

CAHIER D'ÉLÈVE
2 BAC BIOF
COURS - ACTIVITÉS - EXERCICES
PHYSIQUE-CHIMIE

Semestre 1

Réalisé par :

Dr. Nidal NACEIRI MRABTI



EDITION ABOUDA PRINT

CAHIER D'ELEVE

BAC BIOF

COURS – ACTIVITES – EXERCICES

PHYSIQUE - CHIMIE

EDITION: EDITION ABOUDA PRINT

FEVRIER 2024

DEPOT LEGAL:2024MO0323

ISBN :978-9920-31-056-7

المملكة المغربية
+٢٠١٨٢٤٣ | ٢٠١٩٥٤٣



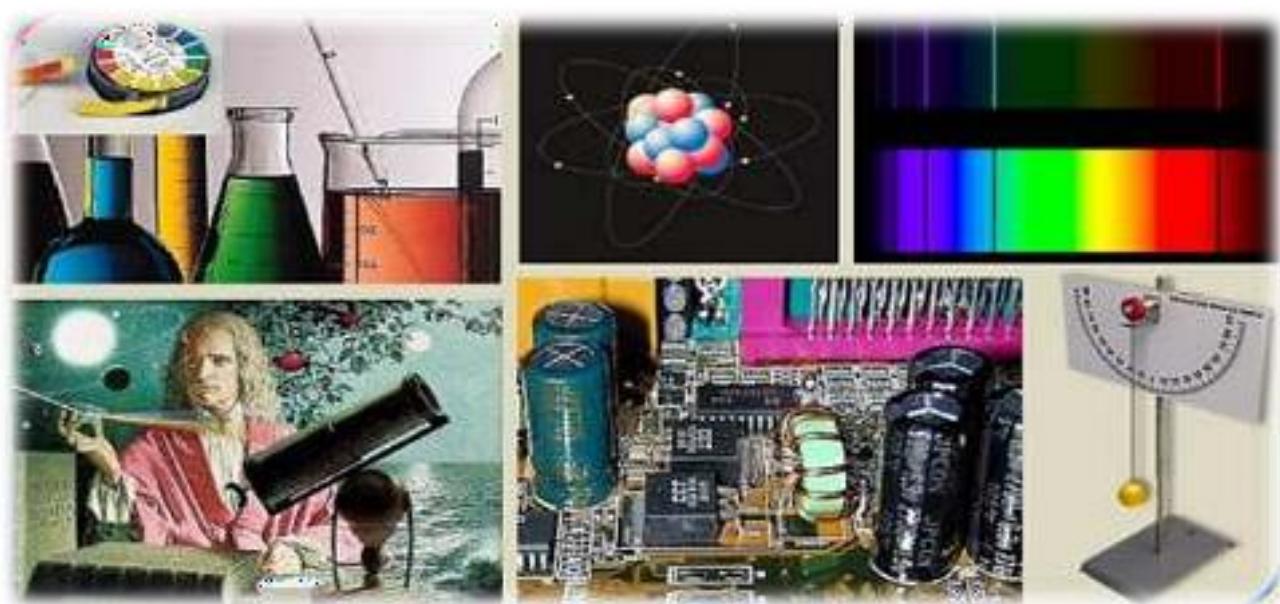
وزارة التربية الوطنية
والتعليم الأولي
والرياضة

CAHIER D'ÉLÈVE

2 BAC BIOF

COURS - ACTIVITÉS - EXERCICES

PHYSIQUE-CHIMIE



Réalisé par :

Le Professeur Nidal NACEIRI MRABTI

Cet ouvrage est destiné aux élèves de 2ème année du baccalauréat, option français.

Ce modeste ouvrage est le fruit d'un travail de plusieurs mois visant à faciliter la récupération des cours par les enseignants, notamment en cas d'urgence comme le covid ou d'autres problèmes inattendus.

Il n'est donc qu'une référence pour l'enseignant et l'élève, mais les cadres pédagogiques conçus à cet effet par le ministère doivent toujours être respectés.

اللهم اجعل التوفيق من نصيب كل من استفاد من هذا العمل وأسألكم الدعاء.

**Pour toute observation contactez-moi
Adresse électronique Nidal_chimie@yahoo.fr**

PHYSIQUE

SOMMAIRE :

<i>Les questions qui se posent au physicien</i>	4
Les ondes	
<i>Les ondes mécaniques progressives</i>	6
<i>Les ondes mécaniques progressives périodiques</i>	13
<i>Propagation d'une onde lumineuse</i>	22
Transformations nucléaires	
<i>Décroissance radioactive</i>	33
<i>Noyaux-masse et énergie</i>	42
Electricité	
<i>Le dipôle RC</i>	50
<i>Le dipôle RL</i>	63
<i>Les oscillations dans un circuit RLC série</i>	74

Je peux accepter l'échec, tout le monde échoue dans quelque chose.

Mais, je ne peux pas accepter de ne pas essayer

Michael Jordan

Les questions qui se posent au physicien

I- La physique:

La physique est une science qui s'intéresse à l'étude et à l'explication des phénomènes naturels et universels et leurs évolutions dans l'espace et dans le temps et tente de les comprendre. Elle établit des théories et des lois qui permettent de les modéliser et de les prévoir.

II-Quelques activités du physicien:

Le physicien observe et étudie les phénomènes naturels et universels tout en cherchant les lois qui les gouvernent. Il fait des recherches théoriques et expérimentales pour approfondir la connaissance des phénomènes étudiés et mettre au point de nouvelles méthodes et de nouveaux appareils en contribuant par ses recherches à l'évolution des sciences.

III-Les questions que se posent au physicien:

Plusieurs questions peuvent se poser sur un physicien dans le but de comprendre le fonctionnement des phénomènes parmi lesquelles on peut citer:

- Quelles sont les grandeurs qui permettent d'étudier l'évolution du système étudié ?
- Quelles sont les paramètres extérieurs qui commandent cette évolution ?
- L'évolution étudiée peut-elle être caractériser par un ou plusieurs temps caractéristique?
- Quelle est le rôle des conditions initiales dans l'évolution du système étudié ?
- L'évolution étudiée est-elle lente, rapide, totale ou limitée , est-elle uniforme ou variée?

