I(mA)</b>	0	16	50	90	107	126	145	149	150	<b>N(Hz)</b>	202	206	210	220	260	300	350	400	<b>I(mA)</b>	149	141	128	96	43	28	20	16	<b>N(Hz)</b>	0	100	160	180	185	190	196	198	200	<b>I(mA)</b>	0	16	47	56	58	59	59,8	60	60	<b>N(Hz)</b>	202	206	210	220	260	300	350	400	<b>I(mA)</b>	59,7	59	58	56	38	28	20	16
<b>N(Hz)</b>	0	100	160	180	185	190	196	198	200																																																																							
<b>I(mA)</b>	0	16	50	90	107	126	145	149	150																																																																							
<b>N(Hz)</b>	202	206	210	220	260	300	350	400																																																																								
<b>I(mA)</b>	149	141	128	96	43	28	20	16																																																																								
<b>N(Hz)</b>	0	100	160	180	185	190	196	198	200																																																																							
<b>I(mA)</b>	0	16	47	56	58	59	59,8	60	60																																																																							
<b>N(Hz)</b>	202	206	210	220	260	300	350	400																																																																								
<b>I(mA)</b>	59,7	59	58	56	38	28	20	16																																																																								

1.3. Courbes de résonance1.4. Étude de la courbe de résonance

Les courbes présentent chacune un maximum pour la même valeur de fréquence. La fréquence en ces points est appelé **fréquence de résonance** et est notée  $N_0$ .

Le phénomène de résonance se produit lorsque la fréquence  $N$  de la tension appliquée est égale à la fréquence propre du circuit  $N = N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

**Remarque :**

Les courbes de résonance dépendent fondamentalement de la valeur de la résistance du circuit. La fréquence est toujours égale  $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

2. Étude théorique de la résonance

A la résonance, l'intensité efficace est maximale et la pulsation est égale à la pulsation propre du circuit. On a :  $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$

À la résonance  $I = I_{\max} \Rightarrow L\omega_0 - \frac{1}{C\omega_0} = 0$  soit  $LC\omega_0^2 = 1$ .

➤ **Pulsation propre :  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  ;**

- **Période propre** :  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$  ;
- **Fréquence propre** :  $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  ;
- **L'impédance du circuit** :  $Z = R$  ;
- **La phase à la résonance** :  $\varphi = 0 \Rightarrow i(t)$  et  $u(t)$  sont en phase.

### 3. **Bande passante à 3 dB (décibels) d'un circuit RLC série**

#### 3.1. Définition

La bande passante à 3 dB d'un circuit RLC série désigne l'ensemble des fréquences pour lesquelles  $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$  (avec  $I_0$  l'intensité à la résonance)

#### 3.2. Largeur de la bande passante

La largeur de la bande passante est :  $\Delta N = \frac{R}{2\pi L}$

#### **Remarque :**

*Si la résistance est faible, la résonance est dite une résonance aigüe et la largeur de la bande passante est petite : on a un circuit sélectif.*

*Si la résistance est grande, la résonance est dite floue et la largeur de la bande passante est grande : le circuit est peu sélectif.*

#### 3.3. Facteur de qualité

Le facteur de qualité est :  $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{N_0}{\Delta N}$

Cette quantité traduit donc la performance du circuit.

- ✓ Si  $Q$  est grand, le circuit est très sélectif ;
- ✓ Si  $Q$  est petit, le circuit est peu sélectif.

**N.B :** A la résonance :

- $\Delta\omega = \frac{R}{L} \Rightarrow Q = \frac{L\omega_0}{R}$  ;
- De plus :  $L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \Rightarrow Q = \frac{1}{RC\omega_0}$

### 4. **Phénomène de surtension**

À la résonance  $L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$  et  $Z = R$ .

$$U_L = Z_L I = L\omega_0 I \text{ et } U_C = Z_C I = \frac{I}{C\omega_0} ; U = ZI = RI \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$U_L = L\omega_0 \frac{U}{R} = QU \text{ et } U_C = \frac{U}{CR\omega_0} = QU$$

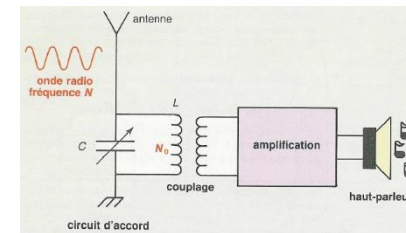
Par conséquent  $U_L = U_C = QU$ .

Quand  $Q$  est grand (circuit sélectif),  $U_L$  et  $U_C$  sont plus grandes que  $U$  (tension d'alimentation) : on dit qu'il apparaît des surtensions à la résonance. Cette surtension peut détruire le condensateur par claquage.

### 5. Quelques applications de la résonance

#### ➤ En électronique :

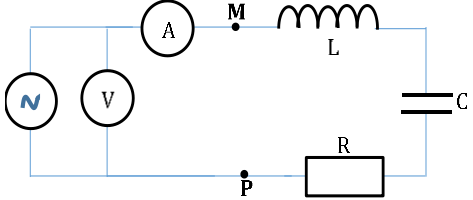
C'est grâce au phénomène de résonance que l'on capte de manière sélective une station radiophonique ou une chaîne de télévision. Pour écouter une station, on doit accorder la fréquence propre  $N_0$  du circuit RLC du poste radio avec la fréquence  $N$  de l'émetteur désiré, en faisant varier la capacité d'un condensateur variable.



Chaîne électronique d'un poste de radio. Il faut réaliser  $N = N_0$  en modifiant  $C$

#### ➤ En mécanique :

- ✓ Les automobilistes sont souvent irrités par les bruits parasites qui apparaissent à une certaine vitesse du véhicule. Certaines pièces mal amorties du moteur, ou de la carrosserie, entrent en résonance et émettent des vibrations sonores.
- ✓ En 1850, une troupe traversant en ordre serré un pont à Angers, a provoqué la rupture du pont par résonance et la mort de 226 soldats.

				<p>➤ <b>En acoustique :</b></p> <p>La résonance acoustique est importante pour les constructeurs d'instruments de musique, car la plupart de ces instruments emploient des résonateurs, tels que les cordes et le corps d'un violon, la longueur du tube d'une flûte, et la forme d'une membrane de tambour.</p>																																
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Une bobine, d'inductance <math>L</math> et de résistance négligeable, est montée en série avec un condensateur de capacité <math>C</math> et un conducteur ohmique de résistance <math>R</math>, entre deux point <math>M</math> et <math>P</math> d'un circuit électrique comme l'indique la figure ci-dessous.</p>  <p>L'ensemble est alimenté par un générateur de tension sinusoïdale de valeur efficace <math>U</math>, maintenue constante et contrôlée par un voltmètre. On fixe <math>U = 4,5 \text{ V}</math> ; <math>R = 264,6 \Omega</math>. En faisant varier la pulsation <math>\omega</math> de cette tension ; on mesure l'intensité efficace <math>I</math> du courant à l'aide d'un ampèremètre, pour chaque valeur de <math>\omega</math>. Le tableau des valeurs est ci-dessous :</p> <table border="1" data-bbox="1265 1045 2116 1181"> <tr> <td><math>\omega \cdot 10^3</math> (rad/s)</td> <td>2,2</td> <td>2,39</td> <td>2,64</td> <td>2,76</td> <td>2,89</td> <td>3</td> <td>3,14</td> </tr> <tr> <td><math>I</math>(mA)</td> <td>0</td> <td>4,4</td> <td>6,3</td> <td>7,7</td> <td>9,7</td> <td>12,4</td> <td>15,4</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1265 1220 2116 1356"> <tr> <td><math>\omega \cdot 10^3</math> (rad/s)</td> <td>3,27</td> <td>3,39</td> <td>3,52</td> <td>3,64</td> <td>3,77</td> <td>4</td> <td>4,15</td> </tr> <tr> <td><math>I</math>(mA)</td> <td>17</td> <td>15,7</td> <td>12,9</td> <td>10,6</td> <td>8,8</td> <td>6,5</td> <td>5,8</td> </tr> </table> <p>1. Donne l'expression de l'impédance du dipôle <math>MP</math>.</p> <p>2. Trace la courbe <math>I = f(\omega)</math></p>	$\omega \cdot 10^3$ (rad/s)	2,2	2,39	2,64	2,76	2,89	3	3,14	$I$ (mA)	0	4,4	6,3	7,7	9,7	12,4	15,4	$\omega \cdot 10^3$ (rad/s)	3,27	3,39	3,52	3,64	3,77	4	4,15	$I$ (mA)	17	15,7	12,9	10,6	8,8	6,5	5,8
$\omega \cdot 10^3$ (rad/s)	2,2	2,39	2,64	2,76	2,89	3	3,14																													
$I$ (mA)	0	4,4	6,3	7,7	9,7	12,4	15,4																													
$\omega \cdot 10^3$ (rad/s)	3,27	3,39	3,52	3,64	3,77	4	4,15																													
$I$ (mA)	17	15,7	12,9	10,6	8,8	6,5	5,8																													

Échelle : abscisses : 1cm pour  $0,5 \cdot 10^3$  rad/s ; ordonnées : 1cm pour 1mA

3. Donne :

3.1. La valeur  $\omega_0$  de la pulsation à la résonance.

3.2. L'intensité efficace  $I_0$  à la résonance.

4. On désigne par  $\omega_1$  et  $\omega_2$  ( $\omega_1 < \omega_2$ ) les pulsations délimitant la bande passante

4.1. Calcule les intensités  $I_1 = f(\omega_1)$  et  $I_2 = f(\omega_2)$  ; en déduis graphiquement  $\omega_1$  et  $\omega_2$ .

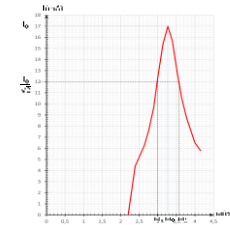
4.2. Calcule la largeur de la bande passante et le facteur de qualité du dipôle (R, L, C).

5. Déduis des résultats précédents, les valeurs de l'inductance L et de la capacité C.

### **Résolution détaillée**

1. Impédance du dipôle MP :  $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$ .

2. La trace de la courbe  $I = f(\omega)$  :



3.

3.1. La pulsation propre :  $\omega_0 = 3,27 \cdot 10^3$  rad/s  $\Rightarrow N_0 = 520$  Hz.

3.2. L'intensité à la résonance  $I_0 = 17$  mA = 0,017 A.

4.

4.1. On a :  $\frac{I_0}{\sqrt{2}} = 12$  mA  $I_1 = I_2 = 12$  mA ;  $\omega_1 = 3 \cdot 10^3$  rad/s ;  $\omega_2 = 3,6 \cdot 10^3$  rad/s

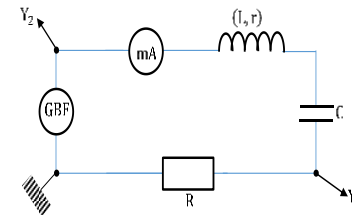
4.2. La largeur de la bande passante on a :  $\Delta\omega = 2\pi\Delta N \Rightarrow \Delta N = \frac{\Delta\omega}{2\pi}$  A.N :

$$\Delta N = \frac{0,6 \cdot 10^3}{2\pi} = 95,49 \text{ Hz ; le facteur de qualité } Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{3,27}{0,6} = 5,45$$

5. Détermination des valeurs de l'inductance  $L$  et de la capacité  $C$  : on a : ;  $\Delta\omega = \frac{R}{L} \Rightarrow L = \frac{R}{\Delta\omega} = 0,44 \text{ H}$  ;  $Q = \frac{1}{RC\omega_0} \Rightarrow C = \frac{1}{RQ\omega_0} = 2,12 \cdot 10^{-7} \text{ F}$

### **Evaluation à faire à la maison**

Une bobine de résistance  $r$  et d'inductance  $L$  est montée en série avec un condensateur de capacité  $C$  et un résistor de résistance  $R = 100 \Omega$ . Cet ensemble constitue un circuit  $RLC$  série alimenté par un générateur de basses fréquences délivrant une tension sinusoïdale de fréquence  $N$  réglable et de valeur efficace  $U = 1\text{V}$  (voir figure ci-dessous).



On fait varier la fréquence de la tension entre  $300 \text{ Hz}$  et  $1000 \text{ Hz}$ . On relève alors le tableau de résultats suivant où  $I$  est la valeur efficace de l'intensité du courant.

N(Hz)	300	500	600	650	677	700	735
I(mA)	0,74	1,90	3,47	5,20	6,61	8,05	9,35

N(Hz)	780	796	850	900	1000
I(mA)	7,48	6,61	4,50	3,44	2,40

1. Trace sur papier millimétré la courbe  $I = f(N)$ .

Echelle : abscisse :  $1\text{cm}$  pour  $100 \text{ Hz}$  et ordonnée :  $1\text{cm}$  pour  $1 \text{ mA}$   
(On commencera à graduer l'axe des abscisses à partir de  $300 \text{ Hz}$ )

2. Détermine graphiquement la fréquence  $N_0$  et l'intensité  $I_0$  à la résonance d'intensité .

3. Détermine l'impédance  $Z$  du circuit pour  $N = N_0$ .

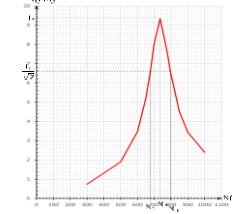
4. En déduis la valeur de la résistance  $r$  de la bobine.

5.

- 5.1. Détermine graphiquement la largeur de la bande passante.
- 5.2. En déduis le facteur de qualité du circuit.
- 5.3. A partir des résultats des questions précédentes déduis les valeurs de L et C.

### Résolution détaillée

1. Trace de la courbe  $I = f(N)$  :



2. Détermination graphique de la fréquence  $N_0$  et l'intensité  $I_0$  à la résonance :  $N_0 = 735$  Hz et  $I_0 = 9,35$  mA.
3. L'impédance  $Z$  du circuit pour  $N = N_0$  :  $Z = \frac{U}{I} \cdot N$  :  $Z = \frac{1}{9,35 \cdot 10^{-3}} = 106,95 \Omega$ .
4. Déduction de la valeur de  $r$  : on  $Z = R + r \Rightarrow r = Z - R$  :  $r = 6,95 \Omega$ .
5.
  - 5.1. La largeur de la bande passante : on a  $\frac{I_0}{\sqrt{2}} = 6,61$  ;  $N_1 = 677$  Hz et  $N_2 = 796$  Hz  $\Rightarrow \Delta N = 796 - 677 = 119$  Hz.
  - 5.2. Le facteur de qualité  $Q = \frac{N_0}{\Delta N} = \frac{735}{119} = 6,18$ .
  - 5.3. Déduction des valeurs de L et C :  $\Delta N = \frac{R+r}{2\pi L} \Rightarrow L = \frac{R+r}{2\pi\Delta N} = 143 \cdot 10^{-3} \text{H} = 143 \text{ mH}$  ;  $Q = \frac{1}{(R+r)C\omega_0} \Rightarrow C = \frac{1}{(R+r)Q\omega_0} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{F}$

**Niveau/Classe : Tle C/D/E****Thème : ELECTRICITE****Compétence 3 : Traiter une situation se rapportant à l'électricité****Titre de la leçon : PUISSANCE EN COURANT ALTERNATIF****Durée : 2H (1 séance)**

<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Les expressions de : - La puissance instantanée ; - La puissance moyenne consommée par des dipôles idéaux (R, L, C) ; - La puissance moyenne consommée dans un dipôle R L C série.
Connaître	L'expression de l'énergie électrique échangée dans un dipôle RLC.
Définir	Le facteur de puissance.
Déterminer	- Le facteur de puissance. - La puissance moyenne.
Montrer	L'intérêt du facteur de puissance.
Expliquer	L'intérêt du transport du courant électrique sous haute tension.

**Situation d'apprentissage**

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

**MATERIELS DE TRAVAIL**

- Générateur de 6-12 V
- Résistor de résistance  $R = 470 \Omega$  ; Lampe de 3,8 V ;
- Transformateur élévateur 12V/220 V
- Transformateur abaisseur 220V/12V

**SUPPORTS DIDACTIQUES :**

Support sur planche  
Manuel élève

**BIBLIOGRAPHIE :**

Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Puissance instantanée****2- Puissance moyenne consommée dans un dipôle RLC**2.1- Puissance moyenne2.2- Puissance moyenne absorbée par des dipôles idéaux➤ **Le Conducteur ohmique**➤ **Le Condensateur parfait**➤ **Bobine non résistive****3- Energie consommée dans le circuit RLC série****4- Transport du courant électrique**4.1- Expérience et observation4.2- Interprétation4.3- Conclusion**Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>PUISSANCE EN COURANT ALTERNATIF</b></p> <p><b>1. Puissance instantanée</b>            La puissance instantanée reçue par un dipôle RLC est : <math>P(t) = u(t) \times i(t)</math>.            En posant : <math>i(t) = I_m \cos(\omega t)</math> et <math>u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_{u/i})</math>, on obtient :  <math>P(t) = U_m I_m \cos(\omega t) \times \cos(\omega t + \varphi_{u/i})</math>.            Or <math>\cos(\omega t) \times \cos(\omega t + \varphi_{u/i}) = \frac{1}{2} [\cos(\omega t + \omega t + \varphi_{u/i}) + \cos(\omega t - \omega t + \varphi_{u/i})] = \frac{1}{2} [\cos(2\omega t + \varphi_{u/i}) + \cos(\varphi_{u/i})]</math>  <math>\Rightarrow P(t) = U_m I_m \frac{1}{2} [\cos(2\omega t + \varphi_{u/i}) + \cos(\varphi_{u/i})]</math>            Soit <math>P(t) = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} [\cos(2\omega t + \varphi_{u/i}) + \cos(\varphi_{u/i})]</math></p> <p><b>Remarque :</b>            La pulsation de la puissance instantanée est égale à <math>\omega' = 2\omega</math> et sa période <math>T' = \frac{T}{2}</math>. Avec <math>\omega</math> et <math>T</math> étant respectivement la pulsation et la période du courant.</p> <p><b>2. Puissance moyenne consommée dans un dipôle RLC</b>            2.1. <u>Puissance moyenne</u>            La puissance moyenne consommée par un dipôle RLC est : <math>P = UI \cos(\varphi_{u/i})</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le produit <math>U \times I</math> est la <b>puissance</b> apparente, exprimée en <b>volt – ampère (V.A)</b>.</li> <li>➤ Le terme <math>\cos(\varphi_{u/i})</math> est appelé <b>facteur de puissance</b> du circuit RLC.</li> </ul> <p><b>Remarque</b>            Le facteur de puissance est une caractéristique d'un récepteur électrique.            Le facteur de puissance est un paramètre qui rend compte de l'efficacité qu'a un dipôle pour consommer de la puissance lorsqu'il est traversé par un courant. Il est compris entre 0 et 1.</p>

2.2. Puissance moyenne absorbée par des dipôles idéaux➤ Le Conducteur ohmique

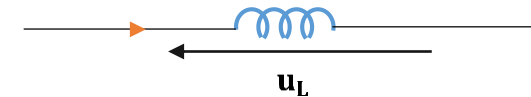
On a:  $\varphi_{u/i} = 0$  donc  $\cos(\varphi_{u/i}) = 1 \Rightarrow P = UI$  or  $U = RI$  d'où  $P = \mathbf{RI^2} = \frac{\mathbf{U^2}}{\mathbf{R}}$ .

Cette puissance moyenne ou puissance active est absorbée par effet joule. Elle est transférée à l'extérieur sous forme de chaleur.

➤ Le Condensateur parfait

$\varphi_{u/i} = -\frac{\pi}{2}$  donc  $\cos(\varphi_{u/i}) = 0$  et par conséquent  $P = 0$  watt.

Un condensateur parfait ne consomme globalement aucune énergie. En effet le condensateur emmagasine sur une demi-période et la restitue sur la demi-période suivante.

➤ Bobine non résistive

$\varphi_{u/i} = \frac{\pi}{2}$  donc  $\cos(\varphi_{u/i}) = 0 \Rightarrow P = 0$  watt.

Une bobine non résistive ne consomme globalement aucune énergie. Elle emmagasine de l'énergie sur une demi-période et la restitue sur la demi-période suivante.

N.B :

Dans un dipôle RLC série :  $\cos \varphi_{u/i} = \frac{R}{Z}$ ,  $U = ZI \Rightarrow \mathbf{P} = \mathbf{RI^2}$ .

En régime alternatif sinusoïdal, toute la puissance moyenne consommée par un dipôle RLC série est absorbée dans la partie résistive de ce dipôle par effet joule et transformée à l'intérieur sous forme de chaleur.

3. Énergie consommée dans le circuit RLC série

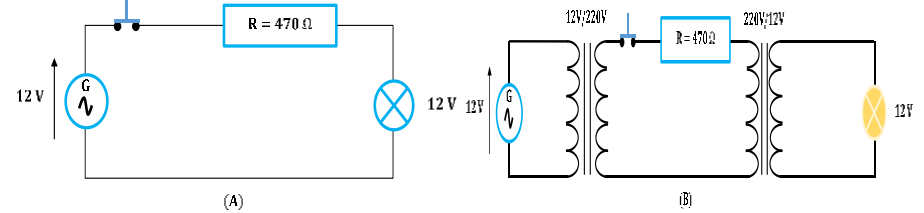
L' énergie consommée par un dipôle RLC pendant une durée  $\Delta t$  est :

$$E = P \cdot \Delta t = UI \cdot \Delta t \cdot \cos(\varphi_{u/i}).$$

Cette énergie est transformée en chaleur (énergie thermique).

**4. Transport du courant électrique**

4.1. Expérience et observation



En (A), la lampe ne brille pas.

En (B), la même lampe brille

4.2. Interprétation

Le conducteur ohmique  $R = 470\Omega$  représente les résistances des lignes électriques. Pour la même puissance fournie pour le générateur, les pertes par effet joule sont plus faibles sous 220 V que sous 12 V.

$$P_{perdue} = RI^2 \text{ comme } P_m = UI \cos \varphi_{u/i} \text{ soit } I = \frac{P_m}{U \cos \varphi_{u/i}} \text{ d'où } P_{perdue} = R \left( \frac{P_m}{U \cos \varphi_{u/i}} \right)^2.$$

4.3. Conclusion

Le transport du courant électrique s'effectue sous haute tension afin de minimiser les pertes.

**N.B** : le facteur de puissance  $\cos \varphi_{u/i}$  doit être proche de 1 pour aussi réduire ou minimiser les pertes par effet de joule dans les lignes.

				<p>Cette énergie est transformée en chaleur (énergie thermique).</p> <p><b>4. Transport du courant électrique</b></p> <p>4.1. <u>Expérience et observation</u></p> <p>En (A), la lampe ne brille pas. En (B), la même lampe brille</p> <p>4.2. <u>Interprétation</u></p> <p>Le conducteur ohmique <math>R = 470\Omega</math> représente les résistances des lignes électriques. Pour la même puissance fournie pour le générateur, les pertes par effet joule sont plus faibles sous 220 V que sous 12 V.</p> $P_{perdue} = RI^2 \text{ comme } P_m = UI \cos \varphi_{u/i} \text{ soit } I = \frac{P_m}{U \cos \varphi_{u/i}} \text{ d'où } P_{perdue} = R \left( \frac{P_m}{U \cos \varphi_{u/i}} \right)^2.$ <p>4.3. <u>Conclusion</u></p> <p>Le transport du courant électrique s'effectue sous haute tension afin de minimiser les pertes.</p> <p><b>N.B</b> : le facteur de puissance <math>\cos \varphi_{u/i}</math> doit être proche de 1 pour aussi réduire ou minimiser les pertes par effet de joule dans les lignes.</p>
<p>Evaluation</p>	<p>Travail individuel</p>	<p>Enoncé de la situation d'évaluation</p>		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>1. Calcule le facteur de puissance d'une bobine d'inductance 10 mH et de résistance <math>r = 10 \Omega</math> soumis à une tension sinusoïdale de fréquence <math>N = 100 \text{ Hz}</math>.</p>

2. Une compagnie d'électricité doit fournir une puissance  $P_{AB} = 10 \text{ kW}$  à une installation électrique fonctionnant sous une tension efficace  $U = 220 \text{ V}$ .

2.1. Calcule l'intensité du courant dans les cas suivants :

- 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.

### Résolution détaillée

1. Le facteur de puissance de la bobine est :

On a :  $\cos \varphi = \frac{r}{Z}$ , comme  $Z = \sqrt{r^2 + (2\pi NL)^2} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + (2\pi NL)^2}} \text{ A.N.}$

$$\cos \varphi = \frac{10}{11,81} = 0,8.$$

2.

2.1. Calcul de l'intensité :

On a :  $P_{AB} = UI \cos(\varphi) \Rightarrow I = \frac{P_{AB}}{U \cos \varphi_{u/i}}$ .

- Premier cas :  $\cos(\varphi) = 0,9$  on a :  $I_1 = \frac{10 \cdot 10^3}{220 \times 0,9} = 50,5 \text{ A}$ .

- Pour  $\cos(\varphi) = 0,6$ , on a :  $I_2 = \frac{10 \cdot 10^3}{220 \times 0,6} = 75,76 \text{ A}$ .

2.2. Soit  $P_1 = RI_1^2$  : la puissance dissipée dans le premier cas et  $P_2 = RI_2^2$  : la puissance dissipée dans le deuxième cas.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{RI_2^2}{RI_1^2} = \frac{I_2^2}{I_1^2} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{(75,76)^2}{(50,5)^2} = 2,25. \text{ Les pertes doublent lorsque le}$$

facteur de puissance passe de 0,9 à 0,6.

### Evaluation à faire à la maison

Un dipôle AB est constitué d'un conducteur ohmique de résistance  $R = 400 \Omega$ , d'une bobine d'inductance  $L = 0,2 \text{ H}$  et de résistance  $r = 10 \Omega$ , associés en série. On applique, entre A et B, une tension  $u_{AB}(t) = 80 \cos(100\pi t + \varphi_{u/i})$  avec  $u_{AB}$  en volt et  $t$  en seconde.

- 1) Calcule la phase de la tension  $u_{AB}$  par rapport à l'intensité.
- 2) Détermine l'expression numérique de :

				<p>2.1) l'intensité <math>i_{AB}(t)</math> du courant qui circule dans le dipôle AB.</p> <p>2.2) La tension instantanée aux bornes du conducteur ohmique.</p> <p>2.3) La tension instantanée aux bornes de la bobine.</p> <p>3) Calcule la puissance moyenne consommée par le dipôle AB.</p> <p style="text-align: center;"><b>Résolution détaillée</b></p> <p>1) Calcul de la phase : on a : <math>\varphi &gt; 0</math> et <math>\tan \varphi = \frac{L\omega}{R+r} = \frac{0,2 \times 100\pi}{410} = 0,15 \Rightarrow \varphi = 0,15 \text{ rad.}</math></p> <p>2) Détermination de l'expression numérique de :</p> <p>2.1) L'intensité : on a <math>I_m = \frac{U_m}{Z}</math> comme <math>Z = \sqrt{(R+r)^2 + (L\omega)^2} \Rightarrow i_{AB}(t) = 0,19 \cos(100\pi t)</math>.</p> <p>2.2) La tension aux bornes du conducteur ohmique : <math>u_R(t) = Ri_{AB}(t) = 76 \cos(100\pi t)</math>.</p> <p>2.3) La tension aux bornes de la bobine : <math>Z_L = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2} = 63,62 \Omega \Rightarrow U_{Lm} = Z_L \times I_m = 12,01</math> ; la bobine pas idéale on a : <math>\tan \varphi' = \frac{L\omega}{r} \Rightarrow \varphi' = 1,41</math> <math>u_L(t) = 12,01 \cos(100\pi t + 1,41)</math></p> <p>3) Calcul de la puissance moyenne consommée par le dipôle AB : on a : <math>P = UI \cos(\varphi)</math> A.N : <math>P = \frac{80}{\sqrt{2}} \times \frac{0,19}{\sqrt{2}} \times \cos(0,15) = 7,5 \text{ W}</math></p>
--	--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Situation d'évaluation**

1. Calcule le facteur de puissance d'une bobine d'inductance 10 mH et de résistance  $r = 10 \Omega$  soumis à une tension sinusoïdale de fréquence  $N = 100$  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 suivants :
    - 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.

**Evaluation à faire à la maison**

Un dipôle AB est constitué d'un conducteur ohmique de résistance  $R = 400\Omega$ , d'une bobine d'inductance  $L = 0,2$  H et de résistance  $r = 10\Omega$ , associés en série. On applique, entre A et B, une tension  $u_{AB}(t) = 80 \cos(100\pi t + \varphi_{u/i})$  avec  $u_{AB}$  en volt et  $t$  en seconde.

- 1) Calcule la phase de la tension  $u_{AB}$  par rapport à l'intensité.
- 2) Détermine l'expression numérique de :
  - 2.1) l'intensité  $i_{AB}(t)$  du courant qui circule dans le dipôle AB.
  - 2.2) La tension instantanée aux bornes du conducteur ohmique.
  - 2.3) La tension instantanée aux bornes de la bobine.
- 3) Calcule la puissance moyenne consommée par le dipôle AB.

**Situation d'évaluation**

1. Calcule le facteur de puissance d'une bobine d'inductance 10 mH et de résistance  $r = 10 \Omega$  soumis à une tension sinusoïdale de fréquence  $N = 100$  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 suivants :
    - 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.

**Evaluation à faire à la maison**

Un dipôle AB est constitué d'un conducteur ohmique de résistance  $R = 400\Omega$ , d'une bobine d'inductance  $L = 0,2$  H et de résistance  $r = 10\Omega$ , associés en série. On applique, entre A et B, une tension  $u_{AB}(t) = 80 \cos(100\pi t + \varphi_{u/i})$  avec  $u_{AB}$  en volt et  $t$  en seconde.

- 4) Calcule la phase de la tension  $u_{AB}$  par rapport à l'intensité.
- 5) Détermine l'expression numérique de :
  - 2.4) l'intensité  $i_{AB}(t)$  du courant qui circule dans le dipôle AB.
  - 2.5) La tension instantanée aux bornes du conducteur ohmique.
  - 2.6) La tension instantanée aux bornes de la bobine.
- 6) Calcule la puissance moyenne consommée par le dipôle AB.

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : LES ALCOOLS</b>	
<b>Durée : 7H (4 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir et Nommer	Un alcool.
Connaître	- Le groupe fonctionnel alcool. - La formule générale d'un alcool.
Identifier	- Un alcool primaire. - Un alcool secondaire. - Un alcool tertiaire.
Ecrire	Les formules semi-développées de quelques alcools.
Indiquer	Quelques méthodes de préparation d'un alcool.
Ecrire	Les équations-bilans des réactions chimiques : - Déshydratation intramoléculaire ; - Déshydratation intermoléculaire ; - Réaction avec le sodium ; - Combustion des alcools.
Connaître	Les produits de l'oxydation ménagée : - D'un alcool primaire ; - D'un alcool secondaire.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction chimique entre : - Un alcool primaire et une solution oxydante ; - Un alcool secondaire et une solution oxydante.
Ecrire	Les formules semi-développées de quelques polyols (glycol et glycérol).