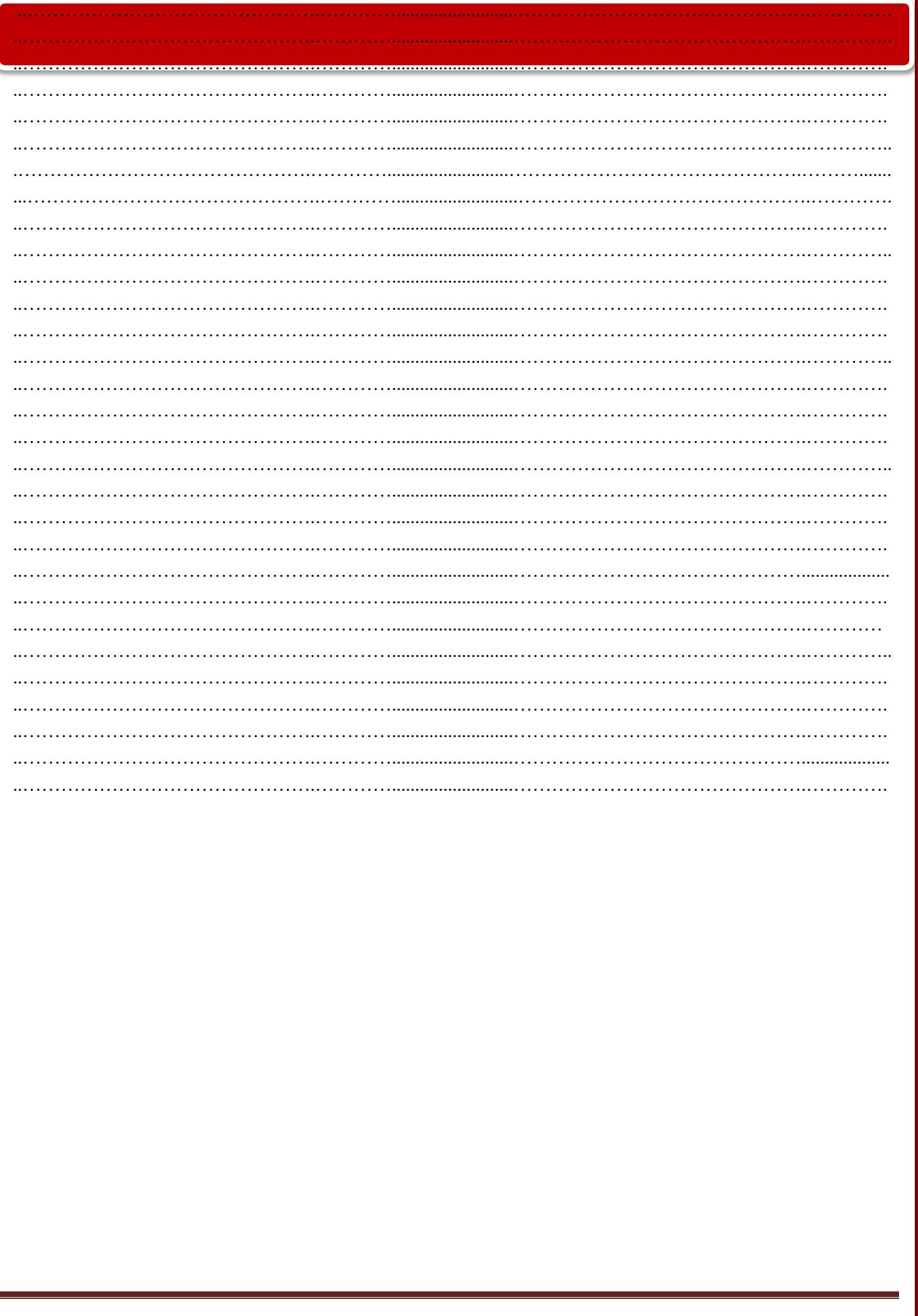
Ensuite le physicien invente des théories et des lois qui expliquent les phénomènes observés tout en se basant sur l'observation en passant par l'utilisation d'un modèle théorique ou expérimental avant d'extraire les résultats.



Par exemple c'est l'observation de la chute d'une pomme qui a conduit Newton à la découverte la loi d'attraction universelle. Newton à son époque s'est posé plusieurs questions :

- Qui fait tomber la pomme de l'arbre vers le sol ?
- Pourquoi la pomme ne s'éloigne de la terre à tout jamais.?
- Pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas elle aussi?
- la chute des corps et la révolution de la Lune autour de la terre, obéissent -elles à la même loi physique ?

Ce qui a poussé Newton à découvrir la loi de gravitation universelle suivante: Tous les corps s'attirent proportionnellement au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.



Cours N°P 1 : Les ondes mécaniques progressives

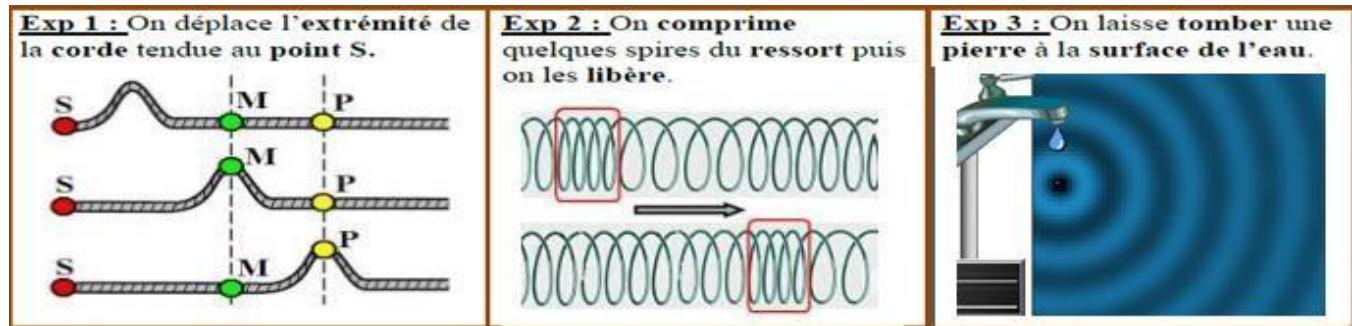
Introduction : La chute d'une goutte d'eau crée à la surface de l'eau une perturbation qui se déplace à une vitesse donnée. Une onde mécanique progressive prend alors naissance. Qu'est-ce qu'une onde mécanique progressive ? Quelles sont ses caractéristiques ? Comment peut-on mesurer la vitesse de propagation d'une onde mécanique ?