### Situation d'apprentissage

Les élèves de la Terminale C/D du Lycée Moderne de Treichville effectuent une sortie d'étude 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.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Boîtes de modèle moléculaire ; Labogaz ; Seringue - Ethanol ; Butan-1-ol ; Butan -2-ol ; 2-méthylpropan-2-ol ; - Hexane - Dichromate de potassium - Permanganate de potassium - Réactif de Schiff ; 2,4-DNPH ; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentré - Fil de cuivre torsadé - Verrerie	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON**

1. **Définition d'un alcool**
2. **Nomenclature des alcools**
3. **Différentes classes d'alcool**

**Activité d'application 1:**

4. **Méthodes de préparation des alcools**
  - 4.1. Fermentation des jus sucrés
  - 4.2. Hydratation d'un alcène
    - 4.2.1. ***Hydratation d'un alcène symétrique***
    - 4.2.2. ***Hydratation d'un alcène asymétrique***

**Activité d'application 2**

5. **Quelques propriétés chimiques des alcools**
  - 5.1. Déshydratations des alcools
    - 5.1.1. ***Déshydratation intramoléculaire***
    - 5.1.2. ***Déshydratation intermoléculaire***
  - 5.2. Action du sodium sur un alcool
  - 5.3. Oxydations des alcools
    - 5.3.1. ***Combustion des alcools ou oxydation dégradante***

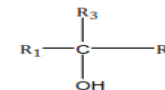
**Activité d'application 3**

- 5.3.2. ***Oxydation ménagée des alcools***
  - Expériences et observations
    - ❖ **Expérience avec un alcool primaire**
    - ❖ **Expérience avec un alcool secondaire**
    - ❖ **Expérience avec un alcool tertiaire**
  - Conclusion
  - Equations-bilans des oxydations ménagées
6. **Les polyols (polyalcools)**
  - 6.1. Définition
  - 6.2. Préparation du glycol

**Situation d'évaluation**

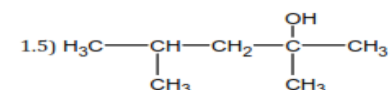
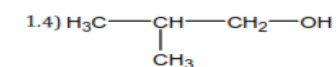
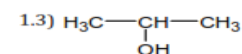
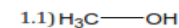
DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>LES ALCOOLS</b>
				<p><b>1- Définition d'un alcool</b></p> <p>un alcool est un composé organique dont la molécule renferme le groupe <b>hydroxyde</b> (<b>–OH</b>) fixé sur un atome de carbone tétraédrique (qui a 4 liaisons simples).</p> <p>La formule générale d'un alcool est <b>R – OH</b> avec <b>R</b>(groupe alkyle). Si l'alcool dérive d'un alcane, sa formule brute générale est <b>C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>OH</b> ou <b>C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>O</b>.</p> <p><b>N.B :</b> Le carbone qui porte le groupe hydroxyde (<b>–OH</b>) est appelé <b>carbone fonctionnel</b>.</p> <p style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{c}   \\ -C-OH \\   \end{array}</math> :groupement fonctionnel des alcools) </p> <p><b>2- Nomenclature des alcools</b></p> <p>Le nom d'un alcool s'obtient en remplaçant le « e » final de l'alcane analogue par le suffixe « <b>ol</b> » précédé de l'<b>indice de position</b> du carbone fonctionnel. Celui-ci doit avoir l'indice <b>le plus bas</b> possible lors de la numérotation de la chaîne principale.</p> <p><b>Exemples :</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{ccccccc} 1 &amp; 2 &amp; 3 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ H_3C &amp; -CH_2- &amp; CH_2- &amp; -OH &amp; &amp; &amp; \\ 3 &amp; 2 &amp; 1 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ \text{propan-1-ol} &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; \end{array}</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{ccccccc} 1 &amp; 2 &amp; 3 &amp; 4 &amp; &amp; &amp; \\ H_3C &amp; -CH_2- &amp; CH- &amp; -CH_3 &amp; &amp; &amp; \\ 4 &amp; 3 &amp; 2 &amp; 1 &amp; &amp; &amp; \\ &amp; &amp;   &amp; &amp; &amp; &amp; \\ &amp; &amp; OH &amp; &amp; &amp; &amp; \\ \text{butan-2-ol} &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; \end{array}</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{ccccccc} &amp; &amp; CH_3 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ &amp; &amp;   &amp; &amp; &amp; &amp; \\ 1 &amp; 2 &amp; 3 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ H_3C &amp; -C- &amp; -CH_3 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ 3 &amp; 2 &amp; 1 &amp; &amp; &amp; &amp; \\ &amp; &amp;   &amp; &amp; &amp; &amp; \\ &amp; &amp; OH &amp; &amp; &amp; &amp; \\ \text{2-methylpropan-2-ol} &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; &amp; \end{array}</math> </div> </div> <p><b>3- Différentes classes d'alcool</b></p> <p>Il existe trois (03) classes d'alcools :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les alcools de classe primaire (<b>I</b>) : leur carbone fonctionnel est lié à au moins deux atomes d'hydrogène.</li> <li>✓ Les alcools de classe secondaire (<b>II</b>) : le carbone fonctionnel est lié à un atome d'hydrogène.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{c} H \\   \\ R-C-OH \\   \\ H \end{array}</math> ou <math>R-CH_2-OH</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{c} H \\   \\ R_1-C-R_2 \\   \\ OH \end{array}</math> ou <math>R_1-CH-R_2</math> </div> </div>

✓ Les alcools de classe tertiaire (II) : le carbone fonctionnel n'est lié à aucun atome d'hydrogène.



**Activité d'application1:**

1) Nomme les alcools ci-dessous :



2) Ecris les formules semi-développées des alcools dont les noms sont donnés :

2.1) 2-méthylpropan-2-ol ;

2.2) Pentan-3-ol ;

2.3) 3-éthyl-4-méthylpentan-2-ol

2.4) 2,3-diméthylbutan-2-ol

3) Un alcool a pour masse molaire  $M = 74 \text{ g/mol}$ .

Détermine :

3.1) Sa formule brute ;

3.2) Les formules semi-développées de tous ses isomères, leurs noms et leurs classes.

4) Un alcool contient en masse 60% de carbone.

Déduis :

4.1) Sa formule brute ;

4.2) Les formules semi-développées des isomères et leurs classes.

5) La densité de vapeur d'un alcool, par rapport à l'air est  $d = 3,034$ .

5.1) Calcule sa masse molaire  $M$  ;

5.2) Trouve sa formule brute ;

5.3) Détermine les formules semi-développées, les noms et les classes de tous ses isomères.

**Correction détaillée**

1)

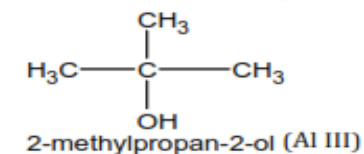
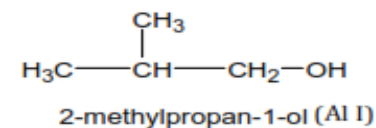
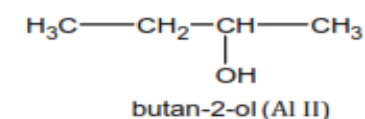
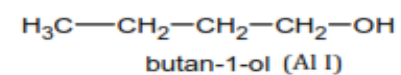
1.1) Méthanol ; 1.2) Ethanol ; 1.3) Propan-2-ol ; 1.4) 2-méthylpropan-1-ol ; 1.5) 2,4-diméthylpentan-2-ol.

2) Voir cours

3)

3.1) Formule brute :  $14n + 18 = 74 \Rightarrow n = 4 \Rightarrow C_4H_{10}O$ .

3.2)



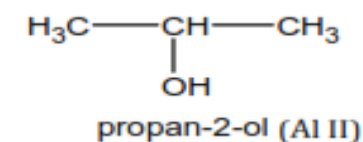
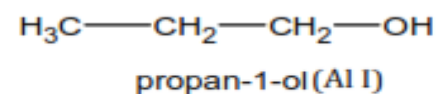
4)

4.1) Formule brute :

$$\text{On a : } \frac{M}{100} = \frac{12n}{\%C} \Rightarrow \frac{14n+18}{100} = \frac{12n}{60} \Rightarrow (14n + 18) \times 60 = 1200n \Rightarrow n = 3.$$

 $C_3H_8O$ .

4.2)



5)

5.1) Masse molaire :  $M = 29d$ . AN :  $M = 29 \times 3,034 = 87,986 \text{ g. mol}^{-1}$ 5.2) Formule brute :  $14n + 18 = 87,986 \Rightarrow n = 5 \Rightarrow C_5H_{12}O$ 

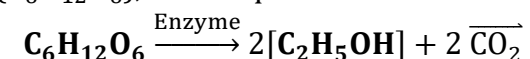
5.3) Voir cours.

**4- Méthodes de préparation des alcools**

4.1- Fermentation des jus sucrés

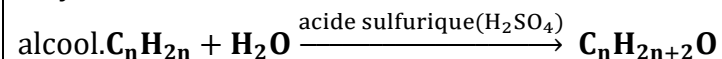
L'éthanol est obtenu par fermentation des jus contenant des sucres dits **fermentescibles** tels que le glucose, le fructose ou l'amidon. La réaction est catalysée par des enzymes.

Avec le glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), on a l'équation bilan suivante :



#### 4.2- Hydratation d'un alcène

L'hydratation des alcènes en milieu acide conduit à la formation d'un

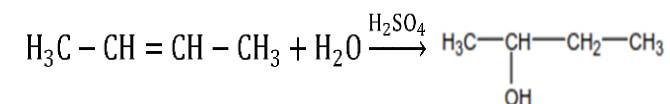


La structure et les classes des alcools formés dépendent de la symétrie de l'alcène.

##### **4.2.1- Hydratation d'un alcène symétrique**

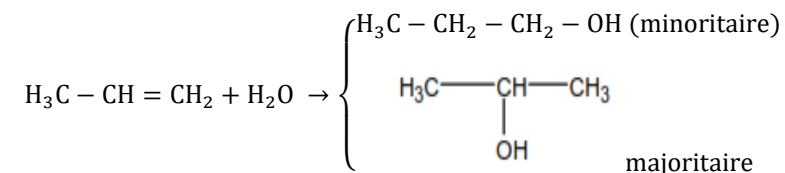
L'hydratation d'un alcène symétrique conduit à la formation d'un **seul alcool**.

Exemple :



##### **4.2.2- Hydratation d'un alcène asymétrique**

L'hydratation d'un alcène asymétrique conduit à la formation de deux alcools de classes différentes.



Lors de cette hydratation, le groupement hydroxyde se fixe **préférentiellement** sur le carbone **le plus substitué** et l'hydrogène sur le carbone le plus hydrogéné : c'est **la règle de Markovnikov**.

L'alcool de classe supérieure est produit en quantité majoritaire.

**Activité d'application 2**

On donne les alcènes ci-dessous :

Propène ; but-2-ène ; 2-méthylpropène ; pent-2-ène ; 2,3-diméthylbut-2-ène ; 3-méthylpent-2-ène ; éthène ; but-1-ène.

1) Ecris les formules semi-développées de ces alcènes.

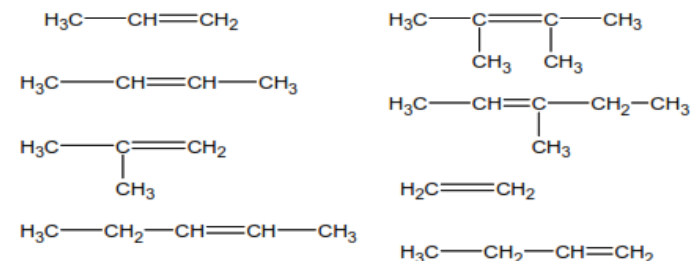
2) On réalise l'hydratation de ces alcènes en milieu acide.

2.1) Donne les formules semi-développées, les noms et les classes des alcools qu'on peut obtenir ;

2.2) Précise les produits majoritaires.

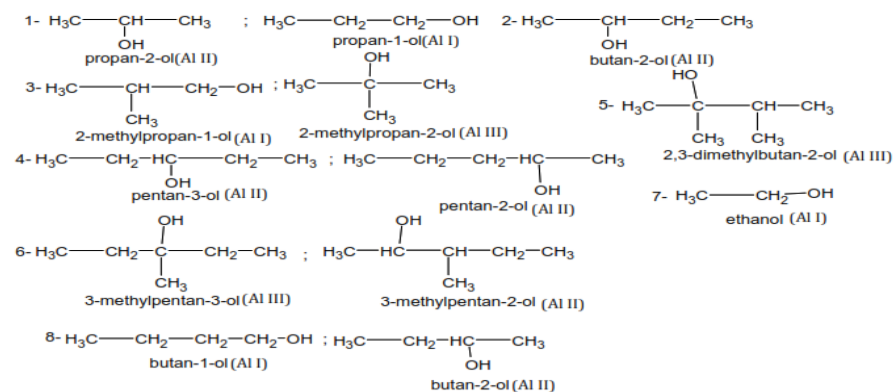
**Correction détaillée**

1) Formules semi-développées de ces alcènes :

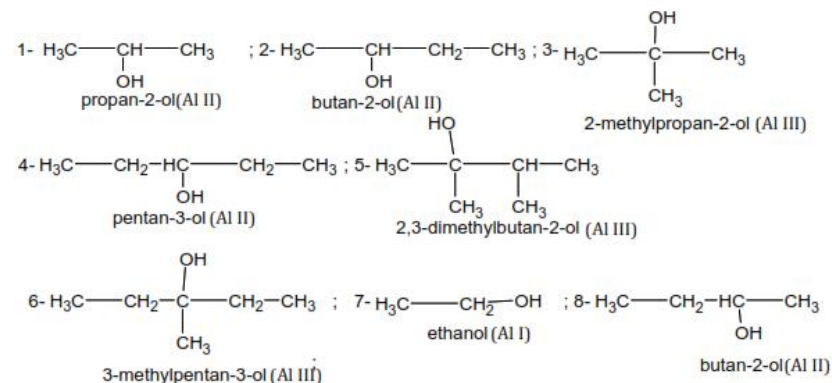


2)

2.1)



2.2) Les produits majoritaires. D'après la règle de Markonikov on aura :

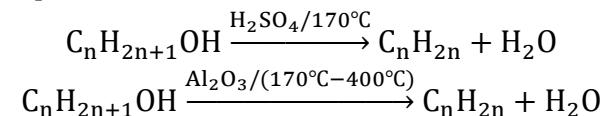


## 5- Quelques propriétés chimiques des alcools

### 5.1- Déshydratations des alcools

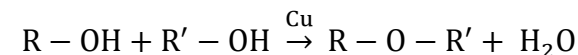
#### 5.1.1- Déshydratation intramoléculaire

En présence d'un catalyseur convenable la molécule d'alcool perd une molécule d'eau pour former un alcène.



#### 5.1.2- Déshydratation intermoléculaire

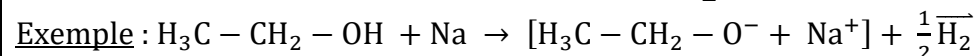
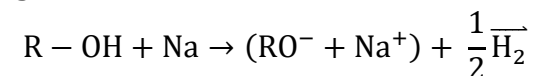
La perte d'une molécule d'eau par deux molécules d'alcool (différentes ou identiques) conduit à la formation d'un éther oxyde.



### 5.2- Action du sodium sur un alcool

L'action du sodium sur les alcools conduit à l'obtention d'un **alcoolate de sodium**.

L'équation-bilan générale de la réaction est :

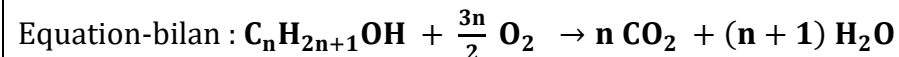


N.B : c'est une réaction **d'oxydo – réduction**.

### 5.3- Oxydations des alcools

#### 5.3.1- Combustion des alcools ou oxydation dégradante

La combustion complète d'un alcool dans le dioxygène est une réaction exothermique aboutissant à la formation du **dioxyde de carbone** et de **l'eau**.



Au cours de la combustion, la chaîne carbonée de l'alcool est détruite : on parle **d'oxydation dégradante**.

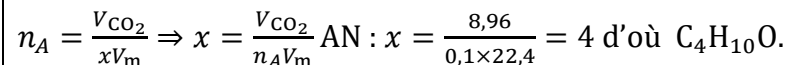
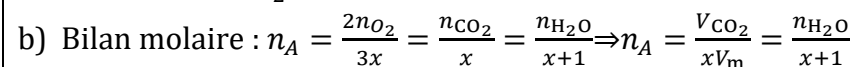
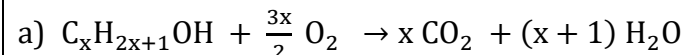
#### Activité d'application 3

La combustion complète dans le dioxygène de 0,1 mole d'un alcool saturé **A** donne 8,96 L de dioxyde de carbone et de l'eau.

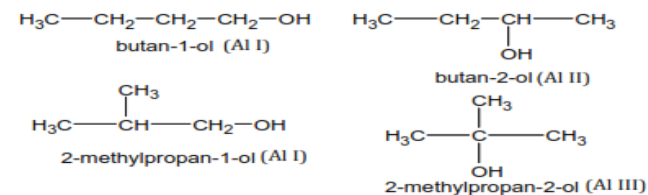
Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire d'un gaz est 22,4 L.mol<sup>-1</sup>.

- Ecris l'équation-bilan générale de la combustion complète de l'alcool.
- Détermine à partir du bilan molaire, la formule brute de l'alcool saturé **A**.
- Donne la formule semi-développée, le nom et la classe de chacun des isomères possible de **A**.

#### Correction détaillée

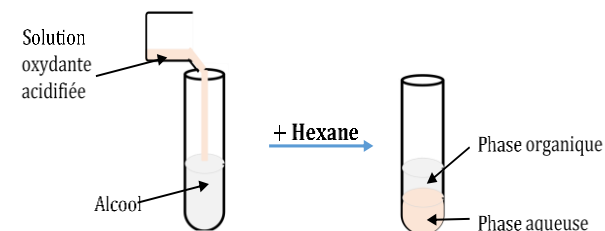


c)



### 5.3.2- Oxydation ménagée des alcools

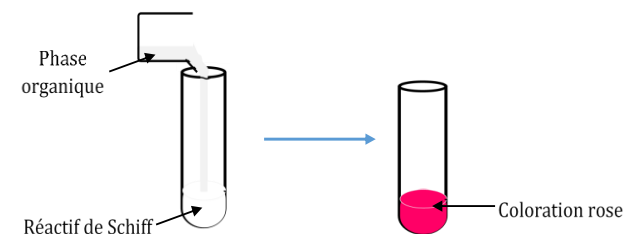
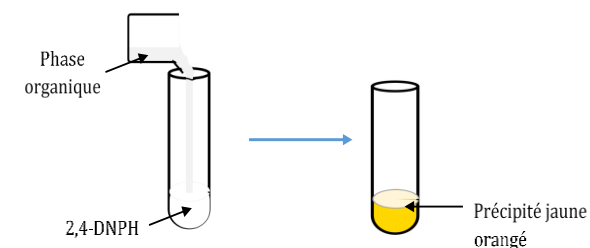
#### ➤ Expériences et observations



- Solution oxydante acidifiée : le dichromate de potassium ( $2K^+, Cr_2O_7^{2-}$ ) ou le permanganate de potassium ( $K^+, MnO_4^+$ )
- Phase organique incolore contient les produits de la réaction entre (alcool et l'oxydant)
- Phase aqueuse de couleur verte ou orange.

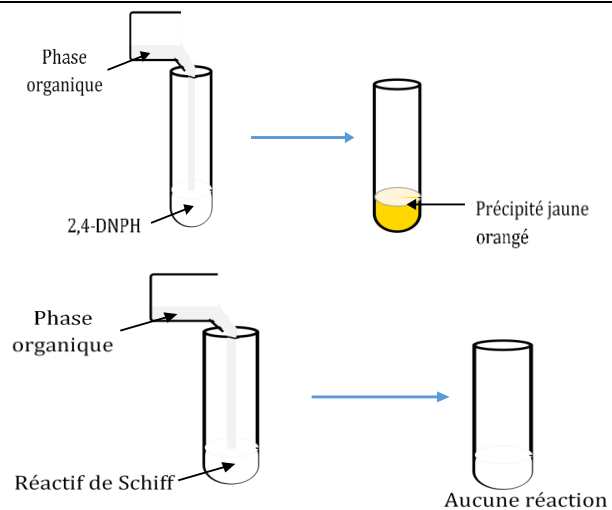
#### ❖ **Expérience avec un alcool primaire**

- Oxydant en défaut



La formation du précipité montre la présence d'un composé carbonylé.  
La coloration rose du réactif de Schiff montre que le produit obtenu est **un aldéhyde**.

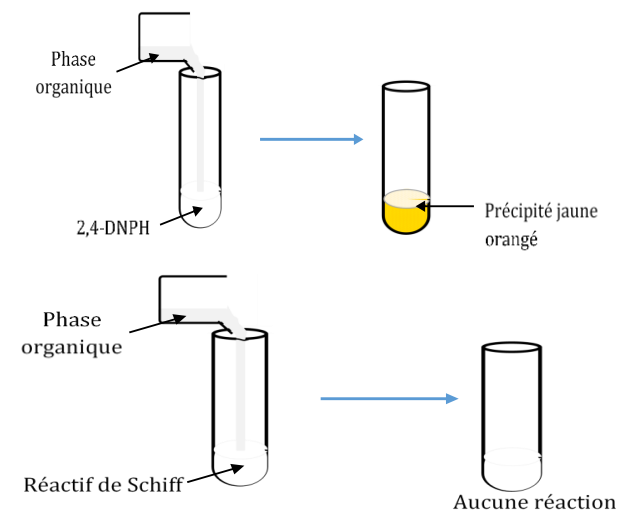
- Oxydant en excès



Le produit formé est **un acide carboxylique**.

❖ **Expérience avec un alcool secondaire**

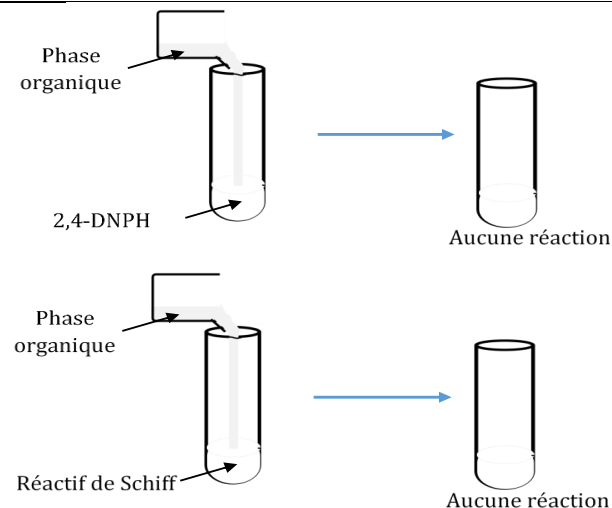
Oxydant en défaut ou en excès



Le produit formé est **une cétone**.

❖ **Expérience avec un alcool tertiaire**

Oxydant en défaut ou en excès



Aucun produit ne se forme.

➤ Conclusion

- Un alcool primaire s'oxyde pour donner un **aldéhyde** si l'oxydant est en défaut ou un **acide carboxylique** si l'oxydant est en excès.
- Un alcool secondaire s'oxyde pour donner une **cétone**.
- Un alcool tertiaire ne s'oxyde pas à froid.

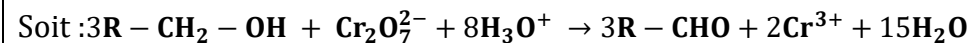
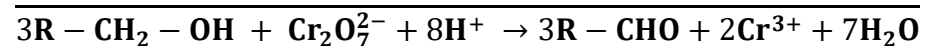
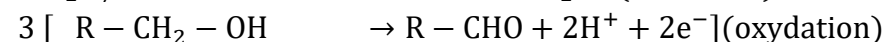
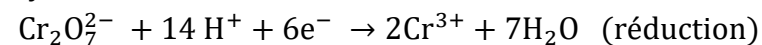
Au cours de cette oxydation, la chaîne carbonée se conserve : on parle **d'oxydation ménagée**.

➤ Equations-bilans des oxydations ménagées

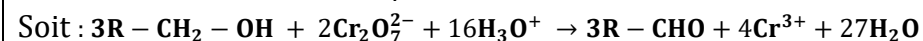
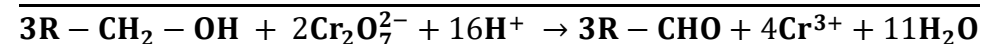
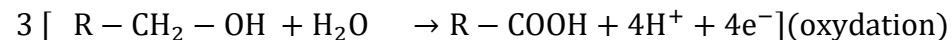
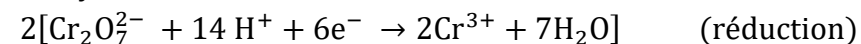
Oxydant utilisé :  $(2K^+, Cr_2O_7^{2-})$

❖ Alcool primaire

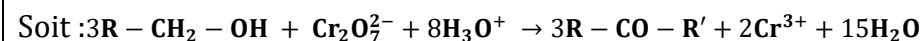
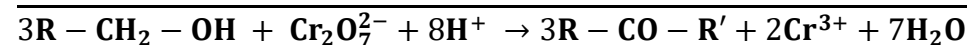
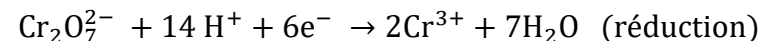
▪ Oxydant est en défaut



- Oxydant est en excès



- ❖ Alcool secondaire



## 6- Les polyols (polyalcools)

### 6.1- Définition

Les polyalcools ou polyols sont des alcools présentant plusieurs groupements hydroxyles (- OH). On distingue :

- **Les diols** : ils présentent deux groupements hydroxyles

**Exemples** : HO - CH<sub>2</sub> - CH<sub>2</sub> - OH ; HO - CH<sub>2</sub> - CH<sub>2</sub> - CH(OH) - CH<sub>3</sub>

**Ethan - 1, 2 - diol (glycol) Butan - 1, 3 - diol**

- **Les triols** : ils possèdent trois groupements hydroxyles

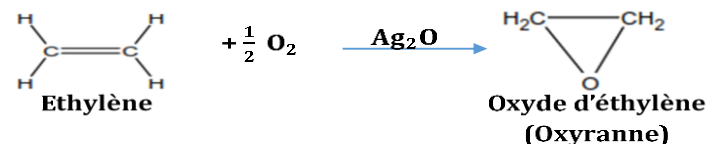
**Exemples** : HO - CH<sub>2</sub> - CH(OH) - CH<sub>2</sub> - OH

Propan - 1, 2, 3 - triol ou **glycérol ou glycérine**.

### 6.2- Préparation

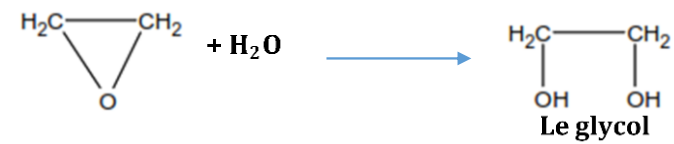
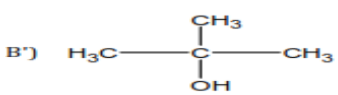
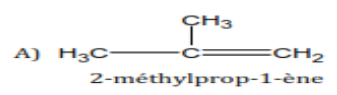
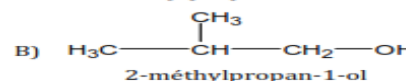
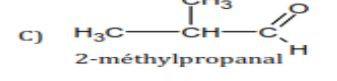
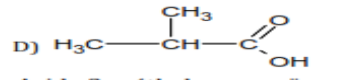
Le glycol (ou l'éthan-1,2-diol) se prépare en deux étapes :

1<sup>ère</sup> étape : **oxydation de l'éthylène**

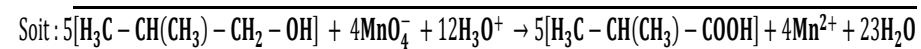
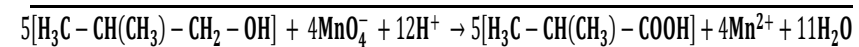
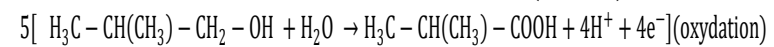
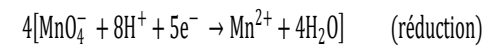


**Ag<sub>2</sub>O**: Oxyde d'argent

2<sup>ème</sup> étape : **hydratation de l'oxyde d'éthylène**

				 <p>Le glycol est utilisé comme Antigel pour les moteurs.</p>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>L'hydratation d'un alcène <b>A</b> dont la molécule contient 4 atomes de carbone donne deux alcools <b>B</b> et <b>B'</b>. L'alcool <b>B'</b> est majoritaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L'oxydation ménagée de <b>B</b> donne un produit <b>C</b> qui précipite avec la 2,4 – DNPH et réagit avec le réactif de Schiff.</li> <li>✓ L'oxydation ménagée de <b>B'</b> par l'ion dichromate en milieu acide n'est pas possible.</li> <li>✓ La poursuite de l'oxydation ménagée de <b>B</b> par un excès de permanganate de potassium (<math>K^+</math>, <math>MnO_4^-</math>) en milieu acide, permet d'obtenir un composé <b>D</b>.</li> </ul> <p><u>Donnée</u> : Couple <math>MnO_4^-/Mn^{2+}</math></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Précise la fonction chimique du composé <b>C</b> et la classe des alcools <b>B</b> et <b>B'</b>.</li> <li>2. En déduis les formules semi-développées et le nom des composés <b>B'</b>, <b>A</b>, <b>B</b>, <b>C</b> et <b>D</b>.</li> <li>3. Ecris l'équation-bilan de la réaction d'oxydation ménagée de l'alcool <b>B</b> en <b>D</b> par l'ion permanganate.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b><u>Résolution détaillée</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>C</b>: est un Aldéhyde ; <b>B</b>: Alcool primaire ; <b>B'</b>: Alcool tertiaire</li> <li>2.</li> </ol> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>B') </p> <p>2-méthylpropan-2-ol</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>A) </p> <p>2-méthylprop-1-ène</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>B) </p> <p>2-méthylpropan-1-ol</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>C) </p> <p>2-méthylpropanal</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>D) </p> <p>Acide 2-méthylpropanoïque</p> </div>

3.



<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : COMPOSES CARBONYLES : ALDÉHYDES ET CÉTONES</b>	
<b>Durée : 3H (2 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un composé carbonyle.
Connaître	- Le groupe carbonyle. - Les formules générales des aldéhydes et des cétones.
Identifier et Nommer	- Un aldéhyde. - Une cétone.
Ecrire	Les formules semi-développées de quelques aldéhydes et cétones.
Réaliser	Les tests caractéristiques des aldéhydes et des cétones.
Connaître	La propriété chimique différenciant les aldéhydes des cétones.
Connaître	- Le test commun aux aldéhydes et cétones. - Les tests spécifiques aux aldéhydes.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction chimique entre : - L'ion diamine argent I et un aldéhyde. - La liqueur de Fehling et un aldéhyde.

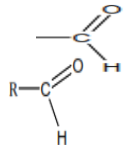
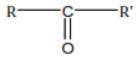
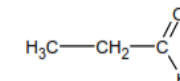
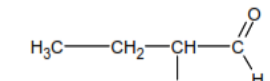
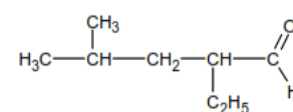
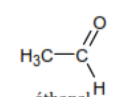
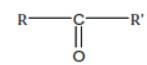
### **Situation d'apprentissage**

Un élève de la Terminale C/D du Lycée lit, dans une revue scientifique, un article relatif aux composés oxygénés. Il est intrigué par ce passage : « Le groupe carbonyle est l'un des groupes fonctionnels les plus importants en raison de sa réactivité et de son abondance dans la nature. Chez une multitude de composés naturels odorants, le groupe fonctionnel est un aldéhyde ou une cétone. Ils possèdent des propriétés communes mais il y a aussi des propriétés caractéristiques pour les aldéhydes et pour les cétones ».

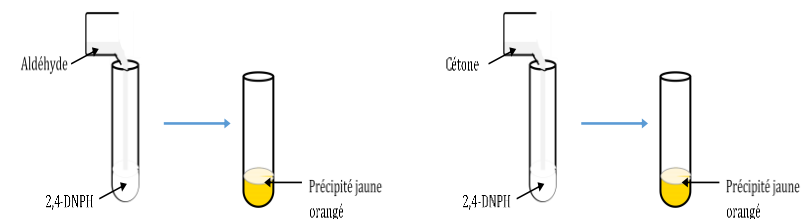
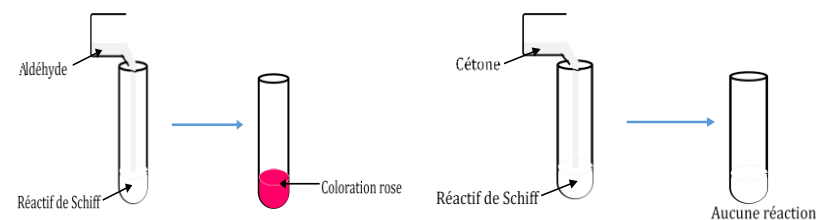
Le lendemain, il partage ces informations avec ses camarades de classe. Pour en savoir davantage, les élèves décident de connaître le groupe carbonyle, les formules générales des aldéhydes et des cétones et de les caractériser.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Cétone ; Aldéhyde ; - DNPH ; Réactif de Schiff ; Liqueur de Fehling ; Réactif de Tollens ; - Ballons à fond rond en pyrex ; Tubes à essais en pyrex	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>	
<b>1. <u>Composé carbonyle</u></b> <b>2. <u>Les aldéhydes</u></b> 2.1. <u>Formule générale</u> 2.2. <u>Nomenclature</u> <b>3. <u>Les cétones</u></b> 3.1. <u>Formule générale</u> 3.2. <u>Nomenclature</u> <b>Activité d'application</b> <b>4. <u>Caractérisation des aldéhydes et des cétones</u></b> 4.1. <u>Propriétés communes aux aldéhydes et cétones</u> <b>4.1.1. <u>Expériences et observations</u></b> ➤ <u>Expérience 1</u> : Test avec le 2,4-DNPH	➤ <u>Expérience 2</u> : Test avec le Réactif de Schiff <b>4.1.2. <u>Conclusion</u></b> 4.2. <u>Propriétés spécifiques aux aldéhydes</u> <b>4.2.1. <u>Expériences et observations</u></b> ➤ <u>Expérience 1</u> : <b>Action du Réactif de Tollens (ion diamine Argent <math>[Ag(NH_3)_2]^+</math>)</b> ▪ <b><u>Interprétation</u></b> ▪ <b><u>Equation-bilan de la réaction</u></b> ➤ <u>Expérience 2</u> : <b>Action de la Liqueur de Fehling (ion Cuivre II <math>[Cu^{2+}]</math>)</b> ▪ <b><u>Interprétation</u></b> ▪ <b><u>Equation-bilan de la réaction</u></b> <b>4.2.2. <u>Conclusion</u></b>
<b>Situation d'évaluation</b>	

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>COMPOSES CARBONYLES : ALDÉHYDES ET CÉTONES</b></p> <p><b>1- Composé carbonylé</b>            Un composé organique dont la structure comporte le groupement carbonyle <math>\begin{array}{c} \text{—C—} \\    \\ \text{O} \end{array}</math> est appelé <b>composé carbonylé</b>.</p> <p><b>2- Les aldéhydes</b>            2.1- <u>Formule générale</u>            Les aldéhydes sont caractérisés par le groupe fonctionnel :             La formule générale structurale des aldéhydes est :            ou <b>R – CHO</b> (<b>R</b>: groupe alkyle)            Sa formule générale brute est : <b>C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O</b>. (n ≥ 1)</p> <p>2.2- <u>Nomenclature</u>            Le nom d'un aldéhyde s'obtient en remplaçant le « e » final du nom de l'alcane correspondant par la terminaison « <b>al</b> ». La chaîne carbonée se numérote toujours à partir du carbone fonctionnel.</p> <p><b>Exemples :</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">               méthanal (Formol)           </div> <div style="text-align: center;">               propanal           </div> <div style="text-align: center;">               2-méthylbutanal           </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">               2-éthyl-4-méthylpentanal           </div> <div style="text-align: center;">               éthanal           </div> </div> <p><b>3- Les cétones</b>            3.1- <u>Formule générale</u>            Les cétones ont pour formule générale structurale :             ou <b>R – CO – R'</b> (<b>R</b> et <b>R'</b> ≠ H).            La formule générale brute d'une cétone est : <b>C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>O</b>. (n ≥ 3)</p>



**4- Caractérisation des aldéhydes et des cétones****4.1- Propriétés communes aux aldéhydes et cétones****4.1.1- Expériences et observations**➤ **Expérience 1 : Test avec le 2,4-DNPH**➤ **Expérience 2 : Test avec le Réactif de Schiff****4.1.2- Conclusion**

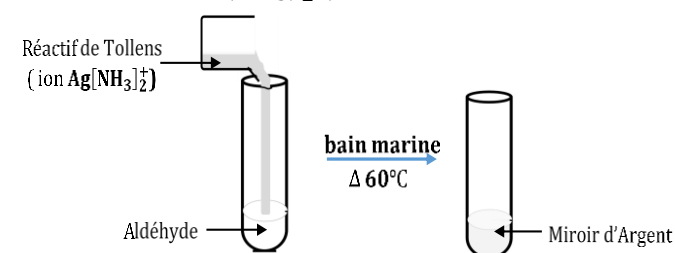
Les aldéhydes et les cétones réagissent avec la 2,4 – DNPH (2,4 – dinitrophénylhydrazine) pour donner un précipité jaune orangé.

**4.2- Propriétés spécifiques aux aldéhydes****4.2.1- Expériences et observations**

Ces expériences sont réalisées en milieu basique (présence des ions  $\text{OH}^-$ )

➤ **Expérience 1 : Action du Réactif de Tollens**

(ion diamine Argent  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ )

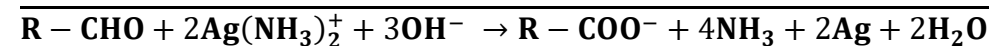
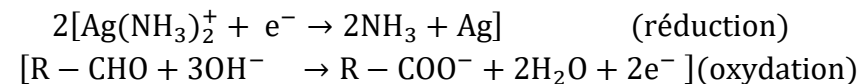


- **Interprétation**

En milieu basique :

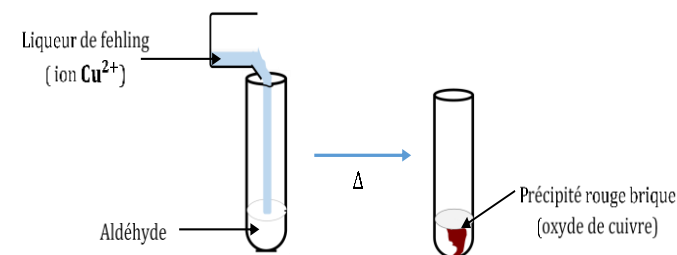
- L'ion diamine argent est réduit en métal argent formant un miroir suivant la demi-équation électronique :  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{e}^- \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{Ag}$ .
- L'aldéhyde est oxydé en ion carboxylate selon la demi-équation électronique :  $\text{R} - \text{CHO} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{R} - \text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ .

- **Equation-bilan de la réaction**



La réaction entre un aldéhyde et le réactif de Tollens (ion diamine argent  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]$ ) est une réaction d'oxydoréduction conduisant à la formation d'un solide brillant appelé miroir d'argent.

➤ **Expérience 2 : Action de la Liqueur de Fehling (ion Cuivre II  $[\text{Cu}^{2+}]$ )**



- **Interprétation**

En milieu basique :

- La liqueur de Fehling (ion cuivre II  $\text{Cu}^{2+}$ ) est réduit en oxyde de cuivre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) selon la demi-équation électronique :  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ .
- L'aldéhyde est oxydé en ion carboxylate selon la demi-équation électronique :  $\text{R} - \text{CHO} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{R} - \text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ .

- **Equation-bilan de la réaction**

				<p>L'action de la liqueur de Fehling sur un aldéhyde donne un dépôt rouge-brique d'oxyde de cuivre <math>\text{Cu}_2\text{O}</math>. L'équation-bilan de la réaction est :</p> $[2\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}] \quad (\text{réduction})$ $[\text{R} - \text{CHO} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{R} - \text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-] (\text{oxydation})$ <hr/> $\text{R} - \text{CHO} + 2\text{Cu}^{2+} + 5\text{OH}^- \rightarrow \text{R} - \text{COO}^- + \text{Cu}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$ <p><b>4.2.2- Conclusion</b></p> <p>Le caractère réducteur des aldéhydes permet de les distinguer des cétones. La liqueur de Fehling, le réactif de Tollens et le réactif de Schiff sont les réactifs spécifiques aux aldéhydes.</p> <p><b>Remarque :</b></p> <p>Le réactif de Schiff, la liqueur de Fehling, le nitrate d'argent ammoniacal et les solutions acidifiées de <math>\text{KMnO}_4</math> et <math>\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7</math> sont sans effet sur les cétones.</p> <table border="1" data-bbox="1227 735 2163 999"> <thead> <tr> <th></th> <th>2,4 - D.N.P.H</th> <th>Réactif de Schiff</th> <th>Réactif de Tollens</th> <th>Liqueur de Fehling</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>ALDEHYDE</th> <td>Précipité jaune orangé</td> <td>Coloration rose</td> <td>Miroir d'argent</td> <td>Précipité rouge brique</td> </tr> <tr> <th>CETONE</th> <td>Précipité jaune orangé</td> <td>Aucune réaction</td> <td>Aucune réaction</td> <td>Aucune réaction</td> </tr> </tbody> </table>		2,4 - D.N.P.H	Réactif de Schiff	Réactif de Tollens	Liqueur de Fehling	ALDEHYDE	Précipité jaune orangé	Coloration rose	Miroir d'argent	Précipité rouge brique	CETONE	Précipité jaune orangé	Aucune réaction	Aucune réaction	Aucune réaction
	2,4 - D.N.P.H	Réactif de Schiff	Réactif de Tollens	Liqueur de Fehling															
ALDEHYDE	Précipité jaune orangé	Coloration rose	Miroir d'argent	Précipité rouge brique															
CETONE	Précipité jaune orangé	Aucune réaction	Aucune réaction	Aucune réaction															
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Un composé <b>A</b> de formule brute <math>\text{C}_x\text{H}_y\text{O}</math>, ne contenant ni cycle, ni liaison multiple entre les atomes de carbone, est obtenu par oxydation ménagée d'un composé <b>C</b>.</p> <p>Le composé <b>C</b> est lui-même obtenu en très faible quantité à côté d'un composé <b>D</b> lors de l'hydratation d'un alcène <b>B</b>.</p> <p>L'alcène <b>B</b> possède 4 atomes de carbones et est ramifiée.</p> <p>Afin de connaître les différents composés, ton groupe réalise les tests suivants :</p> <p>✓ <b>Test 1 :</b></p> <p>La combustion de 1g du composé <b>A</b> donne 2,45 g de dioxyde de carbone et 1 g d'eau ;</p>															

✓ **Test 2 :**

Le composé **A** + DNPH → précipité jaune ;

✓ **Test 3 :**

Le composé **A** + liqueur de fehling → précipité rouge brique.

Données :

- Couple :  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$  ;
- $M(\text{H}) = 1\text{g/mol}$  ;  $M(\text{C}) = 12\text{g/mol}$  ;  $M(\text{O}) = 16\text{g/mol}$ .

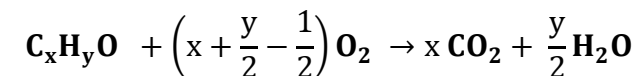
1. Exprime la masse molaire  $M_A$  du composé **A** en fonction de x et y.
2. Ecris l'équation-bilan de la combustion complète du composé **A** dans le dioxygène.
3.
  - 3.1. Trouve la relation entre x et y.
  - 3.2. En déduis la formule brute du composé **A** si  $y = 8$
4. Donne la formule semi-développée et le nom de l'alcène **B**
5.
  - 5.1. Ecris l'équation d'hydratation de l'alcène **B** et nomme le composé **D**.
  - 5.2. En déduis la formule semi-développée et le nom du composés **C**.
  - 5.3. A partir des tests 2 et 3, donne la formule semi-développée et le nom du composés **A**.
  - 5.4. Ecris l'équation d'oxydation du composé **C** par le dichromate de potassium  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en milieu acide.

**Résolution détaillée**

1. Expression de la masse molaire du composé **A** :

$$M_A = 12x + y + 16$$

2. Equation-bilan de la combustion complète du composé **A** dans le dioxygène :



- 3.

- 3.1. Bilan molaire :

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\left(x + \frac{y}{2} - \frac{1}{2}\right)} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{x} = \frac{2n_{\text{H}_2\text{O}}}{y} \Rightarrow \frac{m_A}{M_A} = \frac{n_{\text{O}_2}}{\left(x + \frac{y}{2} - \frac{1}{2}\right)} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{xM_{\text{CO}_2}} = \frac{2m_{\text{H}_2\text{O}}}{yM_{\text{H}_2\text{O}}}$$



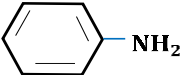
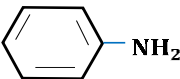
<b>Niveau/Classe : Tle D</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : LES AMINES</b>	
<b>Durée : 1H (1 séance)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir et Nommer	Une amine.
Connaître	La formule générale d'une amine.
Identifier	- Une amine primaire. - Une amine secondaire. - Une amine tertiaire.
Expliquer	Le caractère basique des amines.
Montrer	Le caractère nucléophile des amines.

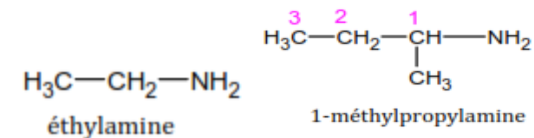
### Situation d'apprentissage

Pendant le cours de SVT, les élèves de la Tle D du Lycée ont appris que les engrais, très important en agriculture, sont essentiellement composés du trio « NPK » c'est-à-dire Azote, Phosphore et Potassium ; et que la structure électronique de l'azote lui confère des propriétés particulières conduisant à une famille de composés appelée les amines. Au cours de Chimie, ces élèves veulent en savoir davantage. Ils décident alors de connaître la formule générale des amines, d'identifier les trois classes d'amine et d'expliquer leur caractère basique.

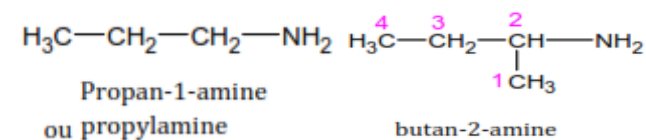
<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Boîtes de modèles moléculaires ; Tube à essais ; Verrerie - Solution de sulfate de cuivre Ammoniac ; Éthylamine ; - Solution d'ion fer II et fer III ; Triéthylamine ; Iodoéthane en solution dans l'éthanol	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>
<b>1- <u>Définition et formule générale d'une amine</u></b> <b>2- <u>Les différentes classes d'amine</u></b> <b>3- <u>Nomenclature des amines</u></b> ➤ <u>Amines primaires</u> : ➤ <u>Amines secondaires et tertiaires</u> : <b><u>Activité d'application</u></b> <b>4- <u>Caractère basique et nucléophile des amines</u></b> 4.1- <u>Caractère basique des amines</u> 4.2- <u>Caractère nucléophile des amines</u> <b><u>Application</u> : Réaction de Hoffmann</b>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>LES AMINES</b></p> <p><b>1. Définition et formule générale d'une amine</b>            Une amine résulte de la substitution d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène de la molécule d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) par un ou plusieurs groupes alkyles (R –) ou aryles (Ar –). La formule générale d'une amine est : <b>C<sub>n</sub>H<sub>2n+3</sub>N</b>.</p> <p><b>Exemples :</b></p> <p style="text-align: center;"> <math>\text{H}_3\text{C} - \text{NH}_2</math>    <math>\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{CH}_3</math>    <math>\text{H}_3\text{C} - \overset{\text{H}_3\text{C}}{\underset{ }{\text{N}}} - \text{C}_6\text{H}_5</math>  </p> <p><b>2. Les différentes classes d'amine</b>            Il existe trois classes d'amines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les amines de classe primaire de formule <b>R – NH<sub>2</sub></b> : l'atome d'azote est lié à au moins deux atomes d'hydrogène.</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math>\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{NH}_2</math> ;     </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les amines de classe secondaire de formule <b>R<sub>1</sub> – NH – R<sub>2</sub></b> : l'atome d'azote est lié à un atome d'hydrogène.</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math>\text{H}_3\text{C} - \text{NH} - \text{CH}_3</math> ;    <math>\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{CH}_3</math> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les amines de classe tertiaire de formule</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math>\text{R}_1 - \overset{\text{R}_2}{\underset{\text{R}_3}{\text{N}}} - \text{R}_2</math> : l'atome d'azote n'est lié à aucun atome d'hydrogène.         </p> <p style="text-align: center;"> <math>\text{H}_3\text{C} - \overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{N}}} - \text{CH}_3</math> </p> <p><b>3. Nomenclature des amines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Amines primaires :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Le nom des amines primaires est obtenu en ajoutant la terminaison « <b>amine</b> » au nom du groupe alkyle (ou aryle), le « <b>e</b> » final étant éliminé.</li> </ul> </li> </ul>



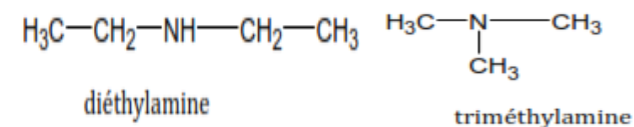
- ✓ Ou en remplaçant le « e » final de l'alcane dont elle provient par la terminaison « **amine** » précédé, entre tirets, de l'indice de position du groupe ( $-\text{NH}_2$ ).



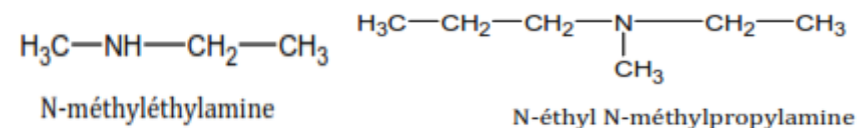
➤ Amines secondaires et tertiaires :

Le nom des amines secondaires et tertiaires est obtenu de la façon suivante :

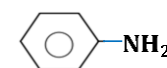
- ✓ Lorsqu'elles sont symétriques, elles sont nommées comme les amines primaires en ajoutant le préfixe « **di** » ou « **tri** » :



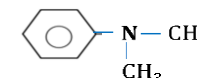
- ✓ Si elles sont mixtes, elles sont considérées comme dérivant de l'amine primaire avec le groupe alkyle le plus long. Le nom des autres substituants est énoncé en le précédant de la lettre **N** :



Remarque : Certaines amines ont gardé leur usuel :



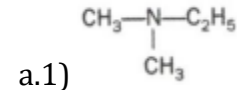
Phénylamine  
ou (aniline)



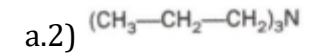
N,N - diméthylphénylamine  
ou (N,N - diméthylaniline)

**Activité d'application**

a- Donne le nom et la classe des amines suivantes :



a.1)



b- Ecrire les formules semi-développées des amines suivantes et préciser leur classe :

b.1) Butan-2-amine ; b.2) 2-méthylbutan-1-amine ;

b.3) N-méthylphénylamine ; b.4) N, N-diméthyléthanamine.

**Résolution :**

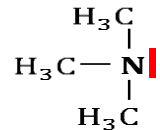
a-

a.1) N,N-diméthyléthylamine ; a.2) tripropylamine

b- (voir cours)

**4. Caractère basique et nucléophile des amines****4.1. Caractère basique des amines**

Les amines sont des bases faibles. Cette propriété est due au doublet non liant porté par l'atome d'azote qui est capable de fixer un proton ( $\text{H}^+$ ).

**4.2. Caractère nucléophile des amines**

Un réactif nucléophile est un réactif possédant un centre riche en électrons et présentant une affinité pour les sites positifs.

La présence du doublet non liant sur l'azote confère aux amines un **caractère nucléophile**.

**N.B** : un réactif électrophile est contraire aux réactifs nucléophiles.

**Application : Réaction de Hoffmann**

Les amines réagissent avec les dérivés halogénés. Avec une amine primaire ou une amine secondaire, la réaction conduit à un mélange d'amines de classes différentes après passage par un **ion di-ou trialkylammonium**. Les amines tertiaires conduisent à l'obtention

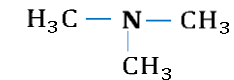
				<p>d'ions tétraalkylammoniums appelés ions ammoniums quaternaires.</p> <p><b>Exemple :</b></p> $  \begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{N} \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array} + \text{C}_2\text{H}_5-\text{I} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{N}^+ \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array} + \text{I}^-  $ <p style="text-align: center;">triéthylamine                      Iodure d'éthyle                      Iodure de tétraéthylammonium</p> <p style="text-align: center;"><b>Mécanisme</b></p> $  \begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\   \\ \text{H}_5\text{C}_2-\text{N} \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array} + \text{CH}_3-\overset{\delta+}{\text{C}}\text{H}_2-\overset{\delta-}{\text{I}} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\   \\ \text{H}_5\text{C}_2-\text{N}^+ \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array} + \text{I}^-  $
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Au cours d'une séance de TP, on met à la disposition d'un groupe élève , Une amine tertiaire contenant en masse 61,02%de carbone, 15,25% d'hydrogène et 23,73% d'azote. Les élèves font agir sous la surveillance du professeur, 0,73 g de cette amine sur 1,56 g d'iodométhane. Tu es désigné pour rédiger le rapport.</p> <p><b>Donnée :</b> : M(H) = 1g. mol<sup>-1</sup> ;M(C) = 12g. mol<sup>-1</sup> ; M(N) = 14 g. mol<sup>-1</sup> ; iodure de tétraméthylammonium: M<sub>p</sub> = 200,9 g. mol<sup>-1</sup> ; iodométhane: M<sub>B</sub> = 141,9 g. mol<sup>-1</sup>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calcul la masse molaire moléculaire de l'amine.</li> <li>Détermine sa formule semi-développée et son nom.</li> <li>Ecris l'équation-bilan de la réaction entre l'amine et l'iodométhane.</li> <li>Donne la propriété des amines mise en jeu dans cette réaction.</li> <li>Calcule la masse du produit obtenu en supposant la réaction totale.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>Résolution</b></p> <p>1. La masse molaire moléculaire de l'amine :</p> <p>Soit M la masse molaire, on a : <math>\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{2x+3}{\%H} = \frac{14}{\%N} \Rightarrow \frac{M}{100} = \frac{14}{\%N} \Rightarrow</math></p>

$$M = \frac{1400}{23,75} = 58,59 \text{ g. mol}^{-1}$$

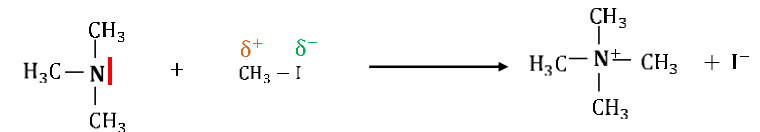
2. La formule semi-développée et le nom de l'amine :

On a pour les amines, la formule brute  $C_xH_{2x+3}N$ .

$\frac{12x}{\%C} = \frac{M}{100} \Rightarrow x = \frac{M \times \%C}{1200} \Rightarrow x = \frac{58,59 \times 61,02}{1200} = 2,98 \Rightarrow x = 3$  d'où  $C_3H_9N$ . L'amine étant tertiaire on aura :



3. L'équation-bilan de la réaction entre l'amine et l'iodométhane.



4. Dans cette réaction la propriété nucléophile des amines est mise en jeu

5. Le produit obtenu est l'iodure de tétraméthylammonium. sa masse est :

$$\checkmark \text{ bilan molaire : } \frac{n_A}{1} = \frac{n_B}{1} = \frac{n_P}{1} \text{ ou } \frac{m_A}{M_A} = \frac{m_B}{M_B} = \frac{m_P}{M_P}$$

ici ; l'iodométhane est le réactif limitant  $\Rightarrow m_P = \frac{m_B \times M_P}{M_B}$

$$\text{A.N : } m_A = \frac{1,56 \times 200,9}{141,9} = 2,208 \text{ g}$$

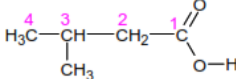
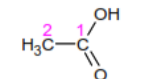
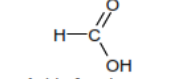
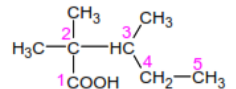
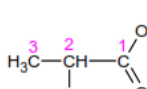
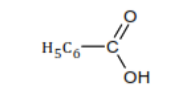
<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : ACIDES CARBOXYLIQUES ET DÉRIVÉS</b>	
<b>Durée : 3H (2 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir et Nommer	Un acide carboxylique.
Connaître	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le groupe fonctionnel carboxyle.</li> <li>- La formule générale d'un acide carboxylique.</li> <li>- Les propriétés physiques des acides carboxyliques.</li> <li>- Les propriétés acides des acides carboxyliques.</li> </ul>
Identifier et Nommer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un ester.</li> <li>- Un chlorure d'acide.</li> <li>- Un anhydride d'acide.</li> <li>- Un amide.</li> </ul>
Ecrire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les formules semi-développées de quelques acides carboxyliques et leurs dérivés.</li> <li>- Les équations-bilans des réactions de passage de l'acide carboxylique à ses dérivés (chlorure d'acyle, anhydride d'acide, ester, amide).</li> <li>- L'équation-bilan de la réaction d'obtention d'un ester à partir :               <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'un chlorure d'acyle</li> <li>• d'un anhydride d'acide</li> </ul> </li> </ul>

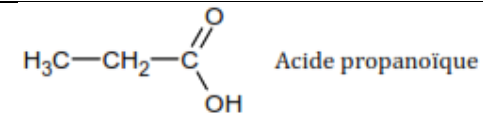
### **Situation d'apprentissage**

Des élèves de Terminale D du Lycée découvrent dans un manuel le texte suivant : « Les fonctions acide, ester et amide sont présentes dans la plupart des molécules du monde vivant. Elles interviennent dans de très nombreux composés organiques de synthèse, des matières plastiques les plus courantes aux médicaments les plus élaborés ». En classe, ils partagent ces informations avec leurs camarades et ensemble, ils décident de s'informer sur les acides carboxyliques, d'identifier leurs dérivés, de les nommer et d'écrire les équations-bilans de passage des acides carboxyliques à leurs dérivés.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boîtes de modèles moléculaires ; Allumettes ; Verrerie ; Labogaz</li> <li>- Quelques acides carboxyliques ; Papier pH ; pH-mètre ;</li> <li>- Ethanol ; Acide éthanoïque ; Acide sulfurique concentré ; Chlorure d'éthanoyle ; Eau + glace ; Eau salée ;</li> <li>- Pincettes à bois ; Thermomètre ; Ballon muni d'un réfrigérant ;</li> <li>- Courbes d'estérification et d'hydrolyse sur planche.</li> </ul>	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

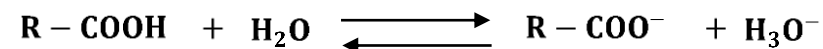
**PLAN DE LA LEÇON****1- Les Acides carboxyliques**1.1- Définition1.2- Nomenclature**Activité d'application 1 :**1.3- Propriétés physiques et acides**2- Dérivés des acides carboxyliques**2.1- Le Chlorure d'acyle ou d'acide**2.1.1- Nomenclature****Activité d'application 2****2.1.2- Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un chlorure d'acide**2.2- L'Anhydride d'acide**2.2.1- Nomenclature****Activité d'application 3 :****2.2.2- Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un anhydride d'acide**2.3- L'ester**2.3.1- Nomenclature****Activité d'application 4****2.3.2- Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un ester (estérification)**2.4- Les amides**2.4.1- Nomenclature****Activité d'application 5 :****2.4.2- Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un amide****Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<b>ACIDES CARBOXYLIQUES ET DÉRIVÉS</b>
				<p><b>1. Les Acides carboxyliques</b></p> <p>1.1. <u>Définition</u>            Un acide carboxylique est un composé organique dont sa structure contient le <b>groupe carboxyle</b> (–COOH) (groupe fonctionnel).            La formule générale structurale d'un acide carboxylique est :</p> $\text{R} - \text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{array}$ <p>avec R(H; groupe alkyle; ect).            sa formule brute est <math>\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2</math>.</p> <p>1.2. <u>Nomenclature</u>            Le nom d'un acide carboxylique s'obtient en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant par « oïque » précédé du mot « acide ».</p> <p><b>Exemples :</b></p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Acide 3-méthylbutanoïque</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Acide acétique (Acide éthanoïque)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Acide formique (Acide méthanoïque)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Acide 2,2,3-triméthylpentanoïque</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Acide 2-méthylpropanoïque</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Acide benzoïque (Acide benzène-carboxylique)</p> </div> </div> <p><b>Activité d'application1 :</b>            Un acide carboxylique a pour densité de vapeur <math>d = 2,552</math>.            a- Détermine sa formule brute ;            b- Donne sa formule semi-développée et son nom.</p> <p><b>Résolution détaillée</b></p> <p>a- Détermination de la formule brute :            On a <math>M = 29d</math> AN : <math>M = 29 \times 2,552 = 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}</math>. Pour un acide carboxylique on a : <math>\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2 \Rightarrow 12n + 2n + 32 = 74 \Rightarrow 14n + 32 = 74 \Rightarrow n = 3</math> ce qui donne : <math>\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2</math>.</p> <p>b- Formule semi-développée et le nom :</p>



### 1.3. Propriétés physiques et acides

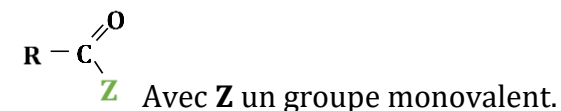
Les acides carboxyliques réagissent partiellement avec l'eau : Ce sont des acides faibles. L'équation-bilan de leur réaction avec l'eau est :



**N.B :** R – COO<sup>-</sup> : ion carboxylate (base conjuguée). son nom est obtenu en remplaçant le suffixe « oïque » de l'acide par « oate ».

## 2. Dérivés des acides carboxyliques

Les dérivés des acides carboxyliques sont des composés organiques obtenus à partir des acides carboxyliques. Leurs formules structurale générale est :



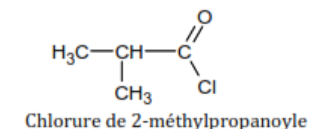
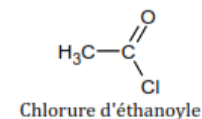
### ➤ Fonctions dérivées de la fonction « acides carboxylique »

Nature de (-Z)	-Cl	-OOC-R'	-O-R'	-NH <sub>2</sub>
Formule générale structurale	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}'$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$
Fonction	<b>Chlorure d'acyle</b>	<b>Anhydride d'acide</b>	<b>ester</b>	<b>amide</b>

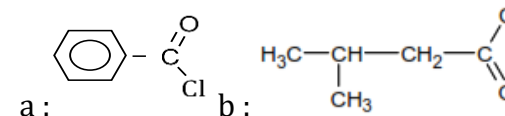
### 2.1. Le Chlorure d'acyle ou d'acide

#### 2.1.1. Nomenclature

Le nom d'un chlorure d'acyle s'obtient en remplaçant « acide » de l'acide carboxylique correspondant par « **chlorure de** » et la terminaison « oïque » par « **oyle** ».

**Exemple :****Activité d'application 2**

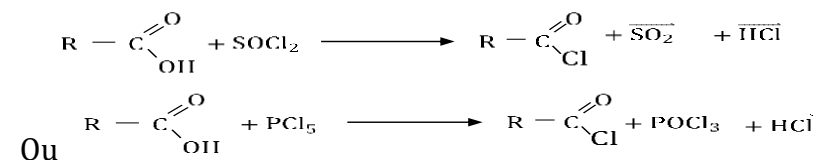
Nomme les formules semi-développées suivantes :

**Résolution :**

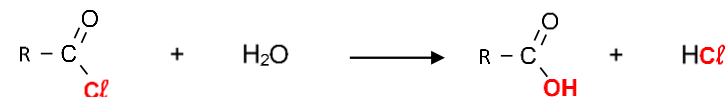
a: chlorure de benzoyle ; b : chlorure de 3-méthylbutanoyle

**2.1.2. Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un chlorure d'acide**

Par action d'un agent chlorurant puissant tel que le  $\text{PCl}_5$  (le pentachlorure de Phosphore) ou le  $\text{SOCl}_2$  (le Chlorure de thionyle) sur l'acide carboxylique, on obtient un chlorure d'acyle d'où l'équation-bilan :

**N.B :**

- ✓ C'est une réaction de substitution de l'atome de chlore au groupe hydroxyde.
- ✓ L'hydrolyse des chlorures d'acyle est une réaction violente, totale, rapide, exothermique et régénère les acides carboxyliques dont ils dérivent. L'équation bilan de cette réaction est :

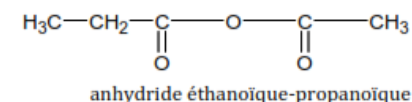
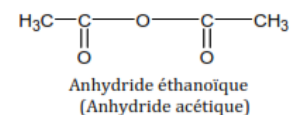


## 2.2. L'Anhydride d'acide

### 2.2.1. Nomenclature

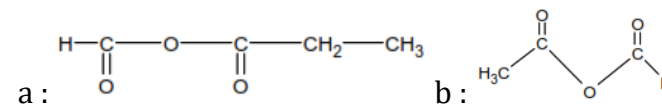
Le nom d'un anhydride d'acide s'obtient en remplaçant le mot « **acide** » par le mot « **anhydride** » suivi des noms des acides carboxyliques cités dans l'ordre alphabétique.

#### Exemples :



#### Activité d'application 3 :

Nomme les formules semi-développées suivantes :

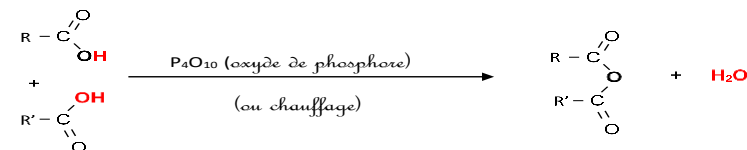


#### Résolution :

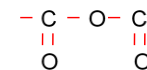
a: anhydride méthanoïque – propanoïque ; b: anhydride éthanoïque – méthanoïque

### 2.2.2. Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un anhydride d'acide

Un anhydride d'acide s'obtient après une réaction chimique au cours de laquelle deux molécules d'acides carboxyliques s'unissent en perdant une molécule d'eau. Le mécanisme de cette **déshydratation intermoléculaire** est le suivant :

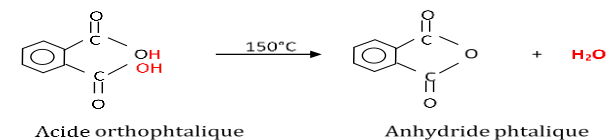


Le groupe fonctionnel des anhydrides d'acide est :

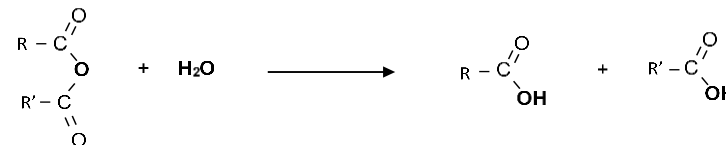


#### Remarques :

Certaines molécules de diacides subissent par chauffage une **déshydratation intramoléculaire** pour donner des anhydrides d'acides cycliques.



**N.B :** L'hydrolyse à froid d'un anhydride d'acide est une réaction lente, totale et régénère les acides carboxyliques dont il dérive. L'équation bilan générale de cette réaction est :



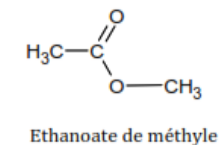
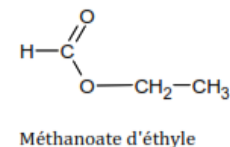
### 2.3. L'ester

#### 2.3.1. Nomenclature

On obtient le nom d'un ester [ $\text{R} - \text{C}(\text{O}) - \text{OR}'$ ] à partir de celui de l'acide carboxylique correspondant:

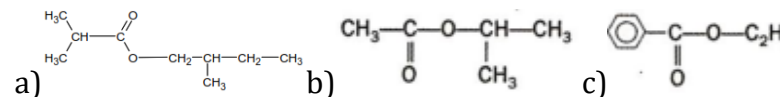
- En supprimant le mot « **acide** » ;
- En remplaçant le suffixe « **oïque** » par « **oate** » et
- En ajoutant la préposition « **de** » ou « **d'** » suivie du nom du groupe alkyle **R'**.