I. Les ondes mécaniques progressives :

1. Les ondes mécaniques progressives – transversales et longitudinales :

Activité 1 :



1. Décrire les phénomènes observés dans chaque expérience en remplissant le tableau suivant :

Expérience	Milieu	Nature du milieu	Etat du milieu
1
2
3

2. La propagation de l'onde est-elle accompagnée du transport de matière ? Justifier votre réponse.

.....
.....
.....

Conclusions :

- **L'onde mécanique** : c'est le phénomène de propagation dans un milieu sans transport de qui forme ce milieu mais avec transport
- **L'onde mécanique progressive** : est une succession continue des signaux mécaniques, résultant d'une perturbation entretenu et continue de la source d'onde.
- **L'onde transversale** : est celle dont la direction de la perturbation du milieu est à la direction de la propagation.
- **L'onde longitudinale** : est celle dont la direction de la perturbation du milieu est avec la direction de la propagation.



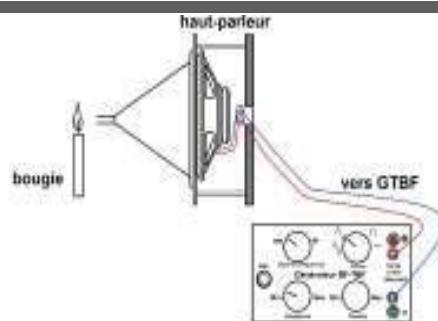
2. L'onde sonore :

Activité 2 :

Expérience 1 On met une source sonore (téléphone) sous la cloche, puis on crée le vide dans la cloche à l'aide de la pompe



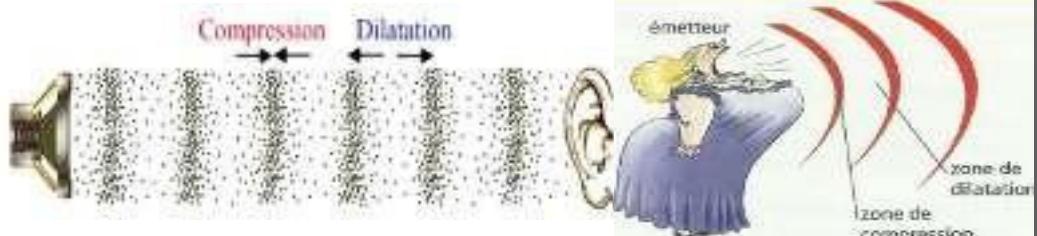
Expérience 2



Observation : Lorsqu'on crée le vide dans la cloche on remarque que le son émet par la source du sonore est disparu

Observation : Lorsqu'on fonctionne le haut-parleur on remarque que la flamme de la bougie se déplace horizontalement suivant la direction de propagation de l'onde sonore

Direction de propagation de l'onde sonore



Conclusion :

Le son est une onde se propage dans les milieux (..... ; et) et ne se propage pas dans, et il se propage grâce à..... et du milieu de propagation

II. Les propriétés générales d'une onde mécanique :

1. Direction de propagation d'une onde :

Une onde se propage, à partir de sa source, dans toutes les directions qui lui sont offertes. Nous distinguons ainsi les ondes à une, deux ou trois dimensions :

- Onde à une dimension : La propagation a lieu dans une seule direction.

Exemple : Onde le long d'une corde.

- Onde à deux dimensions : La propagation a lieu dans un plan (milieu bidimensionnel).

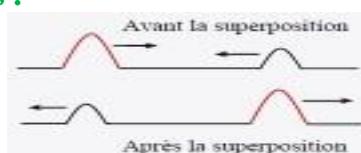
Exemple : Onde engendrée à la surface de l'eau lorsqu'on y jette une pierre.

- Onde à trois dimensions : La propagation a lieu dans l'espace à trois dimensions (milieu tridimensionnel).

Exemple : Onde sonore.

2. La superposition de deux ondes mécaniques :

Lorsque deux ondes mécaniques (d'une perturbation très faible) se croisent, elles se superposent et continuent à se propager après leur rencontre sans se perturber.



III. La vitesse de propagation d'une onde :

1. Définition :

On définit la vitesse de propagation d'une onde par la relation suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} V : \dots \\ d : \dots \\ \Delta t : \dots \end{array} \right.$$

.....

2. Facteurs influençant la vitesse de propagation :

Pour un milieu homogène, la célérité d'une onde est constante et indépendante de la forme de la perturbation. Tandis qu'elle dépend de la nature du milieu : son élasticité, son inertie et de sa température.

a. Influence de l'élasticité du milieu :

La vitesse d'une onde augmente avec l'élasticité du milieu de propagation.

Exemple : La vitesse d'une onde le long d'une corde augmente avec l'augmentation de sa tension.

b. Influence de l'inertie du milieu :

L'inertie d'un milieu ou d'un système représente la résistance que ce milieu ou ce système oppose lorsqu'on cherche à le mettre en mouvement.

La célérité d'une onde dans un milieu dépend de son inertie. Plus l'inertie du milieu est grande et plus la célérité de l'onde se propageant dans ce milieu est faible..

Exemples : - La vitesse d'une onde le long d'une corde est donnée par :

$$\left\{ \begin{array}{l} V : \dots \\ T : \dots \\ \mu : \dots \end{array} \right.$$

$$\dots$$

Remarques :

- La vitesse d'onde sonore augmente avec la densité du milieu de propagation. $V_{\text{gaz}} < V_{\text{liquide}} < V_{\text{solide}}$
- La vitesse du son augmente avec la température du milieu gazeux.

- La vitesse d'une onde sur la surface de l'eau est :

$$\left\{ \begin{array}{l} V : \dots \\ g : \dots \\ h : \dots \end{array} \right.$$

Milieu de propagation	L'air	L'eau	L'acier
Célérité du son ($m.s^{-1}$)	340	1500	5940

$$\dots$$

❖ Application 1 :

Une onde se propage le long d'une corde tendue de masse $m=100\text{g}$ et de longueur $L = 8\text{m}$ et sa tension $T=5\text{N}$.