Exemple :



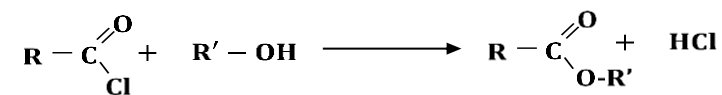
#### Activité d'application 4 :

1- Nomme les formules semi-développées suivantes :

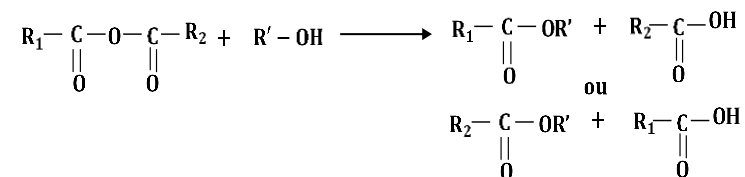




✓ A partir du chlorure d'acyle



✓ A partir de l'anhydride d'acide

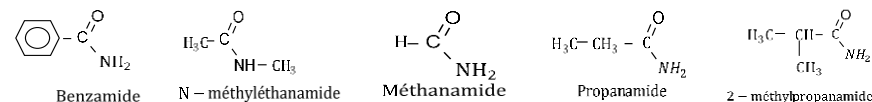


## 2.4. Les amides

### 2.4.1. Nomenclature

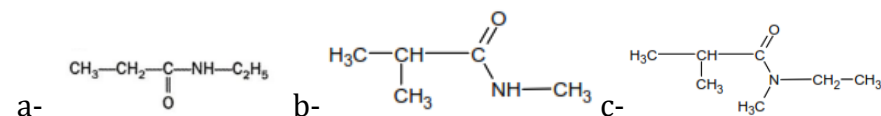
On obtient le nom d'un amide en remplaçant la terminaison « oïque » de l'acide carboxylique correspondant par « amide » et on place un **N** majuscule avant le nom de chaque substituant de l'azote.

**Exemples :**



### Activité d'application 5 :

Nomme les composés de formules semi-développées suivantes :



**Résolution détaillée :**

a : N - éthylpropanamide ; b : N - méthyl 2 - méthylpropanamide ;  
c : N - éthyl N - éthyl 2 - méthylpropanamide.

### 2.4.2. Equation-bilan de la réaction d'obtention d'un amide

On obtient une amide en remplaçant le groupement (-OH) d'un acide carboxylique ou le chlore (Cl) d'un chlorure d'acyle par l'un des groupes

				<p>suivants : <math>-\text{NH}_2</math>; <math>-\text{NHR}'</math> ou <math>-\text{NR}'\text{R}''</math>. Cela se traduit par les équations bilan suivantes :</p> $\begin{array}{c} \text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{Cl} \end{array} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{NH}_2 \end{array} + \text{HCl} \\ \text{(ammoniac)} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{array} + \text{R}'-\text{NH}_2 \longrightarrow \text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{NH}-\text{R}' \end{array} + \text{H}_2\text{O} \\ \text{(amine)} \end{array}$ <p><u>N.B :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L'action de l'ammoniac (<math>\text{NH}_3</math>) ou de l'amine sur du chlorure d'acyle est une réaction rapide et totale.</li> <li>✓ La déshydratation de l'éthanoate d'ammonium conduit aussi à la formation d'un amide :</li> </ul> $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O}^-, \text{NH}_4^+ \end{array} \xrightarrow{210^\circ\text{C}} \text{CH}_3-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{NH}_2 \end{array} + \text{H}_2\text{O} \end{array}$
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>Afin de vérifier les acquis en chimie organique de ses élèves de la Tle, un professeur de Physique-Chimie, propose le schéma réactionnel ci-dessous.</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     A[A] -- (3) P, O10 --&gt; B[B]     A -- (1) Ethanol --&gt; E[E]     A -- (4) NH3/delta --&gt; D[D]     A -- (2) PCl5 ou SOCl2 --&gt; C[C]     C -- (5) Ethanol --&gt; E </pre> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ (A) ; (B) ; (C) ; (D) ; (E) et (F) sont des composés organiques.</li> <li>✓ (A) est un monoacide carboxylique à chaîne carbonée saturée et de masse moléculaire <math>M_A = 60</math> g/mol.</li> <li>✓ Les réactions chimiques sont représentées par des flèches numérotées de 1 à 5.</li> </ul>

**Données :** Masses molaires atomiques en :  $M_H = 1 \text{ g/mol}$  ;  $M_O = 16 \text{ g/mol}$  ;  $M_C = 12 \text{ g/mol}$ .

1. Donne la formule brute , la formule semi-développée et le nom du composé (**A**).
2. A partir du schéma réactionnel :
  - 2.1. Détermine la formule semi-développée et le nom des composés (**B**); (**C**); (**D**); (**E**) et (**F**).
  - 2.2. Ecris l'équation-bilan de chacune des réactions (1) et (5).
  - 2.3. Donne le nom et les caractéristiques des réactions (1) et (5).

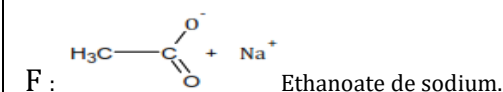
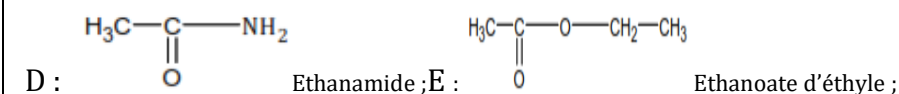
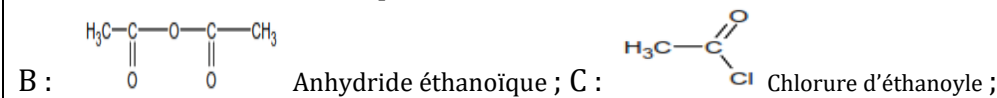
### Résolution détaillée

1. La formule brute générale de A :  $C_nH_{2n}O_2$ . Détermination de la formule brute de A : On a :  $M = 14n + 32 = 60 \Rightarrow n = 2$ . On aura donc  $C_2H_4O_2$



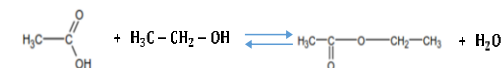
2.

- 2.1. Détermination de la formule semi-développée et le nom de chacun des composés B, C, D, E et F :

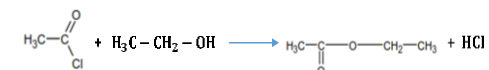


- 2.2. Equation bilan des réactions :

(1) :



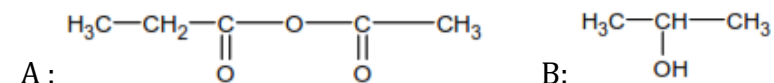
(5) :



2.3. (1) : estérification directe : réaction lente, athermique, réversible et limitée. (5) : Estérification indirecte : réaction rapide, exothermique et totale.

**Evaluation à faire à la maison :**

On dispose deux composés organiques suivants :



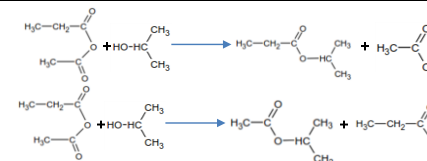
On fait réagir le composé A avec le composé B ; on obtient quatre composés organiques.

1. Nomme les composés A et B.
2. Ecris les équations-bilans des réactions donnant ces quatre composés.
3. On note  $C_1$  le composé de masse molaire  $M_1 = 60 \text{ g. mol}^{-1}$  et on note  $C_2$  celui de masse molaire  $M_2 = 74 \text{ g. mol}^{-1}$ . On prélève  $m_1 = 3,6 \text{ g}$  de  $C_1$  et  $m_2 = 2,96 \text{ g}$  de  $C_2$  pour réaliser un mélange. On ajoute du chlorure de thionyle ( $\text{SOCl}_2$ ) à l'excès sur ce mélange.
  - 3.1. Ecris les équations-bilans des réactions qui se produisent.
  - 3.2. Donne les noms et les formules semi-développée des composés organiques qui se forment.
  - 3.3. Calcule le volume total de dioxyde de soufre  $V$  dégagé et la masse de chlorure d'hydrogène  $m$  produit.

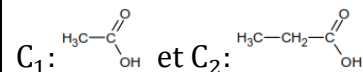
**Données :** Volume molaire :  $V_m = 24 \text{ L/mol}$ ; Masses molaires atomiques en :  $M_H = 1 \text{ g/mol}$ ;  $M_C = 12 \text{ g/mol}$ ;  $M_O = 16 \text{ g/mol}$ ;  $M_{Cl} = 35,5 \text{ g/mol}$ ;  $M_S = 32 \text{ g/mol}$ .

**Résolution détaillée**

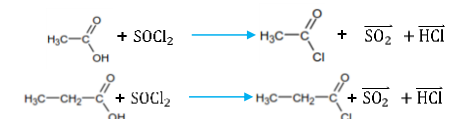
1. A : anhydride éthanoïque-propanoïque ; B : propan-2-ol
2. Equations-bilan des réactions donnant les quatre composés :



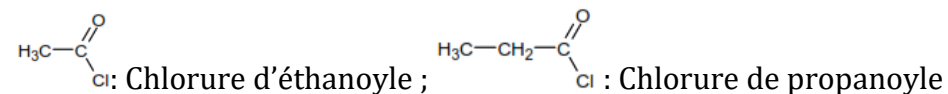
3. On a :



3.1. Equations-bilans des réactions qui se produisent :



3.2. Les composés organiques qui se forment :



3.3. Calcul du volume total  $V$  de dioxyde de soufre dégagé et de la masse de chlorure d'hydrogène produit :

$$\text{On a : } n_{\text{SO}_2} = n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2} \text{ et } n_{\text{HCl}} = n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2}$$

$$\frac{V}{V_m} = n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2} \Rightarrow V_{\text{SO}_2} = (n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2}) \cdot V_m ;$$

$$\frac{m}{M} = n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2} \Rightarrow m = (n_{\text{C}_1} + n_{\text{C}_2}) \cdot M_{(\text{HCl})}$$

$$n_{\text{C}_1} = \frac{m_1}{M_1} ; n_{\text{C}_2} = \frac{m_2}{M_2} ; V_{\text{SO}_2} = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot V_m ; m = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot M_{(\text{HCl})}$$

$$\text{A.N : } M_{(\text{HCl})} = 36,5 \text{ g/mol ;}$$

$$V_{\text{SO}_2} = \left( \frac{3,6}{60} + \frac{2,96}{74} \right) \times 24 = 2,4 \text{ L ; } m = \left( \frac{3,6}{60} + \frac{2,96}{74} \right) \times 36,5 = 3,65 \text{ g.}$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : FABRICATION D'UN SAVON</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 2H (1 séance)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	La saponification.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction de saponification.
Connaître	- Les caractéristiques de réaction de saponification. - La formule générale d'un savon. - Les propriétés détergentes d'un savon.
Connaître	- Quelques acides gras naturels. - La formule générale d'un triester d'acide gras.
Ecrire	Les formules semi-développées de quelques triesters (butyrine et palmitine).
Préparer	Un savon.
Expliquer	La fabrication du savon.
Ecrire et Exploiter	L'équation-bilan de la réaction de préparation d'un savon.

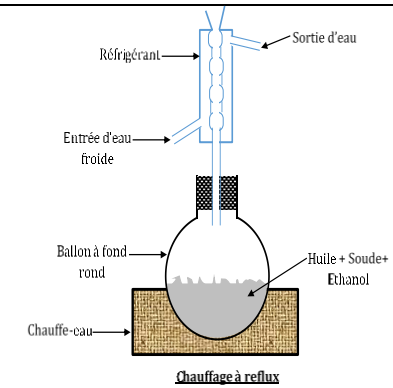
### **Situation d'apprentissage**

En visite dans une de fabrication de savons, les membres du club de Chimie du Lycée dont font partie les élèves de Tle C observent avec intérêt le procédé d'obtention du savon de lessive. De retour en classe, les élèves de la Tle C décident de définir la saponification, d'écrire l'équation-bilan de la réaction de saponification et de préparer un savon.

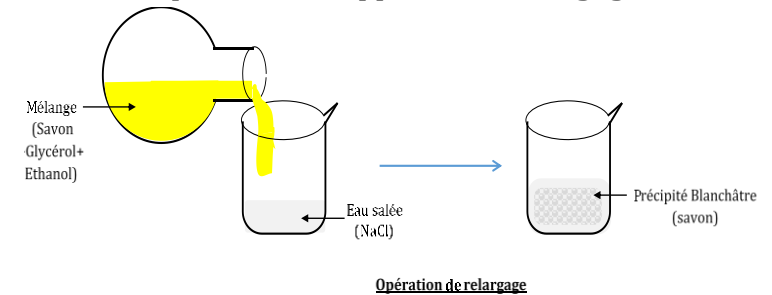
<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Corps gras (huile) ; Solution de KOH ou de NaOH ; - Labogaz ; Verrerie ; Alcool ; Gros sel (NaCl) ; Papier filtre ; - Eau distillée	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>
<b>1- <u>La saponification des esters</u></b> <b>2- <u>Les triesters ou triglycérides</u></b> <b>3- <u>Préparation d'un savon</u></b> 3.1- <u>Expérience et observation</u> 3.2- <u>Conclusion</u>
<b>Situation d'évaluation</b>

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>FABRICATION D'UN SAVON</b></p> <p><b>1. La saponification des esters</b></p> <p>La saponification est la réaction entre <b>un ester</b> et une <b>base forte</b> (la soude [NaOH], la potasse [KOH]). Son équation bilan générale s'écrit :</p> $\begin{array}{c} R_1 - C - O - R_2 \\    \\ O \end{array} + (Na^+, OH^-) \longrightarrow \begin{array}{c} R_1 - C - O^- \\    \\ O \end{array} + Na^+ + R_2 - OH$ <p>La réaction de saponification est une réaction <b>lente et totale</b>.</p> <p><b>2. Les triesters ou triglycérides</b></p> <p>Un triester (un triglycéride) est un composé organique possédant trois groupes ester. Sa formule générale est :</p> $\begin{array}{c} R - C - O - CH_2 \\    \\ O \\ R - C - O - CH \\    \\ O \\ R - C - O - CH_2 \\    \\ O \end{array}$ <p><b>Exemples :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La butyrine :</li> <math display="block">\begin{array}{c} C_3H_7 - C - O - CH_2 \\    \\ O \\ C_3H_7 - C - O - CH \\    \\ O \\ C_3H_7 - C - O - CH_2 \\    \\ O \end{array}</math> <li>- La palmitine :</li> <math display="block">\begin{array}{c} C_{15}H_{31} - C - O - CH_2 \\    \\ O \\ C_{15}H_{31} - C - O - CH \\    \\ O \\ C_{15}H_{31} - C - O - CH_2 \\    \\ O \end{array}</math> </ul> <p>Les triesters sont les constituants essentiels des corps gras (huile, graisse...).</p> <p><b>3. Préparation d'un savon</b></p> <p>3.1. <u>Expérience et observation</u></p> <p>Dans un ballon à fond rond, on dissout une quantité de soude dans de l'éthanol. A ce mélange, on introduit une quantité d'huile que l'on chauffe à reflux pendant une durée.</p>



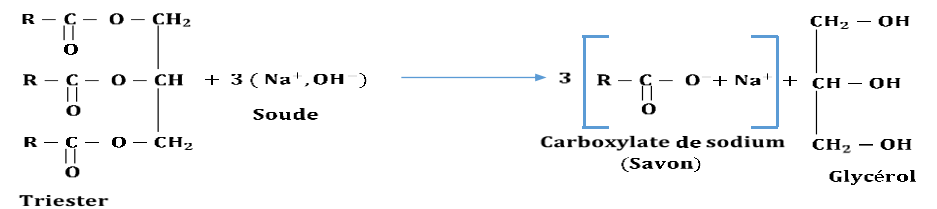
Après refroidissement de la solution obtenue, on ajoute de l'eau salée saturée pour faire précipiter le savon, on obtient un précipité blanchâtre : cette opération est appelée **un relargage**.



Par une filtration on sépare le savon puis on le sèche.

### 3.2. Conclusion

Les savons de formule générale  $(R - COO^- + Na^+)$  ou  $(R - COO^- + K^+)$  (carboxylate de sodium ou de potassium) sont obtenus par réaction de saponification de triesters. L'équation-bilan générale de la réaction de préparation d'un savon est :



**N.B :**

				<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Le savon a la propriété de détergent ;</li> <li>✓ Le savon est dit dur lorsque la base utilisée est la soude ;</li> <li>✓ Lorsqu'on utilise de la potasse on obtient du savon mou.</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Dans un laboratoire, un groupe d'élèves fait réagir du propan-1,2,3-triol sur de l'acide gras et obtient un composé <b>A</b> de formule semi-développée suivante :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 80%;"> <p>Un élève fait agir à chaud une solution concentrée d'hydroxyde de sodium sur le composé <b>A</b>. Après refroidissement du mélange réactionnel obtenu, il le verse dans une solution saturée de chlorure de sodium. Un précipité appelé savon se forme. Tu es désigné pour rédiger le rapport.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Etude du composé A           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Donne son nom.</li> <li>1.2. Ecris l'équation-bilan de la réaction entre le composé <b>A</b> et le glycérol (propan-1,2,3-triol).</li> <li>1.3. Donne le nom et les caractéristiques de cette réaction.</li> </ol> </li> <li>2. Donne La formule du savon formé.</li> <li>3. Calcule la masse du savon si l'on utilisait <b>30, 2 g</b> de composé <b>A</b>.</li> </ol> <p><b>Donnée</b> : Masses molaires en <math>g \cdot mol^{-1}</math> : Composé A : <math>M_A = 302</math> ; Savon : <math>M_{Savon} = 110</math></p> <p style="text-align: center;"><b>Résolution détaillée</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. La butyrine ;</li> <li>1.2.               <div style="text-align: center;"> <math display="block">\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{OH} \\   \\ \text{CH} - \text{OH} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} + 3 \left[ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{O}}{\underset{  }{\text{C}}} - \text{OH} \right] \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{O} - \underset{\text{O}}{\underset{  }{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH} - \text{O} - \underset{\text{O}}{\underset{  }{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \underset{\text{O}}{\underset{  }{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \end{array} + 3 \text{H}_2\text{O}</math> </div> </li> <li>1.3. La saponification ; réaction lente et totale.</li> </ol> </li> <li>2. <math>\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COO}^- + \text{Na}^+</math> : le butanoate de sodium</li> <li>3. Soit l'équation-bilan suivante : <math>\text{A} + 3 \text{NaOH} \rightarrow 3\text{S} + \text{G}</math> ; d'après le bilan molaire :</li> </ol> <math display="block">\frac{n_A}{1} = \frac{n_S}{3} \Rightarrow \frac{m_A}{M_A} = \frac{m_S}{3M_S} \Rightarrow m_S = \frac{3M_S \times m_A}{M_A} \text{ A.N : } m_S = \frac{3 \times 110 \times 30,2}{302} = 33 \text{ g}</math> </div> </div>

<b>Niveau/Classe : Tle D</b>	
<b>Thème : CHIMIE ORGANIQUE</b>	
<b>Compétence 5 : Traiter une situation se rapportant à la chimie organique</b>	
<b>Titre de la leçon : LES ACIDES <math>\alpha</math>-AMINES</b>	
<b>Durée : 2H (1 séance)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	les acides $\alpha$ -aminés
Connaitre	la nomenclature des principaux acides $\alpha$ -aminés
Connaitre	Les propriétés acido-basiques des acides $\alpha$ -aminés : - En solution aqueuse ; - En milieu acide ; - En milieu basique.
Définir	La liaison peptidique.
Interpréter	La réaction chimique entre deux acides $\alpha$ -aminés.
Connaitre	Les dipeptides et les peptides.
Définir	Les protéines.
Réaliser	La réaction de Biuret.
Interpréter	Quelques propriétés chimiques de la liaison peptidique : - La réaction de Biuret ; - L'hydrolyse de la liaison peptidique.

### **Situation d'apprentissage**

Des élèves d'une classe de Tle D découvrent au cours de leur recherche sur les acides, une autre fonction acide appelée acide  $\alpha$ -aminé. Poursuivant leur recherche ; ils apprennent que ces acides  $\alpha$ -aminés sont des molécules qui servent à fabriquer les protéines utilisés pour le fonctionnement du corps humain et sa construction. Ravis de leur découverte, ils en parlent à leurs camarades de classe. Ensemble, ils décident de connaître la nomenclature des acides  $\alpha$ -aminés, leurs propriétés chimiques, la liaison peptidique et les protéines.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Boîtes de modèles moléculaires ; papier pH ; pH-mètre ; - Glycine ; indicateurs colorés (hélianthine, BBT) ; - Panneau ; transparent ; - Réactif du Biuret (mine de pain, petit lait, solution de sulfate de cuivre, solution d'hydroxyde de sodium)	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### **PLAN DE LA LEÇON**

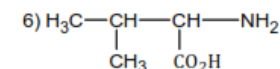
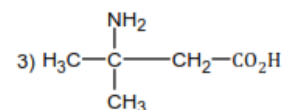
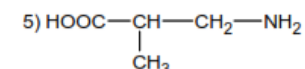
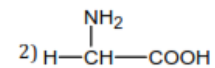
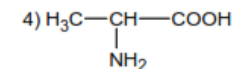
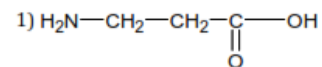
<b>1- <u>Définition des acides <math>\alpha</math> – aminés</u></b> <b>2- <u>Nomenclature des acides <math>\alpha</math> – aminés</u></b> <u>Nomenclature des principaux acides <math>\alpha</math> – aminés</u> <b><u>Activité d'application</u></b> <b>3- <u>Propriétés chimiques des acides <math>\alpha</math> – aminés</u></b> <b>4- <u>Synthèse d'un dipeptide</u></b> <u>Nomenclature de quelques dipeptides</u> <b>5- <u>Définition et formule générale des protéines</u></b> <b>6- <u>Mise en évidence des liaisons peptidiques</u></b>
<b>Situation d'évaluation</b>



humain. Celui-ci est incapable de leur synthétiser et doit impérativement les retrouver dans la nourriture.

### Activité d'application

Parmi les composés suivants indique les acides  $\alpha$  -aminés et nomme les.

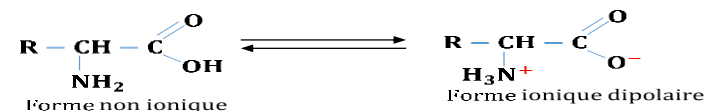


### Résolution

2) Acide 2-amino éthanoïque ; 4) Acide 2-amino propanoïque ; 6) Acide 2-amino 3-méthylbutanoïque.

### 3. Propriétés chimiques des acides $\alpha$ -aminés

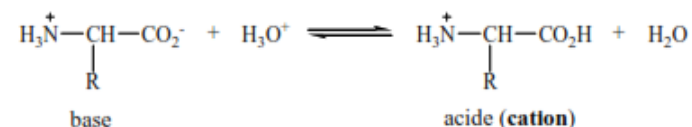
Les acides  $\alpha$  -aminés sont très solubles dans l'eau. Il existe un équilibre chimique entre la molécule neutre et un ion dipolaire :



L'ion dipolaire est appelé **Amphion** ou **Zwitterion**. En solution aqueuse, un acide  $\alpha$  -aminé existe généralement sous la forme amphionique.

Au point de vue acido-basique, l'Amphion peut être considéré :

➤ Soit comme une base (susceptible de capter un proton  $\text{H}^+$ ) de par son groupe  $-\text{COO}^-$  :



➤ Soit comme un acide (susceptible de céder un proton  $H^+$ ) de par son groupe  $-NH_3^+$  :



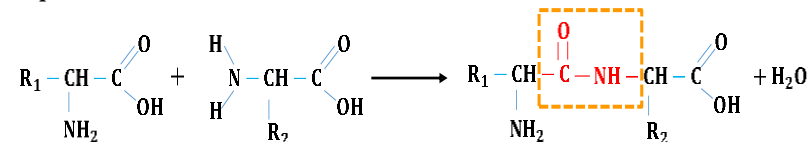
Les acides  $\alpha$  -aminés, réagissant soit comme des acides soit comme des bases, sont dits **espèces amphotères**.

En solution aqueuse, les acides  $\alpha$  -aminés existent essentiellement sous les formes Amphion, cation et anion. **La prédominance** d'une des trois formes est liée au **pH**.

#### 4. Synthèse d'un dipeptide

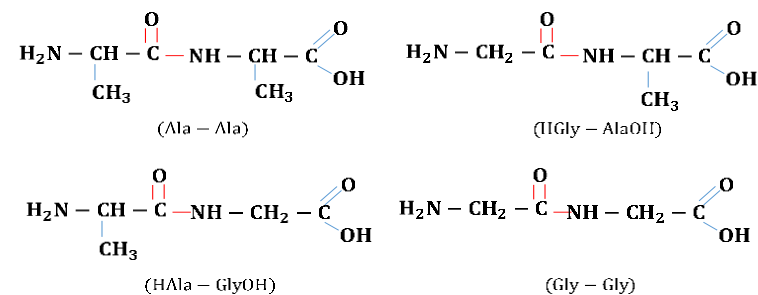
Deux acides  $\alpha$  -aminés peuvent se lier entre eux pour former un corps appelé **dipeptide** suite à une élimination d'une molécule d'eau.

Selon l'équation-bilan :



Le groupement  $\begin{array}{c} O \\ || \\ -C - NH - \end{array}$  reliant les deux acides  $\alpha$  -aminés est appelé **liaison peptique**.

#### Nomenclature de quelques dipeptides



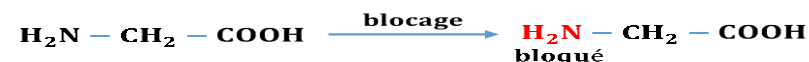
**N.B :**

La réaction entre deux acides  $\alpha$  –aminés conduit à priori à l'obtention de quatre dipeptides. Cette réaction peut se poursuivre et conduire à la formation de **polypeptides**.

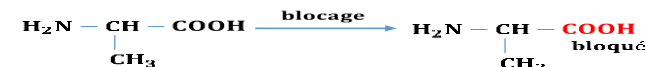
La synthèse sélective d'un dipeptide nécessite donc le **blocage** (ou **désactivation**) et l'**activation** des groupes amino ( $-\text{NH}_2$ ) et carboxyle ( $-\text{COOH}$ ) qui entre dans la formation de la liaison peptidique ; les fonctions à bloquer ou à activer dépendant du dipeptide à synthétiser.

**Exemple** : synthèse de la glycylalanine à partir de la glycine et de l'alanine

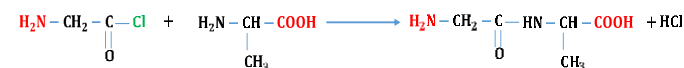
- ✓ Blocage de la fonction amine et activation de la fonction carboxyle de la glycine



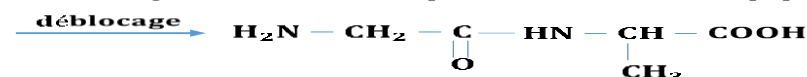
- ✓ Blocage de la fonction carboxyle de l'alanine



- ✓ Réaction de la glycine avec l'alanine

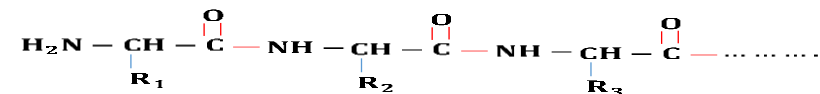


- ✓ Déblocage des fonctions bloquées et obtention du dipeptide



### 5. Définition et formule générale des protéines

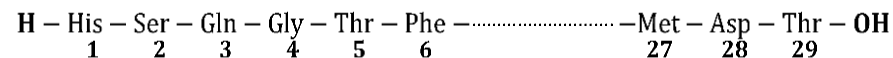
Les protéines sont des macromolécules naturels constituées par l'enchaînement (ou la condensation) d'acides  $\alpha$  –aminés reliés eux par des liaisons peptidiques. On peut les considérer comme des polyamides. La formule générale d'une protéine s'écrit :



Les groupements  $R_1, R_2, R_3, \text{etc.}$ , sont appelés résidus. Leur ordre est rigoureusement défini pour chaque protéine.

La formule générale d'une protéine peut être simplifiée en représentant les  $\alpha$  –amino acides par leur abréviation.

**Exemple :** le glucagon, hormone hyperglycémiant. Cette hormone est obtenue par la condensation de 29  $\alpha$  –amino acides.



Le premier acide  $\alpha$  –aminé porte le groupe **amino**  $-\text{NH}_2$  et le dernier porte le groupe **carboxyle**  $-\text{CO}_2\text{H}$ .

**N.B. :** les peptides (polypeptides) (petites protéines) sont aussi des polyamides.

	Nombre d'acides $\alpha$ –aminés constitutifs	Masse molaire
Polypeptides	Au maximum 50 à 100 molécules	$< 10 \text{ kg. mol}^{-1}$
protéines	Plus de 50 à 100 molécules	$> 10 \text{ kg. mol}^{-1}$

## 6. Mise en évidence des liaisons peptidiques

### 6.1. La réaction de biuret

La réaction de Biuret est le test caractéristique de la liaison peptidique. Elle n'lieu qu'avec des polypeptides comportant au moins deux liaisons peptidiques.

Avec une solution de sulfate de cuivre en milieu basique (soude concentrée), la présence de la liaison peptidique est mise en évidence par l'apparition d'une coloration violette.

### 6.2. Hydrolyse de la liaison peptidique

En milieu acide, les molécules d'eau coupent toutes les liaisons peptiques d'un polypeptide en libérant les différents acides  $\alpha$  –aminés constitutifs. Cette réaction est l'inverse de la formation des



<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : SOLUTIONS AQUEUSES – NOTION DE pH</b>	
<b>Durée : 4H (2 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Quelques propriétés de l'eau.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction d'autoprotolyse de l'eau.
Définir	Le produit ionique de l'eau.
Déterminer	- La concentration molaire volumique d'une espèce chimique en solution aqueuse. - La concentration massique volumique d'une espèce en solution.
Vérifier	L'électroneutralité d'une solution aqueuse.
Définir et Détermine	Le pH d'une solution aqueuse.
Connaître	La limite de validité de la relation : $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ .
Utiliser	- L'expression du produit ionique de l'eau. - L'électroneutralité d'une solution aqueuse. - La relation de conservation de la matière.
Classer	Les solutions aqueuses en fonction de leur pH.

### **Situation d'apprentissage**

Une élève de Terminale D du Lycée, 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 des solutions aqueuses et de les classer.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Alimentation continue ; Galvanomètre ; Balance - Electrolyseur ; Fiole jaugée ; Composé ionique ( $\text{CuSO}_4$ , $\text{CuCl}_2$ ou $\text{BaCl}_2$ ) ; Eau distillé ; pH-mètre ; Papier pH - Verrerie (fioles jaugées, pipettes jaugées, béchers, ballons à fond plat,) - Solution d'acide ; Solution de base ; Boissons diluées ; Produits domestiques dilués ; Solutions tampons	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

<b>PLAN DE LA LEÇON</b>	
<b>1- Solutions aqueuses</b> 1.1- <u>Définition</u> 1.2- <u>Concentration dans une solution aqueuse</u> <b>1.2.1- Concentration molaire volumique</b> ➤ <u>Concentration d'une solution</u> ➤ <u>Concentration molaire d'une espèce chimique</u> <b>Activité d'application 1 :</b> <b>1.2.2- Concentration massique</b> 1.3- <u>Dilution des solutions</u>	<b>Activité d'application 2 :</b> 1.4- <u>Autoprotolyse de l'eau</u> 1.5- <u>Produit ionique de l'eau</u> <b>2- pH d'une solution aqueuse</b> 2.1- <u>Définition</u> 2.2- <u>Mesure du pH d'une solution aqueuse</u> 2.3- <u>Classification des solutions aqueuse en fonction du pH</u> <b>Représentation de l'échelle de pH</b>
<b>Situation d'évaluation</b>	

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>SOLUTIONS AQUEUSES – NOTION DE pH</b></p> <p><b>1. Solutions aqueuses</b></p> <p>1.1. <u>Définition</u>            Une solution aqueuse s'obtient en dissolvant un ou plusieurs <b>solutés</b> dans l'eau qui est le <b>solvant</b>.</p> <p><b>N.B :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le soluté peut être sous forme d'un solide ionique (NaCl, BaCl<sub>2</sub>, NaOH, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>, etc...) ou sous forme d'un composé moléculaire polaire (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, etc...).</li> <li>➤ L'eau solvant polaire dissout les solutés selon les étapes suivantes : L'ionisation du composé ou la dissociation du solide ; L'hydratation (solvatation) et La dispersion des ions formés.</li> <li>➤ La solution aqueuse obtenue est électriquement neutre d'où l'équation d'électroneutralité de façon générale : <math>\sum(\alpha[X^{\alpha+}]) = \sum(\beta[Y^{\beta-}])</math>. avec X<sup>α+</sup> : espèce chargées positivement ; Y<sup>β-</sup> : espèces chargées négativement.</li> </ul> <p>1.2. <u>Concentration dans une solution aqueuse</u></p> <p><b>1.2.1. Concentration molaire volumique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <u>Concentration d'une solution</u>            La concentration <b>C</b> d'une solution de volume <b>V</b>, obtenue en dissolvant une quantité de matière <b>n</b> d'un soluté est donné par la relation :  <math display="block">C = \frac{n}{V}</math>           avec C en (mol/L), n en (mol) et V en (L).</li> <li>➤ <u>Concentration molaire d'une espèce chimique</u>            La concentration d'une espèce chimique <b>A</b> dans un volume V de solution, notée [A], est égale au quotient de la quantité de matière <b>n<sub>A</sub></b> dissoute da <b>A</b> par le volume V : <math>[A] = \frac{n_A}{V}</math> avec [A] en (mol/L).</li> </ul>

**Remarques :**

- ✓ La concentration **C** d'une solution exprime de quelle manière la solution a été préparée.
- ✓ La concentration **[A]** d'une espèce chimique **A** exprime la quantité de matière de **A** effectivement présente dans un litre de solution.

**Activité d'application 1 :**

On obtient 250 ml d'une solution de sulfate d'aluminium  $\{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\}$  en dissolvant une masse  $m = 17,1$  g de  $\{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\}$ .

- 1) Détermine la concentration molaire **C** de la solution.
- 2) En déduis la concentration molaire en ions aluminium et sulfate de cette solution.
- 3) Montre que la solution est électriquement neutre.

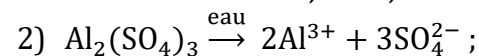
**Résolution détaillée**

- 1) la concentration molaire **C** de la solution :

$$C = \frac{n}{V} \text{ comme } n = \frac{m}{M} \Rightarrow C = \frac{m}{MV}$$

$$\text{A.N : } M = (2 \times 27) + 3 \times (32,1 + (4 \times 16)) = 342,3 \text{ g/mol}$$

$$C = \frac{17,1}{342,3 \times 0,25} = 0,199 \approx 0,2 \text{ mol/L}$$



$$[\text{Al}^{3+}] = 0,40 \text{ mol/L}; \quad [\text{SO}_4^{2-}] = 0,6 \text{ mol/L.}$$

- 3) Le sulfate d'aluminium est un cristal ionique (donc totalement dissocié en solution).

Le nombre de charges positives dans la solution est :  $N(+)$  =  $n_{\text{Al}^{3+}} \times q_{\text{Al}^{3+}}$   
 $q_{\text{Al}^{3+}} = 3n_{\text{Al}^{3+}}$

Le nombre de charges négatives dans la solution est :  $N(-)$  =  $n_{\text{SO}_4^{2-}} \times q_{\text{SO}_4^{2-}}$   
 $q_{\text{SO}_4^{2-}} = 2n_{\text{SO}_4^{2-}}$

La solution est électriquement neutre

$\Rightarrow N(+)$  =  $N(-)$  soit  $3n_{\text{Al}^{3+}} = 2n_{\text{SO}_4^{2-}}$ . en divisant par le volume  $V$  on a :  
 $3[\text{Al}^{3+}] = 2[\text{SO}_4^{2-}]$  A.N :

**1.2.2. Concentration massique**

La concentration massique est le quotient de la masse dissoute  $m_A$  d'une substance A par le volume  $V$  de la solution :  $\mathcal{C}_A = \frac{m_A}{V}$  avec  $\mathcal{C}_A$  en (g/L) ;  $V$  en (L) et  $m_A$  en (g).

**Remarque :**  $\mathcal{C}_A = \frac{m_A}{V}$  or  $m_A = n_A \times M(A) \Rightarrow \mathcal{C}_A = \frac{n_A \times M(A)}{V} = C \cdot M$

**1.3. Dilution des solutions**

La dilution d'une solution consiste à augmenter le volume de cette solution. Cela entraîne la variation de la concentration des espèces chimiques qu'elle contient.

**Remarque :** au cours de la dilution, la quantité de matière des solutés ne change pas.

$$n_f = n_i \Rightarrow C_f V_f = C_i V_i \text{ soit } C_f = \frac{C_i V_i}{V_f}.$$

**Activité d'application 2 :**

Une solution **A** a une concentration volumique  $C_i = 1 \text{ mol/L}$ . Détermine le volume d'eau que l'on doit ajouter à 10 mL de A pour obtenir une concentration finale de 0,1 mol/L.

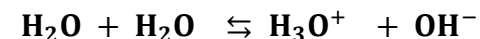
**Résolution détaillée :**

$$\text{On a : } C_f V_f = C_i V_i \Rightarrow V_f = \frac{C_i V_i}{C_f} \text{ AN : } V_f = \frac{1 \times 10}{0,1} = 100 \text{ mL or } V_f = V_i + V_{\text{eau}}$$

$$V_{\text{eau}} = 100 - 10 = 90 \text{ mL}$$

**1.4. Autoprotolyse de l'eau**

L'eau pure est très peu conductrice du courant électrique. Cette faible conductibilité s'explique par l'existence d'ions en faible concentration. Ces ions proviennent de l'ionisation partielle des molécules d'eau conduisant à l'équilibre chimique suivant :



$\mathbf{H_3O^+}$  : ion hydronium ou oxonium ;  $\mathbf{OH^-}$  : ion hydroxyde.

Cette réaction est appelée **autoprotolyse de l'eau**.

### 1.5. Produit ionique de l'eau

Dans une solution aqueuse quelconque, le produit des concentrations en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  reste constant à une température donnée. Ce produit noté **Ke** est appelé **produit ionique de l'eau**.

$$\text{Ke} = [\text{H}_3\text{O}^+].[\text{OH}^-]$$

**Ke** est une grandeur **sans unité**, sa valeur augmente avec la température.

**Remarque** : A 25°C,  $\text{Ke} = 10^{-14}$ ; À 30°C  $\text{Ke} = 1,48.10^{-14}$ .

## 2. pH d'une solution aqueuse

### 2.1. Définition

Le pH caractérise la concentration en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  d'une solution aqueuse.

Le pH est défini par la relation :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \Leftrightarrow \text{pH} = -\text{Log}([\text{H}_3\text{O}^+]).$$

**Remarque** : en toute rigueur cette relation n'est valable que pour des solutions suffisamment diluées ( $10^{-6} \text{ mol/L} \leq [\text{H}_3\text{O}^+] \leq 10^{-1} \text{ mol/L}$ ).

### 2.2. Mesure du pH d'une solution aqueuse

Le pH d'une solution aqueuse peut se mesurer de deux façons :

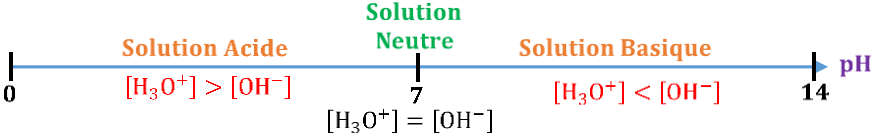
➤ Par la mesure **électrique** avec le **pH-mètre** ;

Le pH-mètre est un voltmètre qui mesure la tension entre deux électrodes (demi-piles) :

- ✓ Electrode de référence ou standard dont le potentiel est constant.
- ✓ Electrode de verre dont le potentiel dépend du pH de la solution.

Ces deux électrodes peuvent être combinées ou séparées.

➤ Par la mesure **colorimétrique** avec le **papier pH**.

				<p>2.3. <u>Classification des solutions aqueuse en fonction du pH</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Une solution est neutre du point de vue acido-basique si elle contient autant d'ions <math>\text{H}_3\text{O}^+</math> que d'ions <math>\text{OH}^-</math> (<math>[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]</math>).</li> </ul> <p><b>Remarque</b> : à 25°C, <math>K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{OH}^-] = 10^{-14}</math> ; solution neutre  <math>\Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] \Rightarrow K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_e} = 10^{-7} \text{ mol/L}</math>  <math>\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 7 \Rightarrow</math> A 25°C, le pH d'une solution neutre est <b>égale à 7</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Une solution est acide si elle contient plus d'ions <math>\text{H}_3\text{O}^+</math> que d'ions <math>\text{OH}^-</math> (<math>[\text{H}_3\text{O}^+] &gt; [\text{OH}^-]</math>).</li> </ul> <p><b>Remarque</b> : à 25°C, le ph d'une solution acide est <b>inférieure à 7</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Une solution est basique si elle contient moins d'ions <math>\text{H}_3\text{O}^+</math> que d'ions <math>\text{OH}^-</math> (<math>[\text{H}_3\text{O}^+] &lt; [\text{OH}^-]</math>).</li> </ul> <p><b>Remarque</b> : à 25°C, le pH d'une solution basique est <b>supérieure à 7</b>.</p> <p style="text-align: center;"><b>Représentation de l'échelle de pH</b></p> 
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>On dissout une masse <math>m_1 = 406,6 \cdot 10^{-3} \text{ g}</math> de chlorure de magnésium cristallisé de formule <math>\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math> dans un volume <math>V = 4 \text{ L}</math> d'eau pure; on obtient une solution <math>S_1</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ecris l'équation de la dissolution totale de ce corps dans l'eau.</li> <li>2. Calcule la concentration molaire de chaque ion dans la solution <math>S_1</math> et son pH.</li> <li>3. On prélève en suite un volume <math>V_1 = 100 \text{ mL}</math> de la solution <math>S_1</math> auxquels on ajoute <math>V_g = 89,6 \cdot 10^{-3} \text{ L}</math> de gaz <math>\text{HCl}</math> puis, de l'eau pure jusqu'à obtenir une solution <math>S_2</math> de <math>V_2 = 4 \text{ L}</math>. Calcule :       <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. la concentration de chaque ion dans la solution <math>S_2</math>.</li> <li>3.2. Le pH de la solution <math>S_2</math>.</li> </ol> </li> </ol>

4. Dans 200 mL de la solution  $S_2$ , on ajoute  $V' = 300$  mL d'une solution de bromure de calcium ( $\text{CaBr}_2$ ) à  $C' = 2 \cdot 10^{-3}$  mol/L ; on obtient une solution  $S_3$ .

4.1. Calcule le volume  $V_3$  de la solution  $S_3$ .

4.2. Cite les ions présents dans la solution  $S_3$ .

4.3. Montre que la solution  $S_3$  est électriquement neutre.

**N.B.**: dans cet exercice toutes les solutions sont à  $25^\circ\text{C}$ .

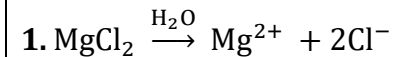
On donne :

- Volume molaire  $V_m = 22,4$  L.  $\text{mol}^{-1}$  ;

- Masses atomiques molaires :  $M(\text{Cl})=35,5$  g/mol ;  $M(\text{Mg})=24,3$  g/mol ;

$M(\text{O})=16$  g/mol ;  $M(\text{H})=1$  g/mol

### Résolution détaillée



2. Inventaire des ions :  $\text{H}_3\text{O}^+$  ;  $\text{OH}^-$  ;  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Cl}^-$

A  $25^\circ\text{C}$   $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  car eau pure.

$\frac{[\text{Cl}^-]}{2} = [\text{Mg}^{2+}] = [\text{MgCl}_2]$  dissociation totale  $\Rightarrow$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{m_1}{M_1 V} \text{AN : } M_1 = 24,3 + (2 \times 35,5) + (6 \times 18) = 203,3 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{406,6 \cdot 10^{-3}}{203,3 \times 4} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L ; } [\text{Cl}^-] = 2 \times 5 \cdot 10^{-4} = 10^{-3} \text{ mol/L.}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 7.$$

3.

3.1.



Inventaire des ions dans la solution  $S_2$ :  $\text{H}_3\text{O}^+$  ;  $\text{OH}^-$  ;  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Cl}^-$ .

$\text{H}_3\text{O}^+$  proviennent du  $\text{HCl} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HCl}] = \frac{n}{V_2}$  comme  $n = \frac{V_g}{V_m} \Rightarrow$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{V_g}{V_2 V_m} ; [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{K_e \cdot V_2 \cdot V_m}{V_g} ; [\text{Mg}^{2+}] = \frac{n_1}{V_2} = \frac{m_1 V_1}{M_1 V V_2} ;$$

$\text{Cl}^-$  proviennent de  $\text{MgCl}_2$  et  $\text{HCl} \Rightarrow [\text{Cl}^-] = 2 \frac{n_1}{V_2} + \frac{V_g}{V_2 V_m} = \frac{V_g}{V_2 V_m} + \frac{2m_1 V_1}{M_1 V V_2}$

$$A.N : [H_3O^+] = \frac{89,6 \cdot 10^{-3}}{4 \times 22,4} = 10^{-3} \text{ mol/L};$$

$$[OH^-] = \frac{10^{-14} \times 4 \times 22,4}{89,6 \cdot 10^{-3}} = 10^{-11} \text{ mol/L};$$

$$[Mg^{2+}] = \frac{5 \cdot 10^{-4} \times 0,1}{4} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L};$$

$$[Cl^-] = 10^{-3} + (2 \times 1,25 \cdot 10^{-5}) = 10,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}.$$

$$3.2. \text{pH} = -\log[H_3O^+] = 3$$

4.

$$4.1. V_3 = 200 + V' = 500 \text{ mL}.$$

4.2. les ions présents dans la solution  $S_3$ :  $H_3O^+$ ;  $OH^-$ ;  $Mg^{2+}$ ;  $Cl^-$ ;  $Ca^{2+}$ ,  $Br^-$ .

$$4.3. N(+)=n_{H_3O^+} + 2n_{Mg^{2+}} + 2n_{Ca^{2+}}; N(-)=n_{OH^-} + n_{Cl^-} + n_{Br^-}$$

$$n_{H_3O^+} = [H_3O^+]V_2 =$$

#### Evaluation à faire à la maison

On dispose de quatre(4) solutions  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_4$  à 25°C où le produit ionique de l'eau  $K_e = 10^{-14}$ . Pour préparer la solution  $S_1$  l'on a dilué 10 fois une solution mère de  $KNO_3$  à 5 mol/L. La préparation de la solution  $S_2$  a nécessité la mise en solution de 8 mol de  $Ca(NO_3)_2$  dans 10 L d'eau. On a dissous une masse  $m = 37,25$  g de  $KCl$  solide dans 0,5 L d'eau pour obtenir la solution  $S_3$ .  $S_4$  est une solution de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  de concentration molaire  $C_4$ .

Dans un ballon de volume  $V = 1$  L, on introduit  $V_1 = 0,10$  L de la solution  $S_1$ ,  $V_2 = 0,125$  L de la solution  $S_2$ ,  $V_3 = 0,20$  L de la solution  $S_3$  et un volume  $V_4$  contenant 0,2 mol de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  de la solution  $S_4$ . Après homogénéisation, on complète le mélange avec  $V_e = 0,075$  L d'eau distillée jusqu'au trait de jauge pour obtenir une solution  $S$ .

1) Ecris l'équation-bilan de la dissolution de chaque soluté.

2) Calcule :

2.1) Le volume  $V_4$ .

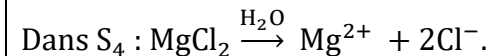
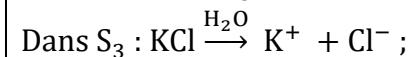
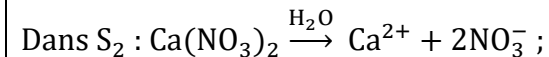
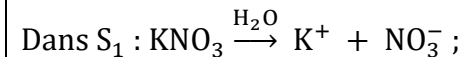
2.2) Les concentrations respectives  $C_1, C_2, C_3$  et  $C_4$  des solutions  $S_1, S_2, S_3$  et  $S_4$ .

2.3) La concentration molaire de chaque espèce ionique (différente de  $H_3O^+$  et  $OH^-$ ) dans la solution  $S$ .

**Donnée** : masse atomique moléculaire en  $g.mol^{-1}$  :  $M_H = 1, M_O = 16, M_{Mg} = 24,3, M_N = 14, M_{Cl} = 35,5, M_K = 39$ .

**Résolution détaillée**

1)



2)

$$2.1) \quad \text{On a } V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_e \Rightarrow V_4 = V - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_e) \text{ A.N : } V_4 = 1 - (0,1 + 0,125 + 0,2 + 0,075) = 0,5 \text{ L}$$

2.2)

$$C_1 = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ mol. L}^{-1} ; C_2 = \frac{8}{10} = 0,8 \text{ mol. L}^{-1} ; C_3 = \frac{37,25}{74,5 \times 0,5} =$$

$$1 \text{ mol. L}^{-1} ; C_4 = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ mol. L}^{-1} .$$

2.3)

Inventaire :  $K^+, NO_3^-, Ca^{2+}, Cl^-, Mg^{2+}$ .

$$[K^+] = \frac{C_1 V_1 + C_3 V_3}{V} = 0,25 \text{ mol. L}^{-1} ;$$

$$[NO_3^-] = \frac{C_1 V_1 + 2C_2 V_2}{V} = 0,25 \text{ mol. L}^{-1} ;$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{C_2 V_2}{V} = 0,1 \text{ mol. L}^{-1} ;$$

$$[Cl^-] = \frac{C_3 V_3 + 2C_4 V_4}{V} = 0,6 \text{ mol. L}^{-1} ;$$

$$[Mg^{2+}] = \frac{C_4 V_4}{V} = 0,2 \text{ mol. L}^{-1}$$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : ACIDE FORT - BASE FORTE</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 4H (2 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un acide fort.
Citer	Quelques mono acides forts.
Connaître	Les caractéristiques de la réaction d'ionisation d'un acide fort dans l'eau.
Écrire	L'équation-bilan de la réaction d'ionisation d'un acide fort dans l'eau.
Connaître	- La relation $\text{pH} = -\log C$ pour un monoacide fort. - les limites de validité de la relation $\text{pH} = -\log C$ .
Définir	Une base forte.
Citer	Quelques mono bases fortes.
Connaître	Les caractéristiques de la réaction de dissolution d'une monobase forte dans l'eau.
Écrire	L'équation-bilan de la réaction de dissolution d'une monobase forte dans l'eau.
Connaître	- La relation $\text{pH} = 14 + \log C$ pour une monobase forte. - les limites de validité de la relation $\text{pH} = 14 + \log C$ .
Utiliser	les relations $\text{pH} = -\log C$ et $\text{pH} = 14 + \log C$ .
Connaître	L'utilité domestique des acides forts et des bases fortes.
Déterminer	- La nature d'un mélange d'une solution d'acide fort et de base forte. - Les concentrations molaires volumiques présentes dans un mélange de solutions aqueuses.
Calculer	Le pH d'un mélange : - De deux solutions d'acide fort ; - De deux solutions de base forte ; - D'une solution d'acide fort et d'une solution de base forte.
Exploiter	Les équations-bilans des réactions de dissolution d'un acide fort et d'une base forte.

### **Situation d'apprentissage**

Un élève de la Terminale C/D du Lycée se rend dans un supermarché pour des achats. Il lit sur les étiquettes de quelques bouteilles contenant des produits de nettoyage, les informations suivantes : « ACIDE CHLORHYDRIQUE-DETARTRANT-DECAPANT » et « LESSIVE DE SOUDE – DECAPANT ». Il ne comprend pas les inscriptions portées sur les étiquettes de ces produits.

Le lendemain, il partage ces informations avec ses camarades de classe. Ensemble, ils décident de s'informer sur les solutions aqueuses de chlorure d'hydrogène et d'hydroxyde de sodium, d'écrire les équation-bilans de leurs réactions chimiques avec l'eau et de déterminer les pH de ces solutions aqueuses et de leur mélange.

<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Chlorure d'hydrogène gazeux ; Solution de HCl ; NaOH solide Solution de NaOH ; Solution de nitrate d'argent ; Eau distillée - Alimentation continue - Electrolyseur ; Multimètres ; Thermomètre ; pH-mètre ; Papier pH ; Ballon + accessoires ; Cristalliseur ; - Verre à pied - Indicateurs colorés ;	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Acide fort**

1.1- Etude de la solution d'acide chlorhydrique

**1.1.1- Expériences et observations**

**1.1.2- Conclusion**

1.2- Etude quantitative

**1.2.1- Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution**

**1.2.2- Calcul des concentrations des espèces chimiques**

**1.2.3- Conclusion**

1.3- Définition d'un acide fort

1.4- pH d'un acide fort

**1.4.1- Expérience**

**1.4.2- Observation**

**1.4.3- Généralisation**

**Activité d'application 1****2- Base fort**

2.1- Etude de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

**2.1.1- Expériences et observations**

**2.1.2- Conclusion**

2.2- Etude quantitative

**2.2.1- Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution**

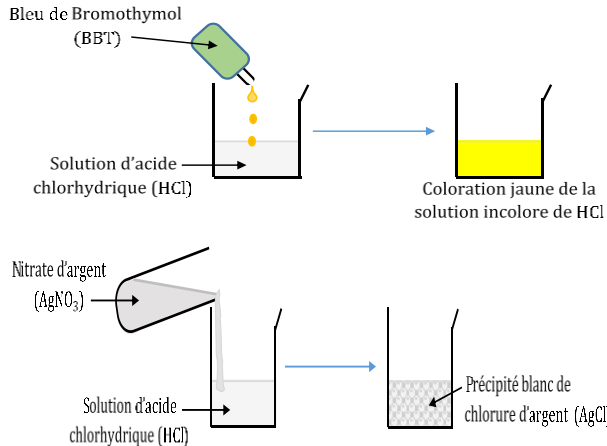
**2.2.2- Calcul des concentrations des espèces chimiques**

**2.2.3- Conclusion**

2.3. Définition d'une base forte

2.4. pH d'une base forte

**Activité d'application 2 :****3- Mélange Acide fort-Base fort****Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>ACIDE FORT – BASE FORTE</b></p> <p><b>1. Acide fort</b></p> <p>1.1. <u>Etude de la solution d'acide chlorhydrique</u></p> <p><b>1.1.1. <u>Expériences et observations</u></b></p> <p>La solution d'acide chlorhydrique est obtenue par dissolution du chlorure d'hydrogène (HCl) gazeux dans l'eau. (Réaction très exothermique).</p>  <p>- Le BBT fait virer au jaune la solution : la solution de (HCl) est acide. Il y a un excès d'ions <math>H_3O^+</math> ;</p> <p>- La formation du précipité blanc de chlorure d'argent (AgCl) montre la présence d'ions <math>Cl^-</math>.</p> <p><b>1.1.2. <u>Conclusion</u></b></p> <p>Le chlorure d'hydrogène (HCl) se dissout dans l'eau en s'ionisant pour donner les ions <math>H_3O^+</math> et <math>Cl^-</math>.</p> <p>1.2. <u>Etude quantitative</u></p> <p>Considérons une solution <math>S_1</math> d'acide chlorhydrique de concentration <math>C_a = 10^{-2}</math> mol/L. La mesure du pH de la solution à 25°C donne pH=2.</p>

### 1.2.1. Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution

Les espèces chimiques présentes dans la solution  $S_1$  sont :

Ions :  $H_3O^+$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$       Molécules :  $H_2O$ ,  $(HCl)_{restant}$ .

### 1.2.2. Calcul des concentrations des espèces chimiques

➤  $pH=2 \Rightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH} \Rightarrow [H_3O^+] = 10^{-2} \text{ mol/L}$ .

➤  $Ke = [H_3O^+]. [OH^-] \Rightarrow [OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]}$ .

à  $25^\circ C$ ,  $Ke = 10^{-14} \Rightarrow [OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = 10^{-12} \text{ mol/L}$ .

### Remarque :

Soit deux espèces chimiques **A** et **B**.

✓ Si  $\frac{[A]}{[B]} \leq 10^{-2}$ , l'espèce chimique **A** est **minoritaire** devant l'espèce chimique **B**. **B** est alors **majoritaire** devant **A**.

✓ Si  $\frac{[A]}{[B]} \leq 10^{-4}$ , l'espèce chimique **A** est **ultra-minoritaire** devant l'espèce chimique **B**. **B** est alors **ultra-majoritaire** devant **A**.

Les concentrations des espèces minoritaires et ultra-minoritaires seront négligées dans les équations d'électroneutralité des solutions.

➤ Electroneutralité de la solution :

$[H_3O^+] = [OH^-] + [Cl^-] \Rightarrow [Cl^-] = [H_3O^+] - [OH^-]$  comme  $[OH^-] \ll [H_3O^+]$  on a :  $[Cl^-] \approx [H_3O^+] = 10^{-2} \text{ mol/L}$ .

➤ Conservation de la matière :

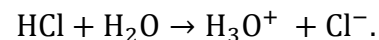
$C_{HCL} = C_a = [Cl^-] + [HCl]_{restant} \Rightarrow [HCl]_{restant} = C_a - [Cl^-] = 10^{-2} - 10^{-2} = 0 \Rightarrow [HCl]_{restant} = 0$ .

Il n'y a plus de molécules de HCl dans la solution d'acide chlorhydrique.

### 1.2.3. Conclusion

La réaction d'ionisation du chlorure d'hydrogène est une réaction

**totale** : on dit que HCl est un acide fort ; d'où l'équation-bilan :



### 1.3. Définition d'un acide fort

Un acide **AH** est dit **fort** en solution aqueuse si sa réaction avec l'eau est **totale**.  $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ .

**Exemples :**

- **Monoacides** : HCl(acide chlorhydrique) ; HBr(acide bromhydrique) ; HI(acide iodhydrique) ; HNO<sub>3</sub>(acide nitrique)..
- **Diacide** : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(acide sulfurique).

1.4. pH d'un acide fort

**1.4.1. Expérience**

On dispose de plusieurs solutions d'acide chlorhydrique de concentration **C** différentes. La mesure des pH de ces solutions est renseignée dans le tableau suivant :

Solution : C (mol. L <sup>-1</sup> )	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
pH mesuré	1,1	2	3	4	5	6	6,8	7
$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$	10 <sup>-1,1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6,8</sup>	10 <sup>-7</sup>

**1.4.2. Observation**

Pour les concentrations C telle que  $10^{-6} \text{ mol. L}^{-1} \leq C < 10^{-1} \text{ mol. L}^{-1}$ , on a  $[\text{H}_3\text{O}^+] = C \Rightarrow \text{pH} = -\log C$ .

**1.4.3. Généralisation**

Pour toute solution aqueuse d'un monoacide fort de concentration **C<sub>a</sub>** :  $[\text{H}_3\text{O}^+] = \text{C}_a$  et **pH** = -log C<sub>a</sub> si  $10^{-6} \text{ mol. L}^{-1} \leq \text{C}_a < 10^{-1} \text{ mol. L}^{-1}$ .

**N.B** : pour un diacide fort :  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2\text{C}_a$  et **pH** = -log(2C<sub>a</sub>)

**Activité d'application**

Une solution aqueuse d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) de concentration molaire  $\text{C}_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$  a un pH = 1,5.

1. Montre l'acide nitrique est un acide fort.
2. En déduit l'équation de sa réaction avec l'eau.

3. Donne les espèces chimiques en solution et calcule leur concentration molaire.

**Résolution :**

1. On a  $\text{pH} = 1,5$ .  $-\log C_1 = 1,5 \Rightarrow \text{ppH} = -\log C_1$  d'où  $\text{HNO}_3$  acide fort.

2.  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$ .

3. espèces chimiques en solution :  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ .

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1,5} = 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1};$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 10^{(\text{pH}-14)} = 3,16 \cdot 10^{-13} \text{ mol. L}^{-1};$$

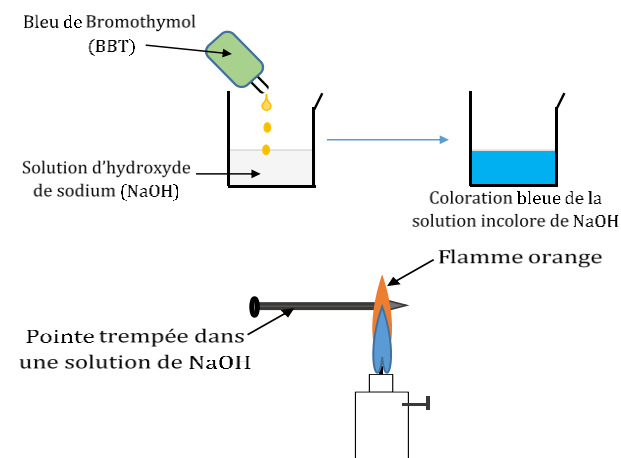
ENS :  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{NO}_3^-] + [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{NO}_3^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-]$  comme  $[\text{OH}^-] \ll [\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow [\text{NO}_3^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$ .

**2. Base forte**

2.1. Etude de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

**2.1.1. Expériences et observations**

La solution d'hydroxyde de sodium (soude) est obtenue par dissolution du (NaOH) solide dans l'eau. (Réaction très exothermique)



- Le BBT fait virer au bleu la solution : la solution de (NaOH) est basique. Il y a un excès d'ions  $\text{OH}^-$  ;

- La flamme orange indique la présence des ions  $\text{Na}^+$ .

**2.1.2. Conclusion**

L'hydroxyde de sodium (NaOH) se dissout dans l'eau pour donner les ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{Na}^+$ .

**2.2. Etude quantitative**

Considérons à 25°C une solution  $S_2$  d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_b = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$ . La mesure de son pH donne  $\text{pH} = 12$ .

**2.2.1. Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution**

Les espèces chimiques présentes dans la solution  $S_2$  sont :

Ions :  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Na}^+$       Molécules :  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NaOH})_{\text{restant}}$ .

**2.2.2. Calcul des concentrations des espèces chimiques**

➤  $\text{pH} = 12 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-12} \text{ mol. L}^{-1}$ .

➤  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]. [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$  ; à 25°C,  $K_e = 10^{-14}$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}.$$

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-12}}{10^{-2}} = 10^{-10} \leq 10^{-4} \Rightarrow [\text{OH}^-] \text{ est ultra-majoritaire devant } [\text{H}_3\text{O}^+]$$

➤ Electroneutralité de la solution :

$[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$  comme  $[\text{OH}^-] \gg [\text{H}_3\text{O}^+]$  on a :  $[\text{Na}^+] \approx [\text{OH}^-] = 10^{-2} \text{ mol/L}$ .

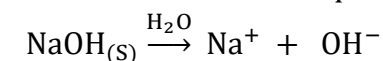
➤ Conservation de la matière :

$$C_{\text{NaOH}} = C_b = [\text{Na}^+] + [\text{NaOH}]_{\text{restant}} \Rightarrow [\text{NaOH}]_{\text{restant}} = C_b - [\text{Na}^+] = 10^{-2} - 10^{-2} = 0 \Rightarrow [\text{NaOH}]_{\text{restant}} = 0.$$

Il n'y a plus de molécules de NaOH dans la solution d'hydroxyde de sodium.

**2.2.3. Conclusion**

La dispersion de l'hydroxyde de sodium dans l'eau est totale : on dit que l'hydroxyde de sodium est une base forte. L'équation-bilan :



				<p>2.3. <u>Définition d'une base forte</u>          Une base <math>B^-</math> est dite <b>forte</b> si sa réaction avec l'eau est <b>totale</b>. <math>B^- + H_2O \rightarrow BH + OH^-</math>.</p> <p><b>Exemples :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Monobases :</b> NaOH(hydroxyde de sodium) ; KOH(hydroxyde de potassium) ; <math>C_2H_5O^-</math> (ion éthanolate)...</li> <li>➤ <b>Dibase :</b> <math>Ca(OH)_2</math>(hydroxyde de calcium).</li> </ul> <p>2.4. <u>pH d'une base forte</u>          le pH d'une monobase forte de concentration <math>C_b</math> est donné par la relation <b>pH = 14 + log(<math>C_b</math>)</b> si <math>10^{-6} \text{ mol. L}^{-1} \leq C_b &lt; 10^{-1} \text{ mol. L}^{-1}</math>.</p> <p><b>3. Mélange Acide fort-Base forte</b>          on mélange un volume <math>V_1</math> d'acide fort de concentration <math>C_a</math> et un volume <math>V_2</math> de base forte de concentration <math>C_b</math>.          On a :</p> <p><math>n_a = C_a V_1</math> : la quantité de matière apportée par l'acide ;  <math>n_b = C_b V_2</math> : la quantité de matière apportée par la base ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Si <math>n_a &gt; n_b</math> : mélange acide ; <math>pH = -\log\left(\frac{C_a V_1 - C_b V_2}{V_1 + V_2}\right)</math>.</li> <li>✓ Si <math>n_a &lt; n_b</math> : mélange basique ; <math>pH = 14 + \log\left(\frac{C_b V_2 - C_a V_1}{V_1 + V_2}\right)</math>.</li> <li>✓ Si <math>n_a = n_b</math> : mélange neutre ; <math>pH = 7</math>.</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>Soient deux solutions aqueuses notées <math>S_1</math> et <math>S_2</math> mises à la disposition d'un groupe d'élèves.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La solution <math>S_1</math> est obtenue en dissolvant un volume <math>V_0 = 448 \text{ mL}</math> de chlorure d'hydrogène gazeux dans <math>V = 200 \text{ mL}</math> d'eau pure.</li> <li>➤ La solution <math>S_2</math> de concentration <math>C_2 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math> est obtenue en dissolvant une masse <math>m</math> d'hydroxyde de sodium dans <math>V = 500 \text{ mL}</math> d'eau pure.</li> </ul>

Le groupe réalise un mélange de 20 mL de  $S_1$  et 400 mL de  $S_2$  dans un ballon et obtient une solution S. Tu es désigné pour rédiger le rapport de l'expérience.

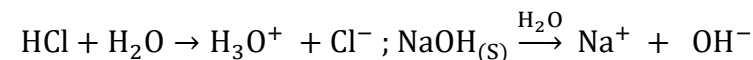
1. Ecris les équations-bilans des réactions de dissolutions des différents solutés.
2. Détermine :
  - 2.1) La concentration  $C_1$  de la solution  $S_1$ .
  - 2.2) La masse  $m$  d'hydroxyde de sodium dissoute.
3. Cite les espèces chimiques présentes dans la solutions S.
4. Calcul les quantités de matières des espèces chimiques présentes dans la solution S.
5. Sachant que seuls les ions hydroxydes et hydronium qui réagissent dans le mélange, donne la nature et le pH de la solution S.