1. Calculer la vitesse de propagation de l'onde.

$$\dots$$

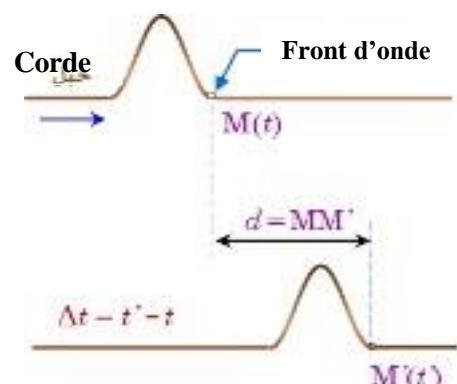
2. Quelle est le temps mis par l'onde pour parcourir la corde toute entière ?

$$\dots$$

3. Notion de retard temporaire :

Au cours de la propagation d'une onde mécanique non amortie, tous les points du milieu de propagation subissent la même perturbation que la source mais avec un retard τ_M tel que :

$$\dots$$



En général : Le retard d'un point par rapport un point est donné par :

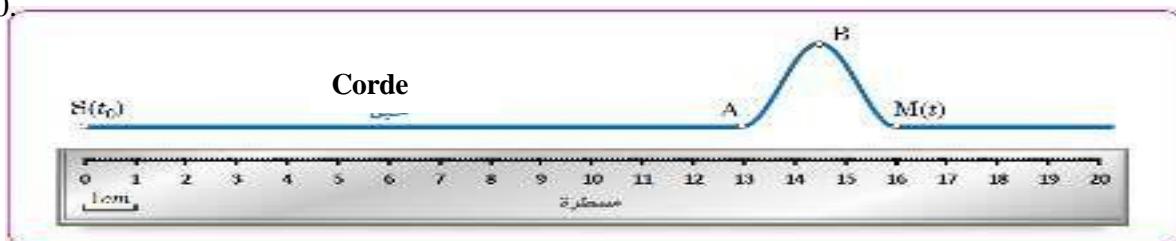
$$\dots$$

La relation entre l'elongation d'un point M du milieu de propagation et celle de la source est :

$$\dots$$

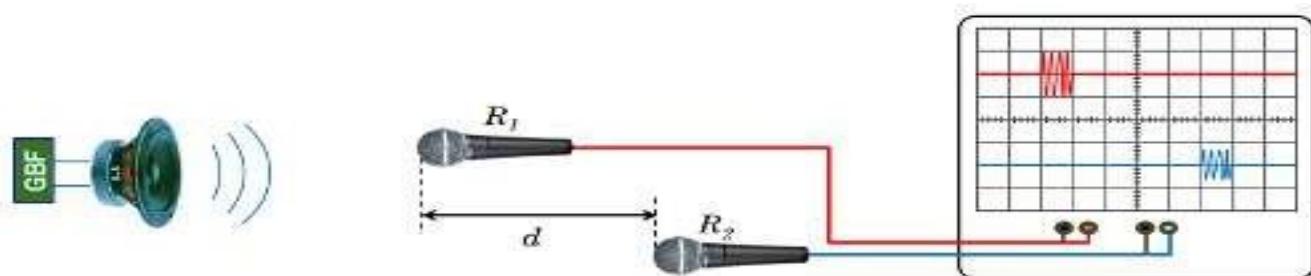
Série N°1 : les ondes progressives

Exercice 1 : La figure ci-dessous représente la propagation d'une onde le long d'une corde. Elle représente l'aspect de la corde à l'instant $t_M = 40\text{ms}$. Sachant que la déformation commence à partir d'une source à l'instant $t_0 = 0$.



1. Quelle est la nature de l'onde ? (longitudinale ou transversale). Justifier votre réponse.
2. Déterminer, à l'instant t , les points qui se dirigeront vers le bas ainsi que ceux se dirigeront vers le haut.
3. Calculer V la vitesse de la propagation de l'onde le long de la corde.
4. Pendant quelle durée un point de la corde est-il affecté par le passage de la perturbation ?
5. À quel instant s'arrête le point M ?
6. À quel instant l'onde arrive au point N, tel que : $SN = 20\text{ cm}$.
7. Représenter graphiquement l'aspect de la corde à l'instant $t' = 10\text{ms}$.

Exercice 2 : Pour mesurer la propagation des ondes sonores dans l'air on réalise le montage expérimental représentant ci-dessous, la distance entre les deux microphones R_1 et R_2 est $d = 1,70\text{m}$. La courbe ci-dessous représente la variation de la tension aux bornes de chaque microphone.



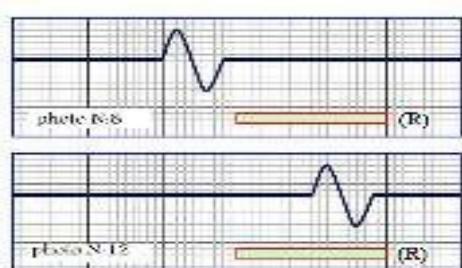
On donne :

La sensibilité horizontale: $S_h = 1\text{ms/div}$; la célérité de la propagation du son dans l'eau : $V_{\text{eau}} = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

1. Est-ce que le son est une onde longitudinale ou transversale.
2. Déterminer la valeur du retard temporel entre les microphones R_1 et R_2 .
3. Déduire la valeur V_{air} de la célérité de la propagation des ondes sonores dans l'air.
4. Déterminer la valeur du retard temporel τ' quand on déplace le microphone vers la droite à partir de sa position initiale de $L = 51\text{cm}$.
5. Comparer V_{air} et V_{eau} . Que peut-on déduire.

Exercice 3 : Pour déterminer la célérité de propagation d'une onde mécanique le long d'une corde, le professeur de physique a demandé à un élève de produire une déformation au bout de la corde et à autre élève de filmer l'aspect de la corde par une caméra réglée à 25 photos par seconde. Une règle R de longueur 1 m est utilisée pour mesurer la longueur. Le professeur a traité le film et a choisi les photos 8 et 12.

- 1- Quelle est la durée Δt qui sépare les instants de prise des photos 8 et 12 ?
- 2- Quelle est la distance parcourue pendant la durée ?
- 3- Quelle est la célérité de propagation de l'onde ?
- 4- Quel est l'élargissement d'un point M de la corde en fonction de l'élargissement de la source S ?



Exercice 4

Dans un bassin d'essais, une source sonore S émet un bruit intense qui se propage dans l'air et dans l'eau. Le bruit est reçu par deux récepteurs sonores: R_1 placé dans l'air et R_2 situé dans l'eau (Fig.3).

Données: célérité du son

- Dans l'air: $v_{air} = 340 \text{ m.s}^{-1}$.
 - Dans l'eau: $v_{eau} = 1500 \text{ m.s}^{-1}$

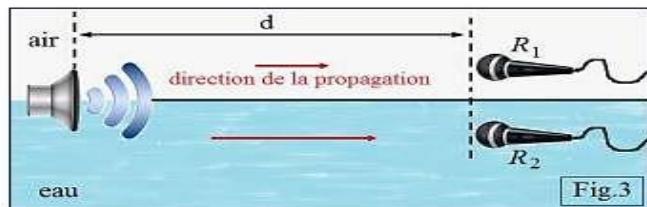


Fig. 3

- 1-** Quel est le récepteur qui, le premier, détecte le bruit produit par la source?

2- On note Δt la durée séparant la détection du bruit par les récepteurs R_1 et R_2 . Exprimer la distance d séparant la source des récepteurs en fonction de la durée, célérités v_{air} et v_{ext} .

3- Calculer la valeur de d pour $\Delta t = 0,50\text{ s}$

*CORRECTION

Cours N°P 2 : Les ondes mécaniques progressives périodiques

Introduction : La houle (onde de la mer) peut être considérée comme une onde mécanique périodique.

- Qu'est-ce qu'une onde mécanique périodique ?
- Quelles sont les caractéristiques d'une onde mécanique périodique ?



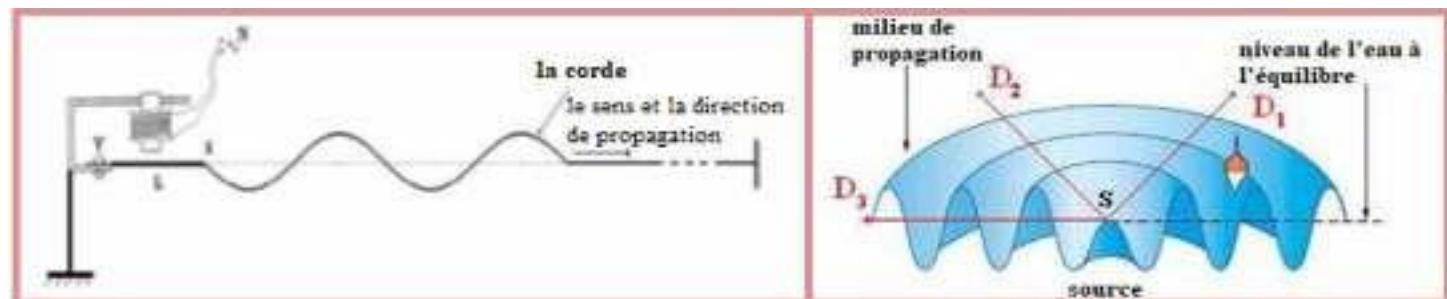
I. Les ondes mécaniques progressives périodiques :

1. Définition :

Une onde progressive est dite périodique si l'évolution temporelle de chaque point du milieu de propagation est périodique.

Exemples :

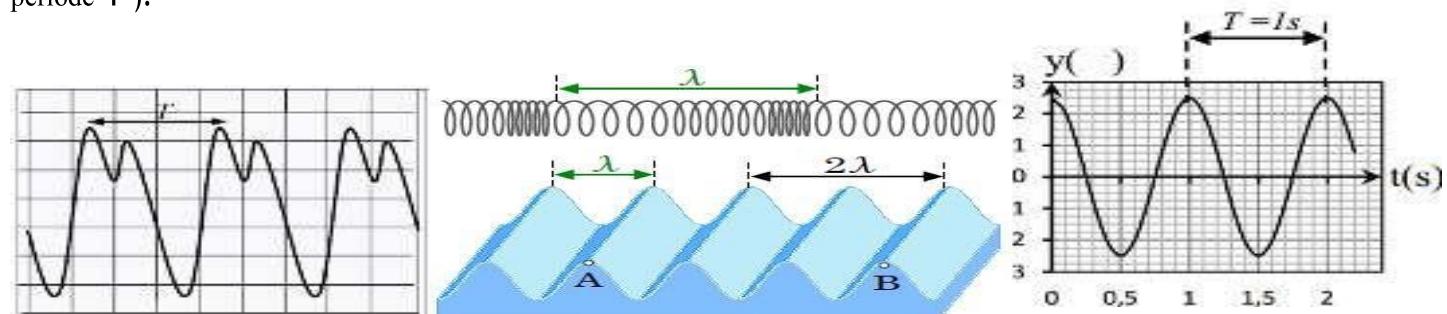
L'onde propagée le long d'une corde ou à la surface d'eau peut être périodique si la source a un mouvement.



2. La double périodicité temporelle et spatiale :

L'onde mécanique progressive périodique se caractérise par :

- **Une périodicité temporelle (période T)** : C'est la petite durée au bout de laquelle la perturbation se reproduit identique à elle-même.
- **Une périodicité spatiale (longueur d'onde λ)** : C'est la petite distance séparant 2 points successifs ayant le même état de vibration. (ou : c'est la distance parcourue par l'onde pendant une période T).



Remarque :

La fréquence ν : C'est le nombre de périodes par unité de temps. Il est lié à la période par la relation :

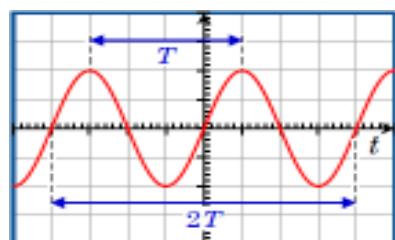
.....

❖ Application 1 :

Déterminer la période et la fréquence pour la figure ci-contre :

On donne : $S_h = 5 \text{ ms /div}$

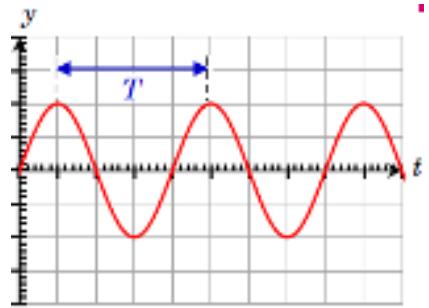
.....
.....
.....