**NB** : Toutes les solutions sont étudiées à 25°C.

On donne :  $V_m = 22,4 \text{ L. mol}^{-1}$  ;  $M(\text{H}) = 1 \text{ g. mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16 \text{ g. mol}^{-1}$  ;  
 $M(\text{Na}) = 23 \text{ g. mol}^{-1}$  ;  $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g. mol}^{-1}$ .

### Résolution

1.

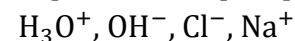


2. Détermination de :

$$2.1) C_1 = \frac{n}{V} = \frac{V_0}{V_m \cdot V} \text{ A.N : } C_1 = \frac{448}{22,4 \times 200} = 0,1 \text{ mol. L}^{-1}.$$

$$2.2) C_2 = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V} \Rightarrow m = C_2 \cdot M \cdot V \text{ A.N : } M = 40 \text{ g. mol}^{-1} ; m = 0,09 \text{ g.}$$

3. Espèces chimiques présentes dans la solution S :



$$4. n_{(\text{H}_3\text{O}^+)} = n_{(\text{Cl}^-)} = 0,02C_1 = 0,002 \text{ mol. L}^{-1} ;$$

$$n_{(\text{OH}^-)} = n_{(\text{Na}^+)} = 0,4C_2 = 0,0018 \text{ mol. L}^{-1}$$

5.  $n_{(\text{H}_3\text{O}^+)} > n_{(\text{OH}^-)} \Rightarrow$  solution S acide.

$$\text{pH} = -\log\left(\frac{n_{(\text{H}_3\text{O}^+)} - n_{(\text{OH}^-)}}{V_S}\right) = 3,3$$

**Evaluation à faire à la maison**

Les trois parties (A, B et C) sont liées.

A- Un flacon d'acide chlorhydrique commercial porte les indications suivantes :

- ✓ Formule chimique :  $HCl$
- ✓ Masse molaire :  $M = 36,5 \text{ g. mol}^{-1}$
- ✓ Masse volumique :  $\rho = 1190 \text{ kg. m}^{-3}$
- ✓ Pureté en masse :  $\rho = 37\%$

On prélève un volume  $V_0 = 4,2 \text{ mL}$  de cette solution commerciale que l'on verse dans une fiole jaugée de  $500 \text{ mL}$ , et que l'on complète avec de l'eau jusqu'au trait de jauge.

1. Nomme l'opération effectuée avec la solution commerciale.
2. Calcule :
  - 2.1. La concentration  $C_0$  de la solution commerciale.
  - 2.2. La concentration molaire  $C$  de la solution préparée.

B-On réalise maintenant le mélange de  $V_1 = 47 \text{ mL}$  de solution d'acide nitrique de concentration molaire  $C_1$  inconnue et  $V_2 = 3 \text{ mL}$  de la solution précédente, diluée d'acide chlorhydrique. Le pH du mélange est 2.

1. Détermine la valeur de  $C_1$ .
2. Cite les espèces chimiques dans le mélange et calcule leurs concentrations molaires.

C- Au mélange précédent ( $HNO_3 + HCl$ ), on ajoute  $V_b = 50 \text{ mL}$  d'une solution d'hydroxyde de calcium ( $Ca(OH)_2$ ) de concentration  $C_b = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$ . On obtient une solution S dont le pH est défini par  $pH = 15 + \log(n_{(OH^-)} - n_{(H_3O^+)})$  avec  $n_{(OH^-)}$  et  $n_{(H_3O^+)}$  les quantités de matières initiales des ions  $OH^-$  et  $H_3O^+$  mélangés. Montre que le pH de la solution S est 12,5.

**Résolution détaillée**

				<p>A-</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>La dilution</li> <li>Calcul de :             <ol style="list-style-type: none"> <li>La concentration <math>C_0</math> : <math>C_0 = \frac{\rho \cdot u}{M} \text{ A.N} : C_0 = 12,06 \text{ mol. L}^{-1}</math>.</li> <li>La concentration molaire <math>C</math> : <math>C \cdot V = C_0 \cdot V_0 \Rightarrow C = \frac{C_0 \cdot V_0}{V} \text{ A.N} : C = 0,1 \text{ mol. L}^{-1}</math>.</li> </ol> </li> </ol> <p>B-</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>On a <math>[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2}{V_m} = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow C_1 = \frac{10^{-\text{pH}} \cdot V_m - (C_2 \cdot V_2)}{V_1} = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math>.</li> <li>Dans le mélange on a : <math>\text{H}_3\text{O}^+</math> ; <math>\text{OH}^-</math> ; <math>\text{Cl}^-</math> et <math>\text{NO}_3^-</math>.  <math>[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 0,01 \text{ mol. L}^{-1}</math> ; <math>[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ mol. L}^{-1}</math> ;  <math>[\text{Cl}^-] = \frac{C_2 \cdot V_2}{V_m} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math> ; <math>[\text{NO}_3^-] = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_m} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math>.</li> </ol> <p>C-On a : <math>n_{(\text{H}_3\text{O}^+)} = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot V_T = 10^{-2} \times 0,1 = 10^{-3} \text{ mol}</math> ;  <math>n_{(\text{OH}^-)} = 2C_b \cdot V_b</math> car <math>\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-</math>. <math>n_{(\text{OH}^-)} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}</math>  <math>\text{pH} = 15 + \log(4 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) = 12,47 \approx 12,5</math></p>
--	--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : ACIDE FAIBLE - BASE FAIBLE</b>	
<b>Durée : 10H (5 séances)</b>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	Un acide faible.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction d'un acide faible avec l'eau.
Expliquer	L'équilibre chimique.
Citer	Quelques acides faibles.
Connaître	L'expression du coefficient d'ionisation d'un acide faible.
Expliquer	L'effet de dilution sur l'ionisation d'un acide faible.
Déterminer	Les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans une solution d'acide faible.
Définir	Une base faible.
Ecrire	L'équation-bilan de la réaction d'une base faible avec l'eau.
Citer	Quelques bases faibles.
Connaître	L'expression du coefficient d'ionisation d'une base faible.
Expliquer	L'effet de dilution sur l'ionisation d'une base faible.
Déterminer	Les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans une solution de base faible.

### **Situation d'apprentissage**

Au cours d'une séance de Travaux Pratiques de chimie en Terminale D au Lycée, les élèves disposent de solutions aqueuses d'acide chlorhydrique, d'acide éthanoïque, de soude et d'ammoniac de même concentration molaire volumique ainsi que le matériel nécessaire. Après les mesures des pH de ces solutions, les élèves constatent que leurs valeurs sont différentes. Pour comprendre la différence entre ces valeurs de pH, ils entreprennent d'écrire les équations-bilans des réactions chimiques de ces produits avec l'eau, d'expliquer l'équilibre chimique, l'effet de dilution sur l'ionisation d'un acide faible et d'une base faible et de déterminer les concentrations molaires volumiques des espèces chimiques présentes dans une solution d'acide faible et de base faible.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Alimentation continue 6 V – 12 V ; Multimètres ; Rhéostat - Électrolyseur ; pH-mètre ; Bêchers - Solutions d'acide éthanoïque - Solution d'éthanoate de sodium ; Solution d'acide chlorhydrique ; - Fil de connexion ; Lampes	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Acide faible**

1.1- Etude de la solution d'acide éthanoïque

**1.1.1- Etude quantitative de la solution d'acide éthanoïque**

**1.1.2- Equation-bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau**

**1.1.3- Coefficient ou facteur d'ionisation**

1.2- Définition d'un acide faible

**2- Base faible**

2.1- Etude de la solution d'éthanoate de sodium

**2.1.1- Expérience et observation**

**2.1.2- Conclusion**

2.2- Etude quantitative de la solution aqueuse de l'éthanoate de sodium

2.3- Equation-bilan de la réaction entre l'ion éthanoate et l'eau

2.4- Définition d'une base faible

**3- Notion d'équilibre chimique**

3.1- Actions des ions  $H_3O^+$  sur les ions  $CH_3COO^-$

**3.1.1- Expérience**

**3.1.2- Exploitation**

**3.1.3- Conclusion**

3.2- Equilibre chimique

**Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
<b>ACIDE FAIBLE – BASE FAIBLE</b>				
				<p><b>1. Acide faible</b></p> <p>1.1. <u>Etude de la solution d'acide éthanoïque</u> L'acide éthanoïque (acide acétique) de formule (CH<sub>3</sub>COOH) est miscible à l'eau en proportions. Sa dissolution est faiblement exothermique. La solution d'acide éthanoïque est moins conductrice que la solution d'acide chlorhydrique.</p> <p><b>1.1.1. Etude quantitative de la solution d'acide éthanoïque</b> La mesure du pH à 25°C d'une solution S<sub>1</sub> d'acide éthanoïque de concentration C<sub>a</sub> = 10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup> donne la valeur pH = 3,4. Réalisons l'étude quantitative de la solution.</p> <p>➤ <u>Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution</u> : Ions : H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> ; molécules : H<sub>2</sub>O, (CH<sub>3</sub>COOH)<sub>restant</sub>.</p> <p>➤ <u>Concentrations des espèces chimiques présentes dans la solution</u> :</p> <p>✓ pH = 3,4 ⇒ [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 10<sup>-pH</sup> ⇒ [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 10<sup>-3,4</sup> ⇒ [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 3,98. 10<sup>-4</sup> mol. L<sup>-1</sup></p> <p>✓ [OH<sup>-</sup>] = <math>\frac{10^{-14}}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{3,98 \cdot 10^{-4}} = 2,51 \cdot 10^{-11}</math> mol. L<sup>-1</sup>.</p> <p><math>\frac{[OH^-]}{[H_3O^+]} = 6,31 \cdot 10^{-8} \leq 10^{-4}</math> : les ions OH<sup>-</sup> sont ultra-minoritaires devant les ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>.</p> <p>✓ <u>Electroneutralité de la solution</u> : [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = [OH<sup>-</sup>] + [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] = [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] - [OH<sup>-</sup>] comme [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] ≫ [OH<sup>-</sup>] ⇒ [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] ≈ [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 3,98. 10<sup>-4</sup> mol. L<sup>-1</sup>.</p> <p>✓ <u>Conservation de la matière</u> : C<sub>a</sub> = [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] + [CH<sub>3</sub>COOH]<sub>restant</sub> ⇒ [CH<sub>3</sub>COOH]<sub>restant</sub> = C<sub>a</sub> - [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] = 10<sup>-2</sup> - 3,98. 10<sup>-4</sup> ⇒ [CH<sub>3</sub>COOH]<sub>restant</sub> = 9,6. 10<sup>-3</sup> mol. L<sup>-1</sup>.</p> <p>Toutes les molécules CH<sub>3</sub>COOH n'ont pas été ionisées. La réaction entre CH<sub>3</sub>COOH et l'eau est donc <b>partielle (limitée)</b> : on dit que l'acide éthanoïque est un acide <b>faible</b>.</p>

### 1.1.2. Equation-bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau

L'ionisation de l'acide éthanoïque dans l'eau donne lieu à un équilibre chimique traduit par l'équation suivante :



### 1.1.3. Coefficient ou facteur d'ionisation

Le coefficient de dissociation  $\alpha$  est le rapport du nombre de molécule ionisées (ou dissociées) au nombre total de molécules apportées :

$$\text{Ici on a : } \alpha = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{C_a}$$

$$\text{Pour notre exemple : } \alpha = \frac{3,98 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 3,98 \cdot 10^{-2} = 0,0398 \approx 0,04 = 4\%$$

**N.B :**  $\alpha$  croit avec la dilution.

### 1.2. Définition d'un acide faible

Un acide est dit **faible** si sa réaction avec l'eau est limitée.

#### **Exemples :**

Acide carboxylique (R – COOH), acide chloréthanoïque (ClCH<sub>2</sub>COOH), acides benzoïque (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> – COOH), ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) etc.

### **Activité d'application 1**

On dispose de deux solutions acides A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> à 25°C :

- ✓ La solution A<sub>1</sub> de concentration C<sub>1</sub> = 4. 10<sup>-3</sup> mol. L<sup>-1</sup> a un pH = 3,3.
- ✓ La solution A<sub>2</sub> de concentration C<sub>2</sub> = 5. 10<sup>-3</sup> mol. L<sup>-1</sup> a un pH = 2,3.

Précise la force de chaque acide.

#### **Résolution**

Acide	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Concentration molaire	4. 10 <sup>-3</sup> mol. L <sup>-1</sup>	5. 10 <sup>-3</sup> mol. L <sup>-1</sup>
- log C	2,4	2,3
pH	3,3	2,3

A<sub>1</sub>: acide faible ; A<sub>2</sub>: acide fort

## 2. Base faible

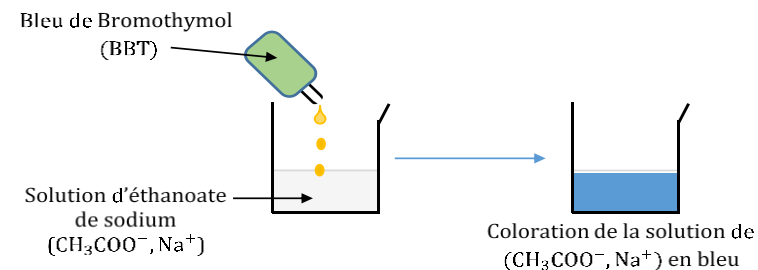
### 2.1. Etude de la solution d'éthanoate de sodium

#### 2.1.1. Expérience et observation

L'éthanoate de sodium (acétate de sodium) de formule  $\text{CH}_3\text{COONa}$  se dissout facilement dans l'eau au cours d'une réaction chimique totale



Cette dissolution est très exothermique.



Le BBT fait virer au bleu la solution : la solution de  $(\text{CH}_3\text{COO}^-, \text{Na}^+)$  est basique. Il y a un excès d'ions  $\text{OH}^-$ .

#### 2.1.2. Conclusion

Dans la solution aqueuse, les ions  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  formés réagissent avec des molécules d'eau pour donner des molécules d'acide éthanoïque ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) et des ions  $\text{OH}^-$ .

### 2.2. Etude quantitative de la solution aqueuse de l'éthanoate de sodium

Le pH d'une solution aqueuse  $S_2$  d'éthanoate de sodium de concentration  $C_b = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$  a pour valeur 8,4 à 25°C. Etudions quantitativement la solution  $S_2$ .

#### ➤ Inventaire des espèces chimiques présentes dans la solution :

Ions :  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}$  ; molécules :  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

#### ➤ Concentrations des espèces chimiques présentes dans la solution :

✓  $\text{pH} = 8,4 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,4} \Rightarrow$   
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,98 \cdot 10^{-9} \text{ mol. L}^{-1}$ .

✓  $[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{3,98 \cdot 10^{-9}} = 2,51 \cdot 10^{-6} \text{ mol. L}^{-1}$ .

$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{OH}^-]} = 1,58 \cdot 10^{-3} < 10^{-2}$  : les ions  $\text{OH}^-$  sont majoritaire devant les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

✓  $[\text{Na}^+] = C_b = 10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$ .

✓ Electroneutralité de la solution :

$[\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-] + [(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}]$   
 $[(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-]$  comme  $[\text{OH}^-] \gg$   
 $[\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow [(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}] = [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-] = 10^{-2} - 2,51 \cdot 10^{-6}$   
 $[(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}] = 9,99 \cdot 10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}$ .

✓ Conservation de la matière :

$C_b = [(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}] + [\text{CH}_3\text{COOH}]$   
 $\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = C_b - [(\text{CH}_3\text{COO}^-)_{\text{restant}}]$  or  
 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-]$   
 $\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = C_b - ([\text{Na}^+] - [\text{OH}^-]) = [\text{OH}^-]$   
 $\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 2,51 \cdot 10^{-6} \text{ mol. L}^{-1}$ .

➤ Coefficient de dissociation

$$\alpha = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{C_b} \Rightarrow \alpha = \frac{2,51 \cdot 10^{-6}}{10^{-2}} = 25,1 \cdot 10^{-5}$$

Les ions éthanoate dans la solution n'ont pas tous réagi avec l'eau. La réaction entre l'ion éthanoate et l'eau est donc **partielle (limitée)** : on dit que l'ion éthanoate est une **base faible**.

2.3. Equation-bilan de la réaction entre l'ion éthanoate et l'eau

La réaction entre l'ion éthanoate et l'eau s'écrit :



2.4. Définition d'une base faible

Une base est dite **faible** en solution aqueuse si sa réaction avec l'eau n'est **pas totale**.

**Exemples** : les ions carboxylates ( $R - COO^-$ ), ions carbonate ( $CO_3^{2-}$ ), ion hypochlorite ( $ClO^-$ ).

### Activité d'application 2

On dispose de deux solutions basiques  $B_1$  et  $B_2$  à  $25^\circ C$  :

- ✓ La solution  $B_1$  de concentration  $C_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  a un  $\text{pH} = 11,7$ .
- ✓ La solution  $B_2$  de concentration  $C_2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  a un  $\text{pH} = 8$ .

Précise la force de chaque base.

### Résolution

Acide	$B_1$	$B_2$
Concentration molaire	$5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
$14 + \log C$	11,69	11,6
pH	11,7	8

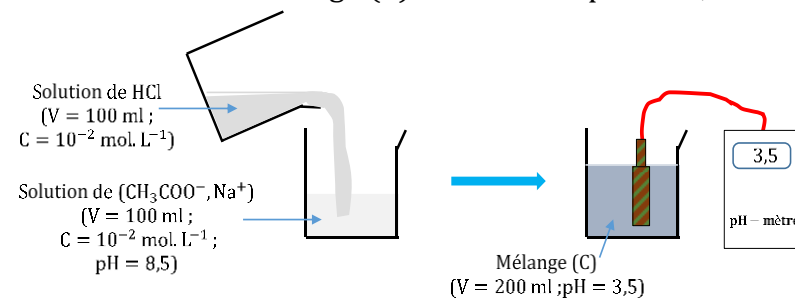
$B_1$ : base forte ;  $B_2$ : base faible

### 3. Notion d'équilibre chimique

#### 3.1. Actions des ions $H_3O^+$ sur les ions $CH_3COO^-$

##### 3.1.1. Expérience

Dans  $V_B = 100 \text{ mL}$  d'une solution (B) d'éthanoate de sodium de concentration  $C_B = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et de  $\text{pH} = 8,4$ , on ajoute  $V_A = 100 \text{ mL}$  d'une solution (A) d'acide chlorhydrique de concentration  $C_A = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le mélange (C) obtenu a un  $\text{pH} = 3,6$ .



##### 3.1.2. Exploitation

				<p>➤ <u>Quantité d'ions <math>H_3O^+</math> dans A</u>  <math>n(H_3O^+)_A = C_A \times V_A = 10^{-2} \times 0,1 = 10^{-3} \text{ mol}</math></p> <p>➤ <u>Quantité d'ions <math>CH_3COO^-</math> dans B :</u>  <math>n(CH_3COO^-)_B = C_B \times V_B = 10^{-2} \times 0,1 = 10^{-3} \text{ mol}</math></p> <p>➤ <u>Quantité de <math>CH_3COO^-</math> et <math>CH_3COOH</math> dans le mélange (C)</u>  ✓ Espèces : <math>H_3O^+</math>, <math>OH^-</math>, <math>Na^+</math>, <math>Cl^-</math>, <math>CH_3COO^-</math>, <math>CH_3COOH</math>, <math>H_2O</math>  ✓ <math>pH = 3,6 \Rightarrow [H_3O^+] = 10^{-3,6} \text{ mol. L}^{-1}</math>  ✓ <math>[OH^-] = \frac{K_e}{[H_3O^+]} = 10^{-10,4} \text{ mol. L}^{-1}</math>  ✓ <math>[Na^+] = \frac{C_B \times V_B}{V_C} = 5.10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math> ; <math>[Cl^-] = \frac{C_A \times V_A}{V_C} = 5.10^{-3} \text{ mol. L}^{-1}</math>  ✓ <u>ENS</u> : <math>[CH_3COO^-] + [Cl^-] + [OH^-] = [H_3O^+] + [Na^+]</math>  <math>\Rightarrow [CH_3COO^-] = [H_3O^+] + [Na^+] - [Cl^-] - [OH^-] = [H_3O^+] - [OH^-]</math>  <math>\Rightarrow [CH_3COO^-] = 10^{-3,6} \text{ mol. L}^{-1}</math>  <math>\Rightarrow n(CH_3COO^-)_C = 10^{-3,6} \times V_C = 5.10^{-5} \text{ mol}</math>  ✓ <u>CM</u> : <math>n(CH_3COO^-)_B = n(CH_3COO^-)_C + n(CH_3COOH)</math>  <math>\Rightarrow n(CH_3COOH) = n(CH_3COO^-)_B - n(CH_3COO^-)_C</math>  <math>\Rightarrow n(CH_3COOH) = 10^{-3} - 5.10^{-5} = 9,5.10^{-4} \text{ mol.}</math></p> <p>➤ <u>Evolution des ions <math>H_3O^+</math> et <math>CH_3COO^-</math></u>  ✓ <math>\Delta n(H_3O^+) = n(H_3O^+)_C - n(H_3O^+)_A = [H_3O^+]_C \times V_C - [H_3O^+]_A \times V_A</math>  <math>= 10^{-3,6} \times V_C - C_A \times V_A = 10^{-3,6} \times 0,2 - (10^{-2} \times 0,1)</math>  <math>\Delta n(H_3O^+) = -9,5.10^{-4} \text{ mol.}</math>  ✓ <math>\Delta n(CH_3COO^-) = n(CH_3COO^-)_C - n(CH_3COO^-)_B</math>  <math>\Delta n(CH_3COO^-) = 5.10^{-5} - 10^{-3} = -9,5.10^{-4} \text{ mol.}</math></p> <p><b>3.1.3. Conclusion</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\Delta n(CH_3COO^-) = \Delta n(H_3O^+) &lt; 0</math> : des ions <math>H_3O^+</math> et <math>CH_3COO^-</math> ont été consommés.</li> <li>- <math>n(CH_3COOH) =  \Delta n(CH_3COO^-)  =  \Delta n(H_3O^+) </math> : les ions <math>H_3O^+</math> et <math>CH_3COO^-</math> ont réagi pour donner des molécules de <math>CH_3COOH</math> suivant l'équation-bilan : <math>CH_3COO^- + H_3O^+ \rightarrow CH_3COOH + H_2O</math> ①</li> </ul>
--	--	--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

				<p>- L' équation ① est l'inverse de la réaction d'ionisation de l'acide éthanoïque : <math>\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+</math> ②</p> <p>En solution aqueuse, les réactions ① et ② se produisent simultanément et se limitent mutuellement : elles conduisent donc à un état d'<b>équilibre chimique</b> selon le bilan ci-après :</p> $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ <p>3.2. <u>Equilibre chimique</u></p> <p>Un équilibre chimique est la limite commune à deux réactions inverses qui se limitent mutuellement. C'est un équilibre dynamique : chacune des deux réactions continue à se produire mais à la même vitesse. <b>Cet équilibre a lieu quelques soient les autres espèces chimiques présentes dans la solution.</b></p> <p><b>N.B</b> : la réaction d'un acide faible et dans une base faible avec l'eau est limitée et réversible. L'équation-bilan s'écrit avec une double flèche.</p>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Au laboratoire du lycée moderne d'Aboisso, un professeur de physique chimie, veut montrer, aux élèves de terminale, l'effet de la dilution sur la dissolution de l'ammoniac dans l'eau. La température du laboratoire est environ 25°C,</p> <p>Sous hotte, le professeur fait arriver un volume <math>v_g = 1,2\text{L}</math> d'ammoniac gazeux dans un volume <math>v_e = 1\text{L}</math> d'eau. Dans un calepin, il marque : solution: <math>S_1</math> ; concentration : <math>C_1</math> ; volume: <math>V_1</math> ; <math>\text{pH} = \text{pH}_1</math>. Dans un prélèvement de la solution <math>S_1</math>, il introduit un pH-mètre électronique, l'appareil indique 11,1.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcule <math>V_1</math> et <math>C_1</math> si le volume occupé par une mole de gaz au laboratoire est <math>V_m = 24\text{L}</math>.</li> <li>2. Montre que l'ammoniac est une base faible.</li> <li>3. Ecris l'équation-bilan de sa réaction avec l'eau.</li> </ol>

4. Calcule le pourcentage  $\alpha_1$  de molécule d'ammoniac qui a réagi avec l'eau dans la solution.
5. A partir d'un volume  $V'_1$  de la solution  $S_1$ , l'enseignant prépare une solution  $S_2$  d'ammoniac, de concentration  $C_2 = 1.10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$ , de volume  $V_2 = 100 \text{ mL}$  et de  $\text{pH} = 10,6$ .
  - 5.1. Nomme et décris le mode opératoire qui permet d'obtenir la solution  $S_2$  à partir de  $S_1$ .
  - 5.2. Calcule le volume  $V'_1$ .
  - 5.3. Détermine le pourcentage  $\alpha_2$  de molécule d'ammoniac qui a réagi avec l'eau dans la solution  $S_2$ .
6. Compare les pourcentages  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ , puis indique l'effet de la dilution sur la réaction de l'ammoniac avec l'eau.

### Résolution détaillée

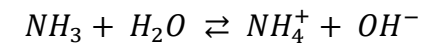
1. Calcul de  $V_1$  et  $C_1$  :

✓  $V_1$  : nous avons un mélange gaz + liquide  $\Rightarrow V_1 = V_e = 1\text{L}$ .

✓  $C_1 = \frac{n}{V_1}$  or  $n = \frac{V_g}{V_m} \Rightarrow C_1 = \frac{V_g}{V_m \cdot V_1}$  A.N :  $C_1 = \frac{1,2}{24 \times 1} = 5.10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$

2. Pour une base forte :  $\text{pH} = 14 + \log C_1 \Rightarrow \text{pH} = 14 + \log(5.10^{-2}) = 12,7$  ;  $\text{pH}_1 \neq 14 + \log C_1$  : l'ammoniac est une base faible.

3.



4. Calcul du pourcentage  $\alpha_1$  :

$$\alpha_1 = \frac{[\text{NH}_4^+]}{C_1} \text{, détermination de } [\text{NH}_4^+]$$

D'après l'électroneutralité on a :  $[\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$  comme  $[\text{H}_3\text{O}^+] \ll [\text{OH}^-]$  car solution basique  $\Rightarrow [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] = 10^{(\text{pH}_1 - 14)}$

$$\alpha_1 = \frac{10^{-2,9}}{5.10^{-2}} = 0,025 = 2,5\%$$

5.

- 5.1. Le mode opératoire est la dilution. On prélève le volume  $V'_1$  à l'aide d'une pipette. On introduit cette quantité dans un bécher de  $100 \text{ mL}$  contenant un peu d'eau. Après homogénéisation, on complète le volume avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

5.2. Calcul de  $V'_1$  : par conservation de la matière  $C_1 V'_1 = C_2 V_2 \Rightarrow$

$$V_1' = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{10^{-2} \times 100}{5 \cdot 10^{-2}} = 20 \text{ mL}$$

5.3. Détermination du pourcentage  $\alpha_2$  :

$$\alpha_2 = \frac{[NH_4^+]'}{C_2}$$

Détermination de  $[NH_4^+]'$  : d'après l'électroneutralité  $[NH_4^+]' =$

$$10^{(pH-14)} = 10^{(10,6-14)} = 10^{-3,4} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{10^{-3,4}}{10^{-2}} = 0,04 = 4\%$$

6.  $\alpha_2 > \alpha_1$  : la dilution rend l'ammoniac plus réactif avec l'eau.

### **Evaluation à faire à la maison**

Données : la masse moléculaire atomique en  $g/mol$ :  $M_C = 12$ ,  $M_O = 16$ ,  
 $M_H = 1$

1) On dissout une masse  $m_a$  d'acide benzoïque ( $C_6H_5COOH$ ) dans l'eau pure pour préparer un volume  $V = 200 \text{ mL}$  d'une solution de concentration molaire  $C = 0,1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . La mesure du pH de la solution donne la valeur 2,6.

Calcule :

- 1.a) la masse  $m_a$  d'acide dissout.
- 1.b) Les concentrations molaires des différentes espèces chimiques.
- 1.c) Le pourcentage  $\alpha$  d'acide qui a réagi.

2) Dans  $V_A = 10 \text{ mL}$  de la solution d'acide benzoïque précédente, on ajoute  $V_B = 5 \text{ mL}$  d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire  $C_B = 0,1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . Le pH du mélange est alors 4,2.

2.a) Calcule :

2.a.1) les concentrations molaires des différentes espèces chimiques dans le mélange.

2.a.2) le coefficient  $\alpha'$  d'acide qui s'est transformé.

2.b) compare  $\alpha$  et  $\alpha'$  et conclure quant à l'effet de l'addition d'une base forte sur un acide faible.

Résolution détaillée de l'évaluation à faire à la maison

1) Calcul de :

1.a) la masse  $m_a$  d'acide dissout :

$$\text{On a } C = \frac{n}{V} \text{ or } n = \frac{m_a}{M} \Rightarrow C = \frac{m_a}{MV} \Rightarrow m_a = CMV$$

$$M = 122 \text{ g/mol}, m_a = 0,1 \times 122 \times 0,2 = 2,44 \text{ g}$$

1.b) concentration molaires des espèces chimiques :

Inventaire :  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 

$$\text{pH} = 2,6 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,6} = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{(2,6-14)} = 3,98 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

ENS :  $[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$  car  $\text{H}_3\text{O}^+ \gg \text{OH}^-$ 

$$\text{CM} : C = [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] \Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = C - [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]$$

1.c) le pourcentage  $\alpha$  d'acide qui a réagi

$$\alpha = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{C} = 0,025$$

2)

2.a) calcul :

2.a.1) des concentrations molaires des différentes espèces chimiques dans le mélange :

Inventaire :  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 

$$\text{pH} = 4,2 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,2} = 6,31 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{(4,2-14)} = 1,58 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{C_B V_B}{(V_A + V_B)} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

ENS :  $[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = [\text{Na}^+]$  car  $\text{Na}^+ > \text{H}_3\text{O}^+ \gg \text{OH}^-$ 

$$\text{CM} : C' = [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] \text{ avec } C' = \frac{C V_A}{(V_A + V_B)}$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = \frac{C V_A - C_B V_B}{(V_A + V_B)} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

2.a.2) du coefficient  $\alpha'$  d'acide qui s'est transformé :

$$\alpha' = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{C'} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]}{C V_A} (V_A + V_B) = 0,5$$

2.b)  $\alpha' > \alpha$  : l'addition d'une base forte sur un acide faible favorise sa dissolution

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : COUPLES ACIDE/BASE - CLASSIFICATION</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 5H (3 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Définir	- Un acide et une base selon Brönsted ; - Un couple acide/base.
Donner	Quelques exemples de couples acide/base.
Définir	- La constante d'acidité $K_a$ d'un couple acide/base ; - Le $pK_a$ d'un couple acide/base.
Déterminer	- La constante d'acidité $K_a$ et le $pK_a$ d'un couple acide/base ; - Le pH d'une solution aqueuse d'acide faible et de base faible.
Déterminer	Les domaines de prédominance d'un acide et de sa base conjuguée.
Définir	Un indicateur coloré.
Déterminer	La zone de virage d'un indicateur coloré.
Expliquer	La force d'un acide et d'une base.
Classer	Les couples acide/base.

### **Situation d'apprentissage**

Lors de la préparation du concours dénommé « génie en herbe » au Lycée, deux élèves de la Terminale D 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.

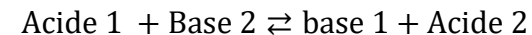
<b>MATERIELS DE TRAVAIL</b> - Solutions d'acide éthanoïque - Solution d'éthanoate de sodium ; - pH-mètre ; Bêchers - Papier millimétré ; ; Burettes Pipettes ; Agitateur magnétique ; Tableau de classification des couples ; - Eau distillée	<b>SUPPORTS DIDACTIQUES :</b> Support sur planche Manuel élève
	<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### **PLAN DE LA LEÇON**

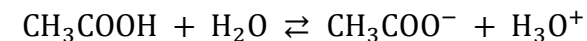
<b>1- Acide et base selon Brönsted</b> <b>2- Couple acide/base</b> 2.1- Définition 2.2- Couple acide/base de l'eau 2.3- Réaction acido-basique <b>3- Constance d'acidité <math>K_a</math> d'un couple acide/base dans l'eau</b> 3.1- Définition 3.2- Relation entre pH et $pK_a$ <b>Activité d'application</b> 3.3- Détermination expérimentale du $pK_a$ du couple $CH_3COOH/CH_3COO^-$	<b>4- Domaine de prédominance d'un acide et de sa base conjuguée</b> <b>5- Indicateurs colorés</b> 5.1- Définition 5.2- Zone de virage d'un indicateur coloré <b>6- Classification des couples acide/base dans l'eau</b> 6.1- Force d'un acide faible et d'une base faible 6.2- Classification des couples acide/base ➤ <b>Couples acide/base dont l'acide est fort</b> ➤ <b>Couples acide/base dont la base est forte</b> ➤ <b>Couples acide/base dont l'acide et la base sont faibles</b>
<b>Situation d'évaluation</b>	

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>COUPLES ACIDE/BASE - CLASSIFICATION</b></p> <p><b>1. Acide et base selon Brönsted</b>  Selon Brönsted :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un acide est une espèce chimique susceptible de céder un ou plusieurs protons (H<sup>+</sup>).</li> <li>➤ Une base est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs protons (H<sup>+</sup>).</li> </ul> <p><b>2. Couple acide/base</b></p> <p>2.1. <u>Définition</u>  La réaction entre un acide et une base selon Brönsted correspond à un transfert de protons d'un acide vers une base : Acide <math>\rightleftharpoons</math> Base + H<sup>+</sup>.  L'acide et la base sont alors dits <b>conjugués</b> et constituent un <b>couple acide/base</b>.  <b>Exemple</b> : CH<sub>3</sub>COOH/CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> couple acide éthanoïque/ion éthanoate.  NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NH<sub>3</sub> : ion ammonium/ammoniac ;  HCOOH/HCOO<sup>-</sup> : acide méthanoïque/ion méthanoate ;  CH<sub>3</sub> – NH<sub>3</sub><sup>+</sup>/CH<sub>3</sub> – NH<sub>2</sub> : ion éthylammonium/éthylamine...</p> <p>2.2. <u>Couple acide/base de l'eau</u>  ✓ Une molécule d'eau est capable de céder un proton selon la réaction :  H<sub>2</sub>O <math>\rightleftharpoons</math> OH<sup>-</sup> + H<sup>+</sup> : l'eau est donc un acide dont la base conjuguée est OH<sup>-</sup>. On a le couple H<sub>2</sub>O/OH<sup>-</sup>.  ✓ Une molécule d'eau est capable de capter un proton selon la réaction :  H<sub>2</sub>O + H<sup>+</sup> <math>\rightleftharpoons</math> H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> : l'eau est donc une base dont l'acide conjugué est H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. On a le couple H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/H<sub>2</sub>O .  L'eau peut se comporter comme un acide ou comme une base : c'est une <b>espèce amphotère</b> ou <b>ampholyte</b>.</p> <p>2.3. <u>Réaction acido-basique</u></p>

Une réaction acido-basique est une réaction mettant en jeu deux couples acide/base selon le bilan suivant :



**Exemple :**



C'est la réaction entre les couples  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$ .

### **3. Constance d'acidité Ka d'un couple acide/base dans l'eau**

#### 3.1. Définition

Pour tout couple acide/base, la réaction acido-basique avec l'eau est traduite par l'équilibre d'ionisation :  $\text{Acide} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Base} + \text{H}_3\text{O}^+$ .

Cet équilibre est caractérisé par une constante appelée **constante d'acidité** ou **constante d'équilibre d'ionisation** dans l'eau, notée **Ka**

et définie par :  $\mathbf{Ka} = \frac{[\text{Base}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]}$ .

Ka dépend de la température. Sa valeur est caractéristique du couple acide/base considéré et ne dépend pas des autres espèces chimiques présentes en solution.

**N.B :** on définit la grandeur **pKa** telle que  $\mathbf{pKa} = -\log(\mathbf{Ka})$

#### 3.2. Relation entre pH et pKa

On a  $\mathbf{Ka} = \frac{[\text{Base}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]} \Rightarrow \log \mathbf{Ka} = \log \frac{[\text{Base}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Acide}]} = \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} +$

$\log[\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log \mathbf{Ka} + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]}$

$$\mathbf{pH} = \mathbf{pKa} + \log \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]}$$

#### **Activité d'application**

Une solution de cyanure de potassium (KCN) de concentration molaire  $C = 10^{-2} \text{ mol/L}$  à un  $\text{pH} = 10,6$ .

- 1) Donne l'acide conjugué de l'ion cyanure  $\text{CN}^-$ .
- 2) Précise si l'ion cyanure  $\text{CN}^-$  est une base forte ou faible en justifiant la réponse.

- 3) En déduis l'équation-bilan de sa réaction avec l'eau.  
 4) Calcule :  
 4.1) Les concentrations molaires des différentes espèces chimiques en solution.  
 4.2) Calcule les valeurs du  $K_a$  et du  $pK_a$  du couple acide/base conjugué.

**Résolution détaillée :**

- 1) L'acide conjugué de l'ion cyanure  $CN^-$  est HCN.  
 2) On a  $14 + \log 10^{-2} = 12 \neq pH$  : l'ion cyanure  $CN^-$  est une base faible.  
 3)  $CN^- + H_2O \rightleftharpoons HCN + OH^-$   
 4) Calcul :  
 4.1) Inventaire :  $CN^-$ ,  $H_3O^+$ ,  $OH^-$ , HCN,  $K^+$   
 $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-10,6} = 2,51 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$  ;  
 $[OH^-] = 10^{(pH-14)} = 10^{-3,4} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$  ;  
 $[K^+] = C = 10^{-2} \text{ mol/L}$  ;  
 ENS :  $[H_3O^+] + [K^+] = [OH^-] + [CN^-]$   
 $\Rightarrow [CN^-] = [K^+] - [OH^-] = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$  ;  
 CM :  $C = [CN^-] + [HCN] \Rightarrow [HCN] = C - [CN^-] = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$  ;  
 4.2)  $K_a = \frac{[CN^-][H_3O^+]}{[HCN]} = \frac{9,6 \cdot 10^{-3} \times 2,51 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot 10^{-4}} = 6 \cdot 10^{-10}$  ;  $pK_a = -\log Ka$   
 $\Rightarrow pK_a = 9,2$ .

**3.3. Détermination expérimentale du  $pK_a$  du couple  $CH_3COOH/CH_3COO^-$**

On réalise à  $25^\circ C$  un mélange d'un volume  $V_a$  d'une solution d'acide éthanoïque de concentration  $C_a = 10^{-1} \text{ mol} \cdot L^{-1}$  avec un volume  $V_b$  d'une solution d'éthanoate de sodium de concentration  $C_b = 10^{-1} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . On mesure à chaque fois le pH du mélange. Les résultats sont inscrits dans le tableau suivant :

$V_b$ (mL)	5	10	20	40	50	50	50	50	50
$V_a$ (mL)	50	50	50	50	50	40	20	10	5
$\log \frac{V_b}{V_a}$	-1	-0,7	-0,4	-0,1	0	0,1	0,4	0,7	1
pH	3,7	4,04	4,35	4,68	4,8	4,9	5,24	5,56	5,9

- a) Montre que le rapport  $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{V_b}{V_a}$  pour un  $\text{pH} = 4,35$ .
- b) Considérant le rapport vrai pour les autres mélanges, complète le tableau.
- c) Trace la courbe  $\text{pH} = f(\log \frac{V_b}{V_a})$ .

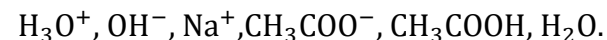
Echelle : 1 cm  $\leftrightarrow$  1 unité de pH ; 1cm  $\leftrightarrow$  1 unité de  $\log \frac{V_b}{V_a}$

- d) Déduire graphiquement la valeur du pKa du couple, justifie la réponse.

**Résolution :**

a)

✓ Espèces chimiques présentes dans le mélange :



✓ Calcul des concentrations molaires :

$$\text{pH} = 4,35 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,35} = 4,47 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L};$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{(\text{pH}-14)} = 10^{-9,65} = 2,24 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L};$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = 2,86 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L};$$

ENS :  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+]$  car  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  et  $[\text{OH}^-]$  négligeables.

$$\text{CM} : \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} + \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b}$$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} \times \frac{V_a + V_b}{C_a V_a} = \frac{C_b V_b}{C_a V_a} \text{ comme } C_a = C_b \Rightarrow \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{V_b}{V_a}$$

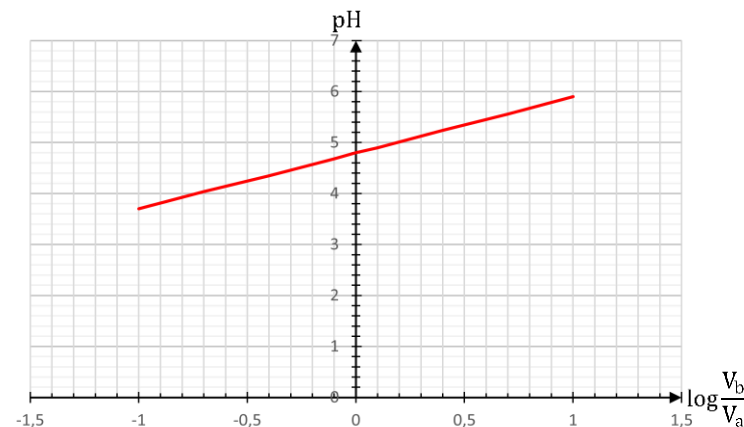
**N.B** : lorsqu'on mélange une solution A d'acide faible **AH**, avec une solution B de sa base conjuguée **A<sup>-</sup>**, dans le mélange on a :

$$n(\text{AH}) = n(\text{AH})_{\text{initiale dans A}} \Rightarrow [\text{AH}] = \frac{C_A V_A}{V_{\text{mélange}}};$$

$$n(\text{A}^-) = n(\text{A}^-)_{\text{initiale dans A}} \Rightarrow [\text{A}^-] = \frac{C_B V_B}{V_{\text{mélange}}};$$

b) Voir tableau

c) Trace de la courbe  $\text{pH} = f(\log \frac{V_b}{V_a})$



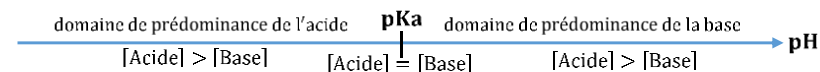
La courbe est une droite qui ne passe pas par l'origine. Elle a pour équation  $\text{pH} = a \log\left(\frac{V_b}{V_a}\right) + b$  avec  $a = \frac{5,9-3,7}{1-(-1)} = \frac{2,2}{2} = 1$  et  $b = 4,8$ .

L'équation de la droite est :  $\text{pH} = \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right) + 4,8$ . Par analogie avec la relation  $\text{pH} = \text{pKa} + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right)$ , on trouve que le couple  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$  a pour  $\text{pKa} = 4,8$ .

#### 4. Domaine de prédominance d'un acide et de sa base conjuguée

On a  $\text{pH} = \text{pKa} + \log\frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]}$  :

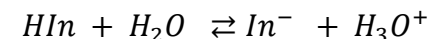
- ✓ Si  $\text{pH} = \text{pKa}$  alors  $\log\frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = 0 \Rightarrow \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} = 1$  soit  $[\text{Acide}] = [\text{Base}]$
- ✓ Si  $\text{pH} > \text{pKa}$  alors  $\log\frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} > 0 \Rightarrow \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} > 1$  soit  $[\text{Acide}] < [\text{Base}]$
- ✓ Si  $\text{pH} < \text{pKa}$  alors  $\log\frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} < 0 \Rightarrow \frac{[\text{Base}]}{[\text{Acide}]} < 1$  soit  $[\text{Acide}] > [\text{Base}]$



#### 5. Indicateurs colorés

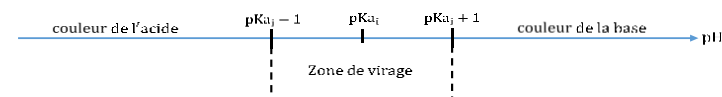
##### 5.1. Définition

Un indicateur coloré est un couple acide faible/base faible noté **HIn/In** dont les formes acide et base ont des couleurs différentes. En solution aqueuse, un indicateur coloré donne l'équilibre suivant :



### 5.2. Zone de virage d'un indicateur coloré

La zone de *pH* comprise entre  $pK_{a_i} - 1$  et  $pK_{a_i} + 1$  est appelée zone de virage de l'indicateur coloré. Elle correspond à la superposition des couleurs de la forme acide et de la forme basique.



## 6. Classification des couples acide/base dans l'eau

### 6.1. Force d'un acide faible et d'une base faible

- Un acide est d'**autant plus fort** que le  $K_a$  du couple auquel il appartient est **élevé** (son  $pK_a$  est **faible**).
- Une base est d'autant plus forte que le  $K_a$  du couple auquel elle appartient est **faible** (son  $pK_a$  est **élevé**).

### 6.2. Classification des couples acide/base

#### ➤ Couples acide/base dont l'acide est fort

Un acide fort est plus fort que  $H_3O^+$ . Sa base conjuguée ne réagit pas avec l'eau : elle est dite **indifférente**.

Un acide fort, réagissant totalement avec l'eau,  $H_3O^+$  est donc l'acide le plus fort existant en solution.

#### ➤ Couples acide/base dont la base est forte

Une base forte est plus forte que  $OH^-$ . Son acide conjugué ne réagit pas avec l'eau : c'est acide **indifférent**.

Une base forte, réagissant totalement avec l'eau,  $OH^-$  est donc la base la plus forte existant en solution aqueuse.

#### ➤ Couples acide/base dont l'acide et la base sont faibles

La base conjuguée d'un acide faible est faible et inversement.

				<p><b>Remarques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dans un couple acide faible/base faible, plus l'acide est fort plus la base conjuguée est faible et inversement.</li> <li>✓ Les acides forts et les bases fortes ne peuvent être classés entre eux.</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>1) On dissout dans l'eau <math>10^{-2}</math> mol d'acide benzoïque <math>C_6H_5COOH</math> de façon à obtenir un litre de solution <math>S_1</math>. La mesure du pH de cette solution donne 3,1.</p> <p>1.1) Calcule les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans (<math>S_1</math>) ;</p> <p>1.2) Justifie l'affirmation « l'acide benzoïque est un acide faible ».</p> <p>1.3) Ecris l'équation-bilan de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.</p> <p>1.4) Calcule les valeurs des constantes <math>K_{a1}</math> puis <math>pK_{a1}</math> de ce couple acide/base (couple 1).</p> <p>2) Les deux espèces chimiques de formules <math>C_2H_5NH_2</math> et <math>C_2H_5NH_3^+</math> sont les deux formes conjuguées d'un couple acide/base (couple 2) dont le <math>pK_{a2} = 10,7</math>.</p> <p>2.1) Dans le couple 2, donne : la forme acide et la forme basique. Justifie la réponse.</p> <p>2.2) Ecris l'équation-bilan de la réaction du chlorure d'éthylammonium (<math>C_2H_5NH_3Cl</math>) avec l'eau qui conduit à la solution <math>S_2</math>.</p> <p>3)</p> <p>3.1) Des deux couples (1 et 2) préciser l'espèce chimique la plus acide et l'espèce chimique la plus basique.</p> <p>3.2) La solution <math>S_2</math> a une concentration molaire de <math>10^{-2}</math> mol. <math>L^{-1}</math>, dis, en justifiant si son pH est inférieur ou supérieur à celui de la solution <math>S_1</math>.</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Résolution détaillée</u></b></p> <p>1)</p>

				<p>1.1) Inventaires des espèces présentes dans la solution <math>S_1</math> : <math>H_3O^+</math>, <math>OH^-</math>, <math>C_6H_5COO^-</math>, <math>H_2O</math>, <math>C_6H_5COOH</math>.  <math>pH = 3,1 \Rightarrow [H_3O^+] = 10^{-3,1} = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}</math>;  à <math>25^\circ C</math> <math>[OH^-] = 10^{(pH-14)} = 10^{-10,9} = 1,26 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}</math>;  ENS : <math>[C_6H_5COO^-] = [H_3O^+] - [OH^-] = [H_3O^+]</math> car <math>[H_3O^+] \gg [OH^-]</math> ;  CM : <math>C = [C_6H_5COO^-] + [C_6H_5COOH] \Rightarrow [C_6H_5COOH] = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}</math></p> <p>1.2) Après l'ionisation, <math>[C_6H_5COOH]_{\text{Restant}} \neq 0</math>, l'acide benzoïque est un acide faible.</p> <p>1.3) Equation : <math>C_6H_5COOH + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5COO^- + H_3O^+</math></p> <p>1.4) <math>Ka_1 = \frac{[C_6H_5COO^-][H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{7,9 \cdot 10^{-4} \times 7,9 \cdot 10^{-4}}{9,2 \cdot 10^{-3}} = 6,78 \cdot 10^{-5} \Rightarrow pKa_1 = 4,2</math></p> <p>2)</p> <p>2.1) Dans le couple 2 :  <math>C_2H_5NH_3^+</math> : la forme acide ; <math>C_2H_5NH_2</math> : la forme basique .  <math>C_2H_5NH_2 + H^+ \rightarrow C_2H_5NH_3^+</math> et <math>C_2H_5NH_3^+ \rightarrow C_2H_5NH_2 + H^+</math></p> <p>2.2) Equation :</p> $C_2H_5NH_3Cl \xrightarrow{H_2O} C_2H_5NH_3^+ + Cl^-$ $C_2H_5NH_3^+ + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5NH_2 + H_3O^+$ <p>3)</p> <p>3.1) Le couple 1 à un <math>pKa = 4,2</math> et le couple 2 a un <math>pKa = 10,7</math> on a donc :  l'espèce la plus acide : <math>C_6H_5COOH</math> (l'acide benzoïque) ; l'espèce la plus basique : <math>C_2H_5NH_2</math> (l'éthylamine)</p> <p>3.2) <math>pH</math> de la solution <math>S_2</math> est supérieur à celui de la solution <math>S_1</math>.</p>
--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : RÉACTIONS ACIDO-BASIQUES - SOLUTIONS TAMPONS</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 10H (5 séances)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Les caractéristiques de la réaction entre : - Un acide fort et une base forte ; - Un acide faible et une base forte ; - Un acide fort et une base faible.
Écrire	L'équation-bilan de la réaction entre : - Un acide fort et une base forte - Un acide faible et une base forte ; - Un acide fort et une base faible.
Schématiser	Le dispositif expérimental du dosage pH-métrique.
Tracer	La courbe de variation du pH en fonction du volume au cours de la réaction entre : - Un acide fort et une base forte ; - Un acide faible et une base forte ; - Un acide fort et une base faible.
Exploiter	La courbe de variation du pH au cours en fonction du volume de la réaction entre : - Un acide fort et une base forte ; - Un acide faible et une base forte ; - Un acide fort et une base faible.
Définir	L'équivalence acido-basique.
Déterminer	- La concentration molaire volumique en acide (ou en base) ; - La nature du mélange à l'équivalence.
Analyser	L'influence des concentrations molaires volumiques sur la courbe pH-métrique.
Définir	Une solution tampon.
Connaître	- Les propriétés d'une solution tampon. - les trois méthodes de préparation d'une solution tampon
Déterminer	La composition d'une solution tampon.
Expliquer	L'intérêt d'une solution tampon.

### Situation d'apprentissage

Lors d'une journée scientifique organisée au Lycée, une conférence est prononcée à l'intention des élèves de la Terminale C/D par un ingénieur agronome. Les élèves apprennent que le pH joue un rôle important dans la culture des plantes et que les meilleures conditions agronomiques sont au voisinage de la neutralité (pH voisin de 7). Le conférencier ajoute qu'on corrige l'acidité d'un sol par l'apport de la chaux qui permet d'élever le pH d'un sol trop acide.

Emerveillés par ces informations, les élèves décident de connaître les caractéristiques de la réaction entre un acide et une base, de tracer la courbe de variation du pH en fonction du volume puis de l'exploiter et d'expliquer l'intérêt d'une solution tampon.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Solution d'acide chlorhydrique - Solution d'hydroxyde de sodium ; Solution d'acide éthanoïque ; Solution d'ammoniac ; Solution d'éthanoate de sodium ; - Thermomètre ; Burette ; Pipette jaugée ; pH-mètre et solutions tampons pour étalonnage - Agitateur magnétique ; Bêchers ; Papier millimétré ; Courbes à interpréter - Indicateurs colorés (B.B.T, hélianthine, phénolphtaléine) ; - Rétroprojecteur/ vidéoprojecteur - Transparents - Marker pour transparent - Tableau de mesures du dosage pH métrique de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

**PLAN DE LA LEÇON****1- Réaction entre un acide fort et une base forte**

- 1.1- Nature de la réaction
  - 1.1.1- **Expérience et observation**
  - 1.1.2- **Exploitation des données**
  - 1.1.3- **Conclusion**
- 1.2- Etude de l'évolution du pH au cours de la réaction
  - 1.2.1- **Expérience**
  - 1.2.2- **Montage expérimental**
  - 1.2.3- **Tableau des mesures**
  - 1.2.4- **Tracé de la courbe  $\text{pH} = f(V_b)$**
  - 1.2.5- **Analyse de la courbe**
  - 1.2.6- **L'équivalence acido-basique**

**Activité d'application 1 :****2- Réaction entre un acide faible et une base forte**

- 2.1- Nature de la réaction
  - 2.1.1- **Expérience et observation**
  - 2.1.2- **Exploitation des données**
  - 2.1.3- **Conclusion**
- 2.2- Evolution du pH au cours de la réaction
  - 2.2.1- **Dispositif expérimental**
  - 2.2.2- **Tableau des mesures**
  - 2.2.3- **Courbe de variation du pH en fonction du volume de soude versé**
  - 2.2.4- **Exploitation de la courbe**
  - 2.2.5- **Le point d'équivalence**
  - 2.2.6- **Le point de demi-équivalence F**
- 2.3- Influence des concentrations sur l'allure de la courbe

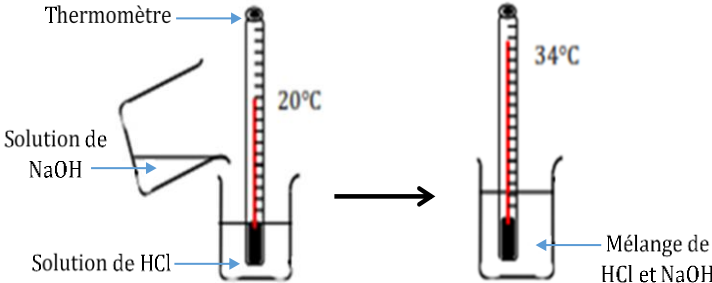
**3- Réaction entre un acide fort et une base faible**

- 3.1- Caractéristiques de la réaction
- 3.2- Action de l'acide chlorhydrique sur l'ammoniac

**4- Solutions tampons**

- 4.1- Composition d'une solution tampon
- 4.2- Propriétés d'une solution tampon
  - 4.2.1- **Expérience et observations**
  - 4.2.2- **Conclusion**
- 4.3- Préparation d'une solution tampon
- 4.4- Intérêt d'une solution tampon

**Situation d'évaluation**

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE									
				<b>RÉACTIONS ACIDO- BASIQUES - SOLUTIONS TAMPONS</b>									
				<p><b>1. Réaction entre un acide fort et une base forte</b></p> <p>1.1. <u>Nature de la réaction</u></p> <p><b>1.1.1. <u>Expérience et observation</u></b></p> <p>On mélange dans un bécher, un volume <math>V_a = 20</math> mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration <math>C_a = 10^{-2}</math> mol/L et de pH = 2 à un volume <math>V_b = 10</math> mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (soude) de concentration <math>C_b = 10^{-2}</math> mol/L. La mesure du pH du mélange donne pH = 2,5.</p>  <p style="text-align: center;"><b>Réaction entre HCl et NaOH</b></p> <p>La réaction est exothermique.</p> <p><b>1.1.2. <u>Exploitation des données</u></b></p> <p>➤ Détermination des quantités de matière de <math>H_3O^+</math> et <math>OH^-</math> avant et après le mélange :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Avant le mélange</th> <th>Après le mélange</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>n(H_3O^+) \text{ mol}</math></td> <td><math>C_a \cdot V_a = 2 \cdot 10^{-4}</math></td> <td><math>10^{-pH} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-4}</math></td> </tr> <tr> <td><math>n(OH^-) \text{ mol}</math></td> <td><math>C_b \cdot V_b = 10^{-4}</math></td> <td><math>\frac{K_e}{10^{-pH}} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-13}</math></td> </tr> </tbody> </table> <p><math>\Delta n(H_3O^+) = n(H_3O^+)_M - n(H_3O^+) = 9,6 \cdot 10^{-5} - 20 \cdot 10^{-5} = -10^{-4} \text{ mol} ;</math>  <math>\Delta n(OH^-) = n(OH^-)_M - n(OH^-) = 9,5 \cdot 10^{-14} - 10 \cdot 10^{-5} = -10^{-4} \text{ mol}.</math></p>		Avant le mélange	Après le mélange	$n(H_3O^+) \text{ mol}$	$C_a \cdot V_a = 2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-pH} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-4}$	$n(OH^-) \text{ mol}$	$C_b \cdot V_b = 10^{-4}$	$\frac{K_e}{10^{-pH}} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-13}$
	Avant le mélange	Après le mélange											
$n(H_3O^+) \text{ mol}$	$C_a \cdot V_a = 2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-pH} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-4}$											
$n(OH^-) \text{ mol}$	$C_b \cdot V_b = 10^{-4}$	$\frac{K_e}{10^{-pH}} \cdot (V_a + V_b) \approx 10^{-13}$											

La quantité de matière de  $\text{H}_3\text{O}^+$  ayant réagi est égale à la quantité de matière de  $\text{OH}^-$  ajouté.

La réaction est donc totale.

### **1.1.3. Conclusion**

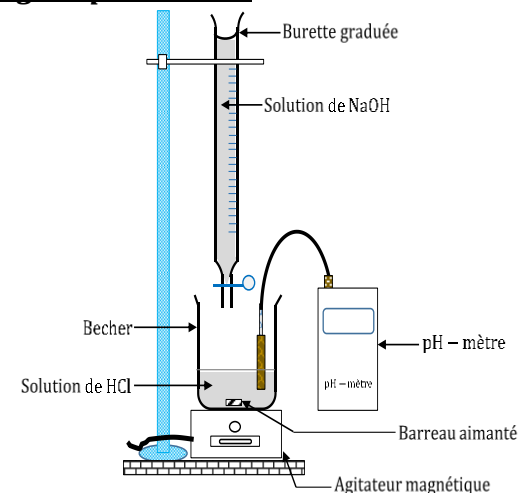
La réaction d'un acide fort et une base forte est **exothermique** et **totale**. Son équation-bilan s'écrit :  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

### **1.2. Etude de l'évolution du pH au cours de la réaction**

#### **1.2.1. Expérience**

A 25°C, on verse à l'aide d'une burette graduée une solution de soude de concentration  $C_b = 10^{-2} \text{ mol/L}$  sur  $V_a = 20 \text{ mL}$  d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_a$  inconnue. On relève le pH du mélange au fur et à mesure.

#### **1.2.2. Montage expérimental**



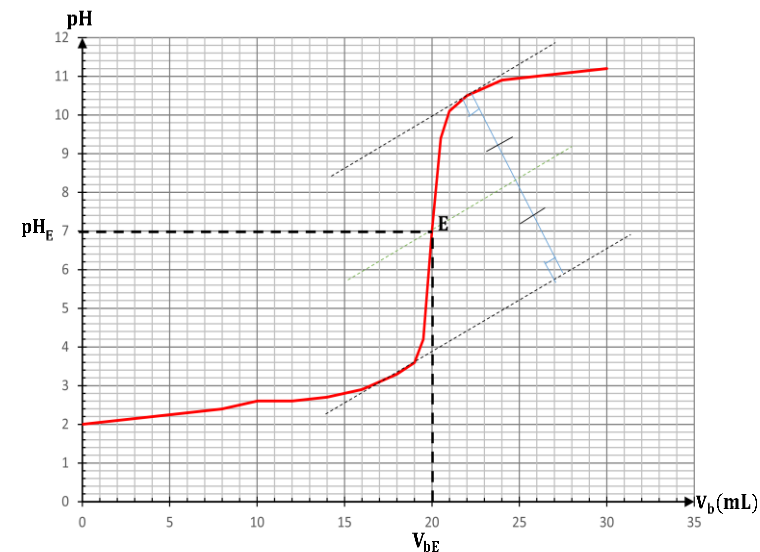
**Schéma du dispositif de dosage pH métrique**

#### **1.2.3. Tableau des mesures**

$V_b$ (mL)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
pH	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7	2,9	3,3

$V_b$ (mL)	19	19,5	20	20,5	21	22	24	26	28	30
pH	3,6	4,2	7	9,4	10,1	10,5	10,9	11	11,1	11,2

#### 1.2.4. Tracé de la courbe $\text{pH} = f(V_b)$



#### Courbe d'évolution du pH en fonction de $V_b$ versé

#### 1.2.5. Analyse de la courbe

La courbe est croissante, comporte trois parties et présente un point d'inflexion (E).

1<sup>ère</sup> partie :  $0 \leq V_b \leq 19 \text{ mL}$  : le pH varie peu lors de l'addition de la solution de NaOH. La courbe est quasi linéaire et présente une concavité tournée vers le haut.

2<sup>ème</sup> partie :  $19 \text{ ml} \leq V_b \leq 21 \text{ mL}$  : On observe un « saut de pH », la courbe change de cavité et présente un point d'inflexion E.

3<sup>ème</sup> partie :  $V_b > 21 \text{ mL}$  : Le pH varie très peu et la courbe tend vers une asymptote horizontale d'équation  $\text{pH} = \text{p}K_e + \log C_b$ . La concavité de la courbe est tournée vers le bas.

**1.2.6. L'équivalence acido-basique****➤ 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.

**➤ Relation d'équivalence**

A l'équivalence acido-basique,  $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-) \Rightarrow \boxed{C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_{bE}}$

**➤ Détermination graphique du point d'équivalence (E)**

Le point d'équivalence se détermine à l'aide de la méthode des tangentes parallèles. Les coordonnées sont :

$$E \begin{cases} V_{bE} = 20 \text{ mL} \\ \text{pH}_E = 7 \end{cases}$$

**➤ Composition du mélange à l'équivalence**

✓ Inventaire :  $\text{Na}^+; \text{Cl}^-; \text{H}_3\text{O}^+; \text{OH}^-$  et  $\text{H}_2\text{O}$

✓  $[\text{Na}^+] = \frac{C_b \cdot V_{bE}}{V_a + V_{bE}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ ;  $[\text{Cl}^-] = \frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_{bE}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

✓ ENS :  $[\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{OH}^-]$  or  $[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-]$

$\Rightarrow [\text{Na}^+] = [\text{OH}^-]$  comme  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-]$  soit  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_e} = 10^{-7} \text{ mol/L}$

✓ pH du mélange à l'équivalence :  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 7$

A l'équivalence acido-basique on obtient une solution neutre de

chlorure de sodium de concentration :  $C = \frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_{bE}}$ .

**Activité d'application 1 :**

A l'aide d'une burette graduée, on verse dans  $V_b = 50 \text{ mL}$  d'une solution d'hydroxyde de sodium, une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_a = 10^{-2} \text{ mol/L}$ . On mesure le pH en fonction du volume  $V_a$  de la solution d'acide versée. Les valeurs correspondantes sont rassemblées dans le tableau suivant : (voir tableau)

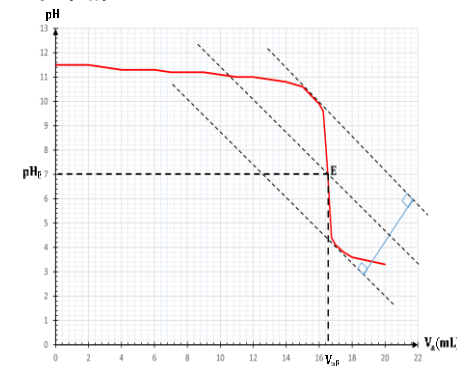
$V_a$ (mL)	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10
pH	11,5	11,5	11,5	11,4	11,3	11,3	11,3	11,2	11,2	11,1

$V_a$ (mL)	11	12	13	14	15	16	16,25	16,5	16,75	17
pH	11	11	10,9	10,8	10,6	9,9	9,6	7,3	4,4	4,1
$V_a$ (mL)	17,5	18	20							
pH	3,8	3,6	3,3							

- 1) Ecris l'équation- bilan de la réaction qui a lieu.
- 2) Trace la courbe  $pH = f(V_a)$ .  
Echelle : 1cm pour une unité de pH et 1cm pour 2 mL
- 3) Détermine graphiquement les coordonnées du point d'équivalence E.
- 4) En déduis la concentration  $C_b$  de la solution d'hydroxyde de sodium.
- 5) Détermine les concentrations molaires des espèces chimiques présentes dans le mélange lorsque l'on a versé  $V_a = 10$  mL d'acide chlorhydrique.
- 6) Vers quelle limite tend la valeur du pH de la solution finale quand on ajoutera une très grande quantité de solution d'acide chlorhydrique.

### **Résolution**

- 1) Equation-bilan :  $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$
- 2) Courbe  $pH = f(V_a)$



- 3) Graphiquement :

$$E \begin{cases} V_{aE} = 16,4 \text{ mL} \\ pH_E = 7 \end{cases}$$

4) A l'équivalence on a :  $C_a V_{aE} = C_b V_b \Rightarrow C_b = \frac{C_a V_{aE}}{V_b}$  A.N :  $C_b = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$

5) Calcul des concentrations des espèces chimiques présentes dans le mélange avec  $V_a = 10 \text{ mL}$ . On a  $pH = 11,1$   
 $[H_3O^+] = 10^{-11,1} = 7,9 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$ ;  $[OH^-] = 10^{(pH-14)} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ ;  $[Na^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ ;  $[Cl^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ .

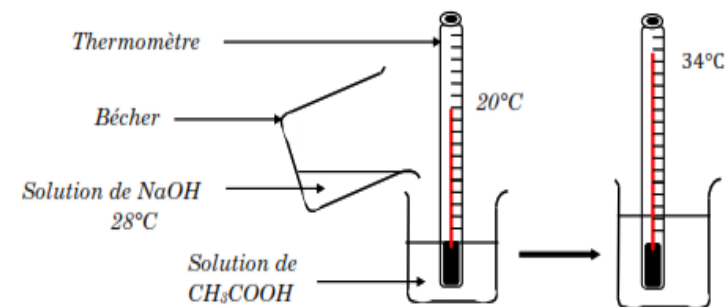
6)  $pH = -\log C_a = 2$

## 2. Réaction entre un acide faible et une base forte

### 2.1. Nature de la réaction

#### 2.1.1. Expérience et observation

On verse un volume  $V_b = 1 \text{ mL}$  de solution de soude de concentration  $C_b = 2 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L}$  sur  $V_a = 100 \text{ mL}$  d'une solution d'acide éthanóïque de concentration  $C_a = 10^{-2} \text{ mol/L}$ . Le pH du mélange est égale à 4,2.