II. L'onde mécanique progressive sinusoïdale :

1. Définition :

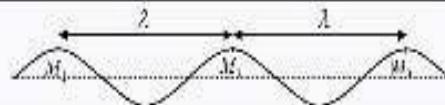
Une onde mécanique progressive périodique est dite sinusoïdale si l'évolution temporelle de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale et l'élargissement d'un point du milieu de propagation s'écrit de la manière suivante :



$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A :} \dots \dots \dots \\ \mathbf{T :} \dots \dots \dots \\ \mathbf{v :} \dots \dots \dots \end{array} \right.$$

2. Comparaison de l'état vibratoire de deux points du milieu de propagation :

- Si : On dit que M et M' vibrent en

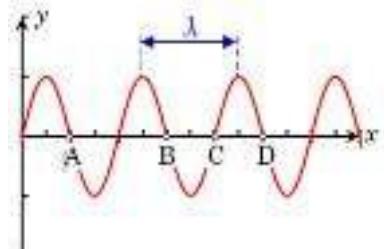


- Si : On dit que M et M' vibrent en

Application 2 :

Comparer l'état vibratoire de point A et B , A et D , A et C .

.....
.....
.....



3. La vitesse de propagation d'une onde mécanique progressive sinusoïdale :

On définit la vitesse de propagation d'une onde par la relation suivante :

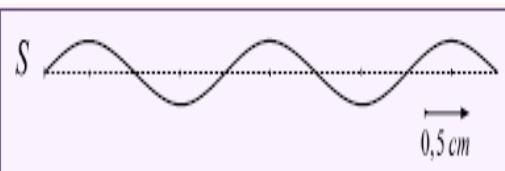
$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{V :} \dots \dots \dots \\ \mathbf{\lambda :} \dots \dots \dots \\ \mathbf{T :} \dots \dots \dots \\ \mathbf{v :} \dots \dots \dots \end{array} \right.$$

.....

Application 3 : Un vibreur de fréquence $N = 100$ Hz génère une onde progressive sinusoïdale le long d'une corde élastique.

1. Calculer la période T de l'onde.

.....



2. Calculer la vitesse V de l'onde.

.....

3. On éclaire la corde avec un stroboscope de fréquence réglable N_e . et on règle la fréquence du stroboscope sur les valeurs 100 Hz, 99 Hz et 101 Hz. Décrire l'aspect de la corde pour chaque fréquence.

Remarque : La stroboscopie est une méthode d'observation d'un mouvement en utilisant le stroboscope qui est un appareil qui émet des éclairs périodiques selon des fréquences réglables.

.....
.....
.....
.....



III. Les ondes sonores Les ondes ultra-sonores

1. Définition

Les ondes sonores : sont des ondes mécaniques périodiques longitudinales résultant de la compression et la dilatation des constituants du milieu de propagation. La célérité d'une onde sonore est d'autant plus grande que la densité du milieu est élevée $V_{gaz} < V_{liquide} < V_{solide}$,

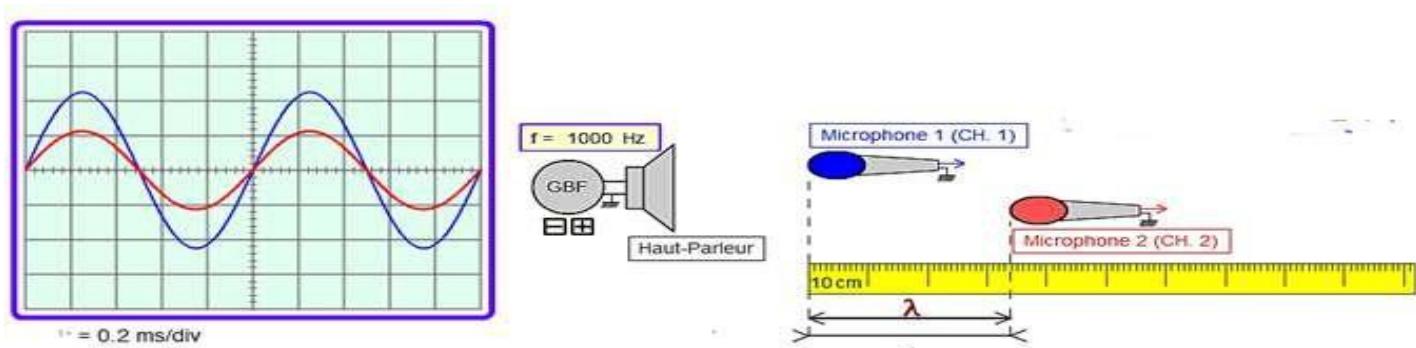
Les ondes ultrasonores sont des ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20kHz, ils sont inaudibles et ils se réfléchissent partiellement sur un obstacle.

Remarque : Les ultrasons ne puissent pas être entendus par l'homme, mais certains animaux comme les chauves-souris, les dauphins ou les baleines sont capable de les percevoir.

3. Détermination expérimentalement de la vitesse de propagation d'une onde sonore :

a- Expérience des deux microphones:

Pour déterminer la vitesse de propagation du son émis par un haut-parleur dans l'air on utilise le montage suivant: Après avoir activé le haut-parleur on visualise sur l'écran de l'oscilloscope le signal correspondant à chacun des microphones M_1 et M_2 .



Lorsque les deux microphones sont placés côté à côté face au haut-parleur et à la même distance de lui, les deux signaux correspondant à M_1 et à M_2 sont en phase.

Pour un son de fréquence de 10^3 Hz émis, on laisse le microphone M_1 à sa place et on déplace le microphone M_2 lentement et parallèlement à l'axe du haut-parleur (HP).

On indique la distance d chaque fois que les deux signaux sont en phase et on obtient les résultats suivants:

[d (cm)] [34] [68] [102] [136] Or deux points du milieu de propagation vibrent en phase si la distance qui les sépare est un multiple de la longueur d'onde $d = k\lambda$

Déterminer la longueur d'onde , La période et déduire la vitesse de propagation d'onde sonore émise par le HP .

III. Phénomène de diffraction :

Activité 1 : On fait créer des ondes rectilignes dans la cuve à ondes qui se propagent avec une vitesse $V = 1 \text{ m. s}^{-1}$, puis on éclaire la surface de l'eau avec un stroboscope de tel sorte que sa fréquence soit égale à celle des ondes $\nu = 10 \text{ Hz}$, et on voit que tous les points de la surface de l'eau apparaissent immobiles. On place deux plaques parallèles dans la cuve de manière à former une fente de largeur a modifiable. On varie a et on obtient les deux figures suivantes :

Figure 1 : $a = 0.05 \text{ m}$

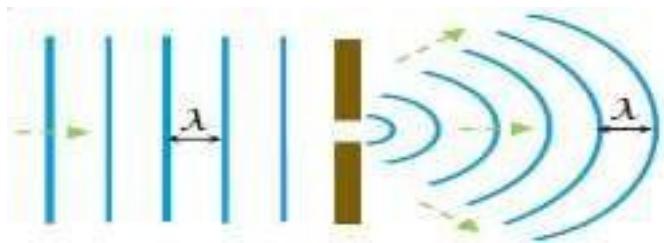
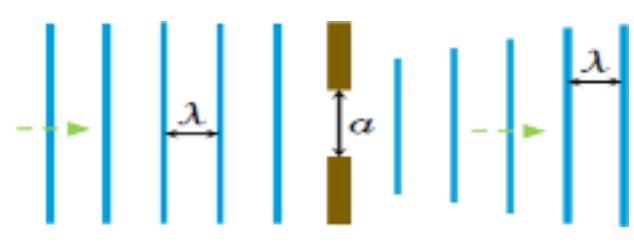


Figure 2 : $a = 0.3 \text{ m}$



1. Calculer la longueur d'onde incidente.

2. Comparer la longueur d'onde incidente λ à la largeur a de la fente dans chaque figure.

3. Décrire, pour chaque figure, ce qui arrive aux ondes lorsqu'elles traversent la fente.

4. L'onde circulaire est appelée l'onde diffractée et le phénomène s'appelle phénomène de diffraction. Quelle sont les conditions pour que les ondes soient diffractées ?

5. Comparer la longueur d'onde diffractée avec la longueur de l'onde incidente.

Conclusion

Lorsqu'une onde progressive sinusoïdale rencontre avec ouverture de largeur, une modification de la structure de l'onde se produit (c.-à-d. un changement de direction de sa propagation), si où λ est la longueur d'onde incidente sur l'obstacle, ce phénomène s'appelle

IV. Le milieu dispersif :

Activité 2 : On fait créer une onde circulaire dans la cuve à ondes, on ajuste la fréquence ν de l'onde circulaire à différentes valeurs, et à chaque fois on éclaire la surface de l'eau avec un stroboscope réglé à la même fréquence de l'onde, on observe que tous les points de la surface de l'eau apparaissent immobiles, puis on mesure la longueur d'onde correspondante.

1. Compléter le tableau suivant :

$\nu (\text{Hz})$	20	25	30	35
$\lambda (\text{m})$	1	0,9	0,8	0,7
$V (\text{m/s})$				

2. On dit qu'un milieu est dispersif si la vitesse de propagation d'une onde dans ce milieu dépend de sa fréquence. L'eau est-elle un milieu dispersif ?

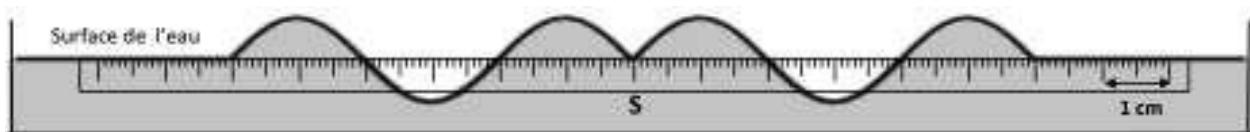
Conclusion :

.....
.....

Exemples : - L'eau est un milieu - L'air est un milieu pour les ondes sonores.

Série N°2 : Ondes mécaniques progressives périodiques

Exercice 1 : On crée , à l'instant $t = 0$, en un point S de la surface de l'eau , une onde mécanique progressive sinusoïdale de fréquence $N=50\text{Hz}$. La figure ci-dessous représente une coupe verticale de la surface de l'eau à un instant t . La règle graduée sur le schéma indique l'échelle utilisée .

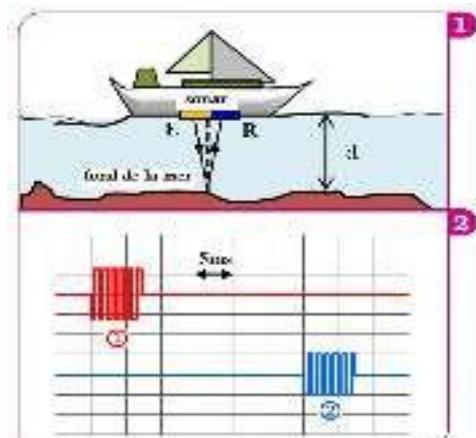


- 1) Déterminer la longueur d'onde.
- 2) Quelle est la vitesse de propagation de l'onde à la surface de l'eau.
- 3) Que est l'instant t , où la coupe de la surface de l'eau est représentée ;
- 4) On considère un point M de la surface de l'eau , éloigné de la source S d'une distance $SM = 6 \text{ cm}$. Le point M reprend le même mouvement que celui de S avec un retard temporel τ .
- 5) Ecrire la relation entre l'elongation du point M et celle de la source S.

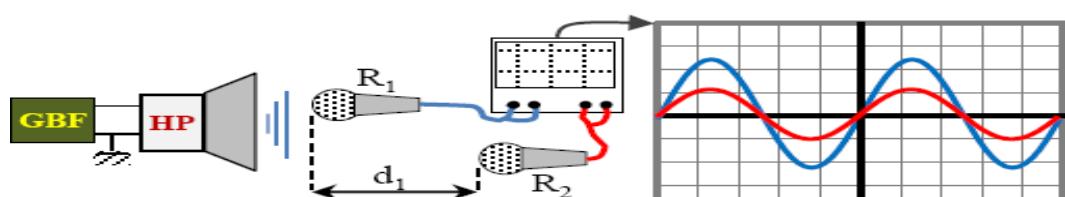
Exercice 2 : Le sonar est un capteur formé d'une sonde qui contient un émetteur E et un récepteur R des ultrasons. il est utilisé dans la navigation maritime pour connaître la profondeur d'eau et permet aux navires de s'approcher de la côte en toute confiance. Pour déterminer la profondeur l'émetteur E émet des ultrasons sinusoïdales vers le fond de la mer, une partir de ces ultrasons réfléchissent et sont captées par le récepteur R.