### Réaction entre $CH_3COOH$ et $NaOH$

La réaction est exothermique.

#### 2.1.2. Exploitation des données

✓ Inventaire :  $H_3O^+$  ;  $OH^-$  ;  $Na^+$  ;  $CH_3COO^-$  ;  $H_2O$  ;  $CH_3COOH$ .

✓ Calcul des concentrations :

-  $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-4,2} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$

-  $[OH^-] = 10^{pH-14} = 10^{-9,8} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$

- $[\text{Na}^+] = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a + V_b} \approx \frac{C_b \cdot V_b}{V_a}$  car  $V_b \ll V_a \Rightarrow [\text{Na}^+] = 2.10^{-3} \text{ mol/L}$
- ENS :  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{Na}^+]$  comme  $[\text{OH}^-] \ll [\text{H}_3\text{O}^+]$  et  $[\text{H}_3\text{O}^+] \ll [\text{Na}^+] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] \approx [\text{Na}^+] = 2.10^{-3} \text{ mol/L}$
- CM :  $\frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_b} \approx C_a = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{restant}}$  comme  $V_b \ll V_a \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{restant}} = C_a - [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 8.10^{-3} \text{ mol/L}$

✓ Composition des solutions

	Avant le mélange	Après le mélange
$n(\text{CH}_3\text{COOH}) \text{ mol}$	$C_a \cdot V_a = 10^{-3}$	$[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot V_a \approx 0,8.10^{-3}$
$n(\text{OH}^-) \text{ mol}$	$C_b \cdot V_b = 2.10^{-4}$	$[\text{OH}^-] V_a \approx 1,6.10^{-11}$

Les ions  $\text{OH}^-$  introduits ont quasiment tous réagi : la réaction est totale. La quantité de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  disparue est égale à celle de  $\text{OH}^-$  introduite et disparue : la réaction se déroule donc entre ces deux espèces.

**2.1.3. Conclusion**

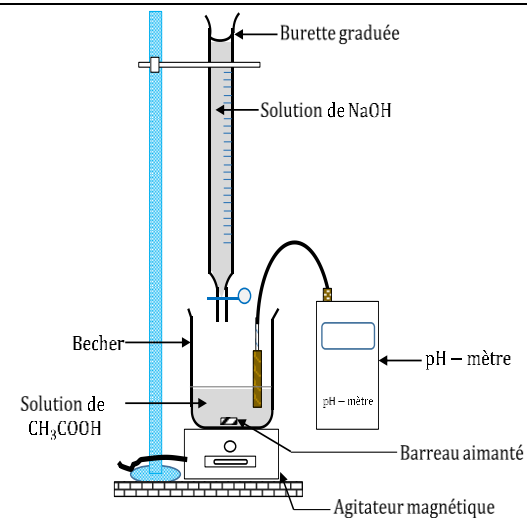
La réaction entre un acide faible et une base forte est **exothermique** et **totale**. L'équation-bilan s'écrit :

- ✓ Acide faible de type AH :  $\text{AH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}$
- ✓ Acide faible de type BH<sup>+</sup> :  $\text{BH}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{B} + \text{H}_2\text{O}$

**2.2. Evolution du pH au cours de la réaction**

A 25°C, on verse à l'aide d'une burette graduée une solution de soude de concentration  $C_b = 10^{-1} \text{ mol/L}$  sur un volume  $V_a = 20 \text{ mL}$  d'une solution d'acide éthanoïque de concentration  $C_a$  inconnue. On relève le pH du mélange au fur et à mesure.

**2.2.1. Dispositif expérimental**



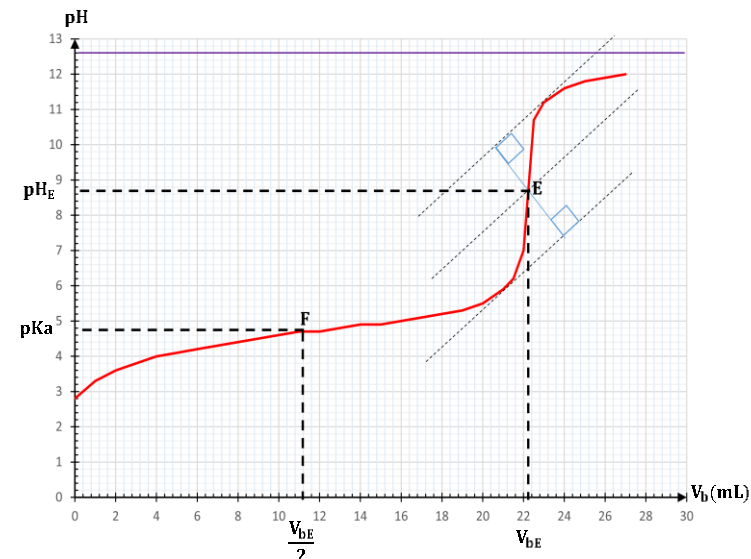
**Schéma du dispositif de dosage pH métrique**

**2.2.2. Tableau des mesures**

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
pH	2,8	3,3	3,6	3,8	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
$V_b$ (mL)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
pH	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9	4,9	5	5,1	5,2	5,3
$V_b$ (mL)	20	21	21,5	22	22,5	23	24	25	26	27
pH	5,5	5,9	6,2	7	10,7	11,2	11,6	11,8	11,9	12

**2.2.3. Courbe de variation du pH en fonction du volume de soude versé**



#### 2.2.4. Exploitation de la courbe

La courbe est **croissante**. Elle comporte **quatre (04) parties**, trois concavités et donc présente deux points d'inflexion E et F.

1<sup>ère</sup> partie :  $0 \leq V_b \leq 4 \text{ mL}$  : Le pH croît rapidement. La concavité de la courbe est tournée vers le bas.

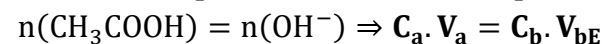
2<sup>ème</sup> partie :  $4 \text{ mL} \leq V_b \leq 21 \text{ mL}$  : Le pH varie peu, il croît de façon quasi linéaire avec un changement de concavité. La courbe présente un point d'inflexion **F** appelé point de **demi-équivalence**.

3<sup>ème</sup> partie :  $21 \text{ mL} \leq V_b \leq 23 \text{ mL}$  : On observe un saut de pH avec changement de concavité de la courbe. La courbe présente un second point d'inflexion **E** : **le point d'équivalence**.

4<sup>ème</sup> partie :  $V_b \geq 23 \text{ mL}$  : La courbe présente une asymptote horizontale d'équation  $\text{pH} = \text{pK}_e + \log C_b$ . Le pH du mélange tend vers celui de la base forte (NaOH).

#### 2.2.5. Le point d'équivalence

➤ Relation d'équivalence acido-basique :



➤ **Détermination graphique des coordonnées de E :**

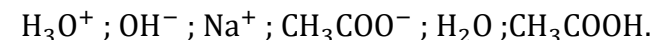
A l'aide de la méthode des tangentes parallèles, on obtient :

$$E(V_{bE} = 22,2 \text{ mL} ; \text{pH}_E = 8,7)$$

**Remarque :** A l'équilibre acido-basique, on a :  $\text{pH} = 8,7$ . La solution est donc basique.

➤ **Composition du mélange à l'équivalence :**

✓ **Inventaire des espèces chimiques :**



✓ **Calcul des concentrations :**

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-8,7} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-5,3} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{C_b V_{bE}}{V_a + V_{bE}} = 5,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{ENS : } [\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \text{ comme } [\text{H}_3\text{O}^+] \ll [\text{OH}^-] \text{ et } [\text{Na}^+] \gg [\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+] = 5,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{CM : } [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_{bE}} - [\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_{bE}} - ([\text{Na}^+] - [\text{OH}^-]) \text{ or}$$

$$C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_{bE} \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-] = 5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

**Conclusion :**

A l'équivalence acido-basique, les espèces majoritaires sont :  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  et  $\text{Na}^+$ . On a donc une solution aqueuse d'éthanoate de sodium d'où le caractère basique de la solution à l'équivalence.

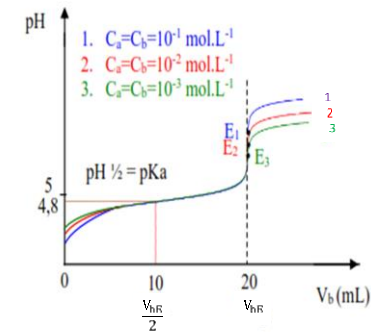
**2.2.6. Le point de demi-équivalence F**

A la demi-équivalence,  $V_{bF} = \frac{1}{2} V_{bE}$ .

On obtient ainsi :  $F \begin{cases} V_{bF} = 11,1 \text{ mL} \\ \text{pH}_F = 4,8 \end{cases}$

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.

2.3. 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.

3. Réaction entre un acide fort et une base faible3.1. 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  $A^-$  :  $A^- + H_3O^+ \rightarrow AH + H_2O$
- ✓ Base faible de type B :  $B + H_3O^+ \rightarrow BH^+ + H_2O$

3.2. Action de l'acide chlorhydrique sur l'ammoniac

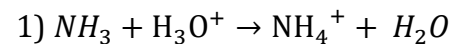
Dans un bécher, on introduit  $V_B = 20$  mL d'une solution aqueuse d'ammoniac de concentration  $C_B$  inconnue. A l'aide d'une burette graduée, on y ajoute un volume  $V$  (en ml) d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C' = 0,14$  mol/L puis on mesure au fur et à mesure le pH du mélange. On obtient alors le tableau de mesure suivant :

<b>V (mL)</b>	0	6	10	12	14	14,2	14,4	14,5	14,8	15
<b>pH</b>	11,1	9,5	9	8,6	7,7	7	6,5	6	5	4
<b>V (mL)</b>	15,2	16	18	20	30					

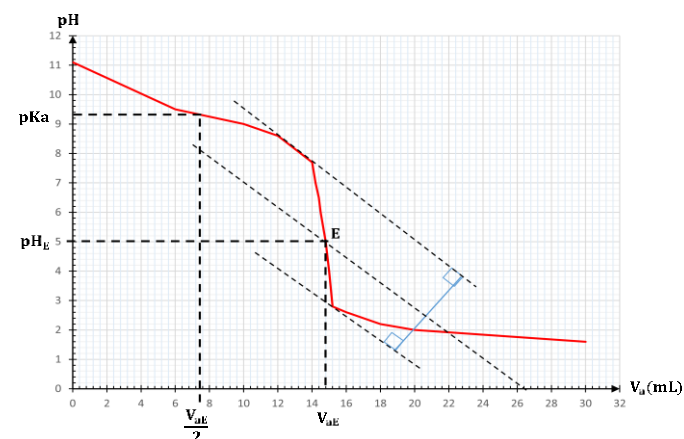
pH	2,8	2,6	2,2	2	1,6					
----	-----	-----	-----	---	-----	--	--	--	--	--

- 1) Ecris l'équation-bilan de la réaction acido-basique.
- 2) Trace la courbe  $pH = f(V)$ .  
(échelle: 1 cm  $\leftrightarrow$  2 mL et 1 cm pour une unité de pH).
- 3) Dédus de cette courbe :
  - 3.1) Les coordonnées du point d'équivalence.
  - 3.2) La valeur du pKa du couple concerné.
  - 3.3) La concentration  $C_B$  de la solution d'ammoniac.
  - 3.4) Pourquoi la solution est acide à l'équivalence.

### Résolution



2)



3)

3.1)  $E(V_E = 14,6 \text{ mL}; pH = 5,5)$

3.2)  $pKa = 9,3$

3.3) A l'équivalence  $C_A V_{AE} = C_B V_B \Rightarrow C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B} = 0,1 \text{ mol/L}$

3.4) D'après les calculs des concentrations, les espèces majoritaires sont  $NH_4^+$  et  $Cl^-$  d'où la solution aqueuse de chlorure d'ammonium solution acide.

#### 4. Solutions tampons

##### 4.1. Composition d'une solution tampon

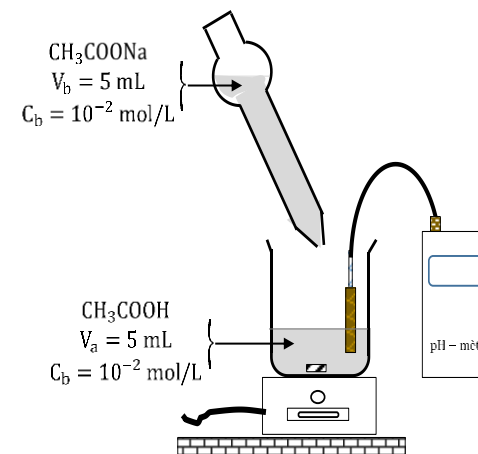
Au cours de la réaction entre un acide faible et une base forte ou d'une réaction entre une base faible et un acide fort, la réaction obtenue à la demi-équivalence est appelée **solution tampon**. Cette solution est telle que :

- ✓  $\text{pH} = \text{pK}_a$  du couple acide/base en présence dans la solution.
- ✓  $[\text{Acide}] = [\text{Base conjuguée}]$

Une solution tampon est donc constituée d'un **mélange équimolaire** d'un acide et de sa base conjuguée.

##### 4.2. Propriétés d'une solution tampon

##### 4.2.1. Expérience et observations



	pH
<b>Tube témoin</b>	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 <sup>3</sup> d'eau	4,82

##### 4.2.2. 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.

#### 4.3. Préparation d'une solution tampon

Il existe trois méthodes de préparation d'une solution tampon :

- **Mélange d'un acide faible A et d'une base forte jusqu'à la demi-équivalence.**

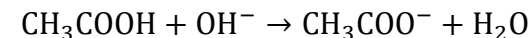
$$n(\text{OH}^-) = \frac{n(\text{A})}{2} \Rightarrow C_b \cdot V_b = \frac{C_a \cdot V_a}{2}$$

#### **Activité d'application 3**

détermine le volume  $V_b$  d'hydroxyde de sodium  $C_b = 0,5 \text{ mol/L}$  que l'on doit ajouter à un volume  $V_a = 20 \text{ mL}$  d'une solution d'acide éthanóique ( $\text{pK}_a = 4,8$ ) de concentration  $C_a = 0,1 \text{ mol/L}$  pour obtenir une solution tampon de  $\text{pH} = 4,8$ .

#### **Résolution**

Pour avoir une solution tampon de  $\text{pH} = 4,8$ , il faut que :  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$ . L'équation-bilan de la réaction est :



$$\text{Ainsi : } n(\text{OH}^-) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{2} \Rightarrow C_b \cdot V_b = \frac{C_a \cdot V_a}{2} \text{ soit } V_b = \frac{C_a \cdot V_a}{2C_b} = \frac{0,1 \times 20}{2 \times 0,5} =$$

2 mL

- **Mélange d'un acide fort et d'une base faible B jusqu'à la demi-équivalence.**

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = \frac{n(\text{B})}{2} \Rightarrow C_a \cdot V_a = \frac{C_b \cdot V_b}{2}$$

#### **Activité d'application 4**

Détermine le volume  $V_a$  d'acide chlorhydrique  $C_a = 0,4 \text{ mol/L}$  que l'on doit ajouter à un volume  $V_b = 40 \text{ mL}$  d'une solution d'ammoniac ( $\text{pK}_a = 9,2$ ) de concentration  $C_b = 0,2 \text{ mol/L}$  pour obtenir une solution tampon de  $\text{pH} = 9,2$ .

#### **Résolution**

Pour avoir une solution tampon de  $\text{pH} = 9,2$ , il faut que  $[\text{NH}_3] = [\text{NH}_4^+]$ .

				<p>L'équation-bilan est : <math>\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}</math>. Ainsi : <math>n(\text{H}_3\text{O}^+) = \frac{n(\text{NH}_3)}{2} \Rightarrow C_a \cdot V_a = \frac{C_b \cdot V_b}{2} \Rightarrow V_a = \frac{C_b \cdot V_b}{2C_a} = \frac{0,2 \times 40}{2 \times 0,4} = 10 \text{ mL}</math></p> <p>➤ <b><u>Mélange équimolaire d'un acide faible (A) et de sa base conjuguée (B)</u></b></p> $n(\text{A}) = n(\text{B}) \Rightarrow C_a V_b = C_b V_a$ <p><b><u>Activité d'application 5</u></b></p> <p>Détermine le volume <math>V_a</math> d'acide méthanoïque de concentration <math>C_a = 0,1 \text{ mol/L}</math> et le volume <math>V_b</math> de méthanoate de sodium de concentration <math>C_b = 0,3 \text{ mol/L}</math> qu'il faut mélanger pour obtenir un volume <math>V = 1 \text{ L}</math> de solution tampon de <math>\text{pH} = 3,8</math>. Le <math>\text{pK}_a</math> du couple A/B est de 3,8.</p> <p><b><u>Résolution :</u></b></p> <p>Il faut que : <math>C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_b</math> et <math>V_a + V_b = V</math>.</p> $\Rightarrow V_a = \frac{C_b \cdot V_b}{C_a} \text{ et } V_a = \frac{C_b(V - V_a)}{C_a} ; \text{ on a : } V_a = 750 \text{ mL} \Rightarrow V_b = 250 \text{ mL}$ <p>Il faut donc mélanger <math>V_a = 750 \text{ mL}</math> d'acide méthanoïque et <math>V_b = 250 \text{ mL}</math> de méthanoate de sodium pour obtenir 1L de solution tampon de <math>\text{pH} = 9,2</math>.</p> <p>4.4. <b><u>Intérêt d'une solution tampon</u></b></p> <p>➤ En chimie : pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L'étalonnage de pH-mètres ;</li> <li>✓ Le contrôle du pH lors des réactions d'oxydoréductions</li> </ul> <p>➤ En biologie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Favorise les réactions enzymatiques des médicaments ;</li> <li>✓ Favorise l'assimilation des nutriments par le sang (atténue la saveur acide du sang).</li> </ul>
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p style="text-align: center;"><b><u>Situation d'évaluation</u></b></p> <p>L'acide ascorbique, de formule <math>\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6</math>, se trouve dans les comprimés vitaminés C500 ; pour savoir la quantité d'acide ascorbique contenu dans un comprimé, on dissout un comprimé vitaminé C500 dans 100 mL d'eau ; on procède au dosage pH métrique de ces 100 mL de</p>

solution acide par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire  $C_b = 0,32 \text{ mol/L}$ .

Le pH du mélange réactionnel en fonction du volume de solution de base versée  $V_b$  est donné dans le tableau suivant.

$V_b(\text{mL})$	1	3	4	5	6	7	8
<b>pH</b>	3,3	3,8	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1

$V_b(\text{mL})$	8,5	9	9,5	10	11	13	15
<b>pH</b>	5,6	9,6	10,2	10,5	10,8	11,0	11,2

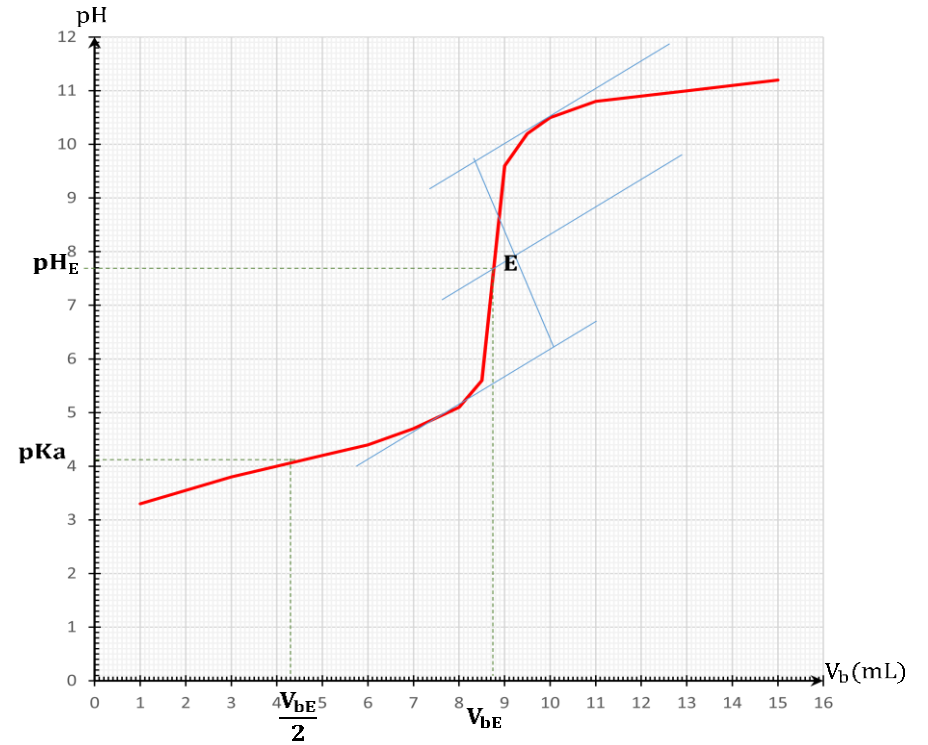
1. L'acide ascorbique est un monoacide faible noté AH
  - 1.1. Donne la notation de sa base conjuguée.
  - 1.2. Ecris l'équation-bilan de la réaction produite au cours du dosage.
2. Trace le graphe  $\text{pH} = f(V_b)$  :
 

échelle:  $\begin{cases} 1 \text{ cm} \leftrightarrow 1 \text{ mL} \\ 1 \text{ cm} \leftrightarrow 1 \text{ unité pH} \end{cases}$
3. Déduis du graphe :
  - 3.1. Les coordonnées du point d'équivalence.
  - 3.2. La valeur du pKa du couple acide ascorbique/base conjuguée.
4. Détermine la masse d'acide ascorbique contenu dans le comprimé.

**Donnée** :  $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$ ,  $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ ,  $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$

### Résolution

1.
  - 1.1. Notation de la base conjuguée de AH est  $A^-$ .
  - 1.2. Equation-bilan :  $AH + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$ .
2. Trace du graphe  $\text{pH} = f(V_b)$ .



3.

3.1. Le point d'équivalence :  $E$  : ( $V_{bE} = 8,8 \text{ mL}$  ;  $pH_E = 7,6$ ).3.2. Le  $pKa$  du couple acide ascorbique/base conjuguée est : 4,1

4. Détermination de la masse d'acide ascorbique contenu dans le comprimé : à l'équivalence on a :  $C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_{bE}$  comme  $C_a \cdot V_a = \frac{m}{M_{C_6H_8O_6}} \Rightarrow m = C_b \cdot V_{bE} \cdot M_{C_6H_8O_6} \cdot A.N : M_{C_6H_8O_6} = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 $m = 0,496 \text{ g} \approx 0,5 \text{ g}$

<b>Niveau/Classe : Tle C/D/E</b>	
<b>Thème : CHIMIE GENERALE</b>	
<b>Compétence 6 : Traiter une situation se rapportant à la chimie générale</b>	
<b>Titre de la leçon : DOSAGE ACIDO-BASIQUE</b> <span style="float: right;"><b>Durée : 2H (1 séance)</b></span>	
<b>HABILETES</b>	<b>CONTENUS</b>
Connaître	Le principe d'un dosage.
Réaliser	Le dosage colorimétrique d'une solution commerciale de vinaigre.
Justifier	Le choix d'un indicateur coloré.
Schématiser	Le dispositif expérimental d'un dosage colorimétrique.
Déterminer	- La concentration molaire volumique en acide (ou en base) d'une solution commerciale ; - les concentrations molaires volumiques du mélange à l'équivalence ;
Dégager	L'intérêt d'un dosage.

### Situation d'apprentissage

Regardant un documentaire sur la chaîne 1 de la Télévision ivoirienne, une élève de la Terminale D du Lycée apprend que le vinaigre utilisé pour la vinaigrette est constitué essentiellement d'acide éthanóique à 8°. Voulant vérifier cette information, elle et ses camarades de classe entreprennent de réaliser le dosage du vinaigre et de déterminer sa concentration molaire volumique.

<b><u>MATERIELS DE TRAVAIL</u></b> - Vinaigre non coloré ; solutions tirées de soude ; - Burette ; Pipette jaugée ; Béchers ; Agitateur magnétique - Indicateurs colorés (B.B.T, hélianthine, phénolphtaléine)	<b><u>SUPPORTS DIDACTIQUES :</u></b> Support sur planche Manuel élève
	<b><u>BIBLIOGRAPHIE :</u></b> Collection AREX Physique-Chimie Tle

### PLAN DE LA LEÇON

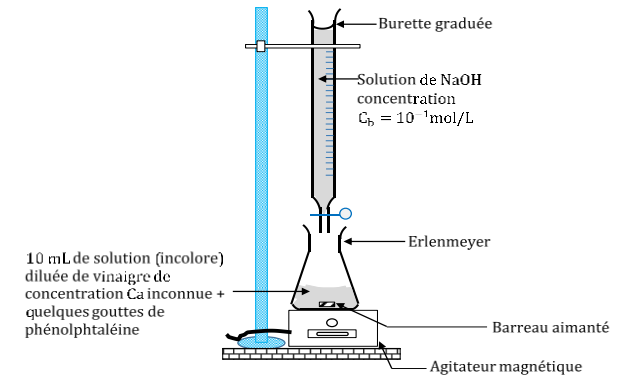
<b>1- Généralités</b> 1.1- <u>Protocole expérimental</u> 1.2- <u>Principe de dosage et technique de dosage</u> <b>2- Dosage calorimétrique d'une solution commerciale de vinaigre</b> 2.1- <u>Préparation d'une solution diluée de vinaigre</u> 2.2- <u>Montage expérimental</u> 2.3- <u>Expérience et observation</u> 2.4- <u>Interprétation</u> 2.5- <u>Le choix de l'indicateur coloré</u> 2.6- <u>Concentration molaires volumiques</u> <b>3- Intérêt du dosage</b> <b><u>Activité d'application</u></b>	<b>Situation d'évaluation</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

DUREE	STRATEGIES PEDAGOGIQUES	ACTIVITES DE L'ENSEIGNANT	ACTIVITES DES ELEVES	TRACE ECRITE
				<p style="text-align: center;"><b>DOSAGE ACIDO-BASIQUE</b></p> <p><b>1. Généralités</b></p> <p>1.1. <u>Protocole expérimental</u> On prélève un volume <math>V_a</math> 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'une nouvelle couleur. On relève alors le volume (<math>V_{\text{éq}}</math>) de solution versée.</p> <p>1.2. <u>Principe de dosage et technique de dosage</u> <b>Un dosage</b> est une technique expérimentale qui permet de déterminer la concentration molaire <math>C</math> inconnue d'une espèce chimique dans une solution. De façon général, on fait réagir une espèce chimique <b>A</b>, de concentration <math>C_A</math> inconnue sur une espèce chimique <b>B</b> de concentration <math>C_B</math> connue, selon la réaction chimique : <b>A + B → AB</b>. Cette réaction chimique entre <b>A</b> et <b>B</b> doit être unique, rapide et totale. Ainsi, on peut utiliser les réactions acido-basiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Acide fort-base forte</b> <math display="block">\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}</math></li> <li>✓ <b>Acide faible-base forte</b> <math display="block">\text{AH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}</math> <math display="block">\text{BH}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{B} + \text{H}_2\text{O}</math></li> <li>✓ <b>Acide fort-base faible</b> <math display="block">\text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^- \rightarrow \text{AH} + \text{H}_2\text{O}</math> <math display="block">\text{H}_3\text{O}^+ + \text{B} \rightarrow \text{BH}^+ + \text{H}_2\text{O}</math></li> </ul> <p>Il existe deux types de dosages acido-basiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le dosage pH métrique</li> <li>- Le dosage colorimétrique.</li> </ul> <p><b>2. Dosage calorimétrique d'une solution commerciale de vinaigre</b></p>

### 2.1. Préparation d'une solution diluée de vinaigre

On prélève  $V_0 = 1 \text{ mL}$  de la solution commerciale de vinaigre  $8^\circ$  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 à 2,9.

### 2.2. Montage expérimental



### 2.3. Expérience et observation

A l'aide d'une burette graduée, on verse goutte à goutte de la soude de  $C_b = 10^{-1} \text{ mol/L}$  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 13 mL. Le pH du mélange est alors égale à 8,8.

### 2.4. 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.

$$\text{Alors : } n_a(\text{vinaigre}) = n_b(\text{soude}) \Rightarrow C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_{b\text{éq}} \Rightarrow C_a = \frac{C_b \cdot V_{b\text{éq}}}{V_a}$$

$$\Rightarrow C_a = \frac{10^{-1} \times 13}{10} = 0,13 \text{ mol/L}$$

### 2.5. 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.

### 2.6. Concentration molaires volumiques

#### ➤ Concentration de la solution diluée

A l'équivalence :  $C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_{b\acute{e}q} \Rightarrow C_a = \frac{C_b \cdot V_{b\acute{e}q}}{V_a} \Rightarrow C_a = 0,13 \text{ mol/L}$

#### ➤ Concentration $C_0$ de la solution commerciale

$$C_0 = 10 C_a \Rightarrow C_0 = 1,3 \text{ mol/L}$$

#### ➤ Concentration volumiques des espèces chimiques à l'équivalence

✓ Inventaire :  $\text{H}_3\text{O}^+$  ;  $\text{Na}^+$  ;  $\text{OH}^-$  ;  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  ;  $\text{H}_2\text{O}$  ;  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

✓ Concentrations :

$$- [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L ;}$$

$$- [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L.}$$

$$- [\text{Na}^+] = \frac{C_b \cdot V_{b\acute{e}q}}{V_a + V_{b\acute{e}q}} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L.}$$

$$- \text{ENS : } [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] - [\text{OH}^-] \approx [\text{Na}^+] = 11,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L.}$$

$$- \text{CM : } \frac{C_a \cdot V_a}{V_a + V_{b\acute{e}q}} = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}] \text{ à l'équivalence : } C_a \cdot V_a =$$

$$C_b \cdot V_{b\acute{e}q} \text{ alors } [\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{C_b \cdot V_{b\acute{e}q}}{V_a + V_{b\acute{e}q}} - ([\text{Na}^+] - [\text{OH}^-]) \approx$$

$$[\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L.}$$

### 3. 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 colorés	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Helianthine	Rouge	3,1 - 4,4	Jaune

				<table border="1"> <tr> <td>Bleu de bromothymol (BBT)</td> <td>Jaune</td> <td>6 - 7,6</td> <td>Bleu</td> </tr> <tr> <td>Phenolphthaléine (<math>\varphi\varphi</math>)</td> <td>incolore</td> <td>8,2 - 10</td> <td>Rose violacé</td> </tr> </table>				Bleu de bromothymol (BBT)	Jaune	6 - 7,6	Bleu	Phenolphthaléine ( $\varphi\varphi$ )	incolore	8,2 - 10	Rose violacé
Bleu de bromothymol (BBT)	Jaune	6 - 7,6	Bleu												
Phenolphthaléine ( $\varphi\varphi$ )	incolore	8,2 - 10	Rose violacé												
				<p>Parmi les indicateurs colorés ci-dessus, indique ceux qui sont susceptibles d'être utilisés pour un dosage :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) D'un acide fort par une base forte</li> <li>2) D'une base forte par un acide fort</li> <li>3) D'un acide faible par une base forte</li> <li>4) D'une base faible par un acide fort.</li> </ol> <p><b>Résolution</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Un dosage acide fort par une base forte : le BBT .</li> <li>2) Un dosage base forte par un acide fort : le BBT</li> <li>3) Un dosage acide faible par une base forte : le <math>\varphi\varphi</math> ; le BBT</li> <li>4) Un dosage base faible par un acide fort : le BBT ; l'Helianthine</li> </ol>											
Evaluation	Travail individuel	Enoncé de la situation d'évaluation		<p><b>Situation d'évaluation</b></p> <p>Un élève de la classe de terminale réalise le dosage d'une solution d'acide benzoïque de volume <math>V_a = 50</math> mL par une solution de soude de concentration molaire <math>C_b = 10^{-1}</math> mol/L. La phénolphtaléine présente dans le mélange vire au rose violacé lorsque le volume de soude versé est <math>V_b = 20</math> mL.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fais le schéma du dispositif expérimental.</li> <li>2. Précise le rôle de la phénolphtaléine.</li> <li>3. Ecris l'équation-bilan de la réaction acido-basique qui a lieu.</li> <li>4. Détermine la concentration molaire volumique de la solution d'acide benzoïque.</li> <li>5. Précise la nature (acide, basique ou neutre) du mélange à l'équivalence.</li> </ol> <p><b>Résolution</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Voir cours.</li> <li>2. La phénolphtaléine est utilisée pour repérer l'équivalence. Elle change de couleur au moment où l'équivalence est atteinte.</li> <li>3. Equation-bilan : <math>C_6H_5 - COOH + OH^- \rightarrow C_6H_5 - COO^- + H_2O</math></li> <li>4. Concentration molaire volumique de l'acide benzoïque : à l'équivalence <math>C_a \cdot V_a = C_b \cdot V_b \Rightarrow C_a = \frac{C_b \cdot V_b}{V_a}</math> A.N : <math>C_a = 4 \cdot 10^{-2}</math> mol. L<sup>-1</sup>.</li> <li>5. A l'équivalence le mélange est basique car <math>pH &gt; 7</math>.</li> </ol>											