Le graphe ci-contre représente le signal émis par E et le signal reçu par R.

- 1-Définir une onde mécanique progressive.
- 2-L'onde sonore est-elle longitudinale ou transversale ?
- 3-On utilise des ultrasons de fréquence $N = 200\text{kHz}$ qui se propagent dans l'eau de mer avec une célérité $V_{eau}=1500 \text{ m. s}^{-1}$.
 - a-Calculer la période T et la longueur d'onde λ de l'onde sonore.
 - b- À partir du graphe déterminer la durée Δt .
 - c-On suppose que les ultrasons suivent une trajectoire verticale, exprimer la profondeur d en fonction de Δt et V_{eau} .calculer la valeur de d.



Exercice 3 : Pour déterminer la célérité de propagation des ondes sonores dans l'air on réalise le montage expérimental suivant. -Le graphe représente les variations de tension entre les bornes de chaque microphone pour une distance $d_1 = 41\text{cm}$. (voir la figure ci-dessous)



- La distance qui sépare R_1 et R_2 est d_1
- La sensibilité horizontale est 0.1 ms/div .

- 1-Définir la longueur d'onde λ et la période T .
- 2-Donner la différence entre l'onde mécanique longitudinale et l'onde mécanique transversale.

3-Déterminer la valeur de la période T d'onde sonore et déduire sa fréquence N.

4-On décale le microphone R_1 horizontalement jusqu'à ce que les graphes deviennent à nouveau en phase .la distance entre R_1 et R_2 est $d_2=61.5$ cm.

a-Déterminer la longueur d'onde λ des ondes sonores.

b-Déduire V la célérité de propagation des ondes sonores dans l'air.

Exercice 4 : Pour déterminer la célérité des ondes sonores dans l'eau on pose dans un bassin d'eau un metteur E et un récepteur R sur la même droite, la distance entre E et R est $l=1,50\text{m}$.

On relie l'émetteur E par la voie Y_A et le récepteur R par la voie Y_B d'un oscilloscope.

On donne la sensibilité horizontale : $0,2\text{ms/div}$.

1-Le son est-il une onde longitudinale ou transversale.

2-L'onde sonore arrive au microphone R après un retard τ par rapport à l'émetteur E. déterminer τ .

3-Calculer V_{eau} la célérité de propagation des ondes sonores dans l'eau.

4-On vide le bassin et les ondes sonores se propagent dans l'air. Dans ce cas la célérité de propagation dépend de du coefficient de compression χ et de la masse volumique ρ .

Pour l'air $\rho=10^{-3}\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $\chi=8,65 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^2$

On exprime la célérité par une des relations suivantes.

$$V_{air} = \sqrt{\rho \cdot \chi} \quad ③$$

$$V_{air} = \frac{1}{\rho \cdot \chi} \quad ②$$

$$V_{air} = \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \chi}} \quad ①$$

a-En utilisant l'analyse dimensionnelle trouver la relation correcte et calculer V_{air} .

b-Comparer V_{eau} et V_{air} déduire.

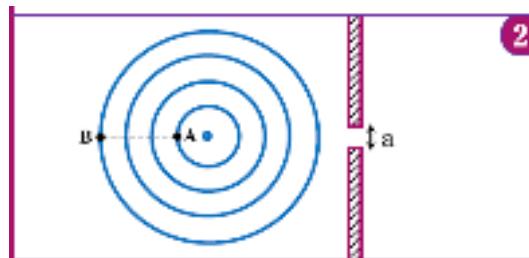
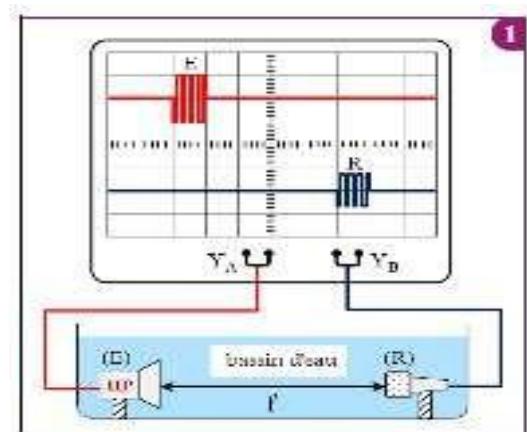
5-Dans le bassin d'eau on crée par un vibreur de fréquence réglable des ondes circulaires successives sinusoïdales .on éclaire le bassin par un stroboscope et on obtient un arrêt apparent lorsqu'on règle la fréquence sur $N_s=10\text{Hz}$.la figure 2 représente les lignes tel que $AB=15\text{cm}$. On ajoute au bassin deux plaques distantes de $a=2\text{cm}$.

a-Déterminer la fréquence N ainsi la longueur d'onde λ et déduire la célérité de propagation des ondes V.

b-Comparer l'état de vibration des points A et B.

c-Lorsqu'on règle la fréquence du vibreur sur la valeur $N'=15\text{Hz}$ on trouve $\lambda'=4\text{cm}$ calculer la célérité V' et la comparer avec V déduire.

d-La fréquence est réglé à nouveau sur 10 Hz recopier la **figure 2** et représenter l'allure des ondes après la traversée de la fente a et calculer l'écart angulaire θ .



CORRECTION

Introduction : L'arc en ciel provient de la lumière du soleil qui rencontre les gouttelettes d'eau. - La lumière est-elle une onde ? - Comment expliquer le phénomène d'arc en ciel et l'irisation observé sur un céderom exposé à la lumière ?



I. Diffraction de la lumière :

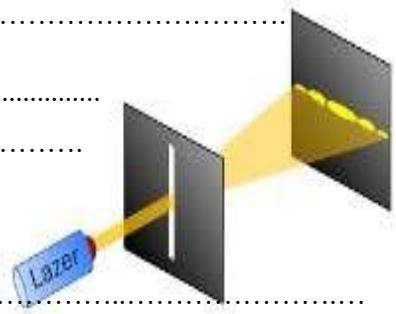
Activité : On éclaire une fente, de largeur a variable, par un faisceau de laser comme illustré par la figure ci-contre.

1. Qu'observez-vous sur l'écran lorsque la largeur de la fente devient grande ?

.....
.....

2. Qu'observez-vous sur l'écran lorsque la largeur de la fente devient petite ?

.....
.....



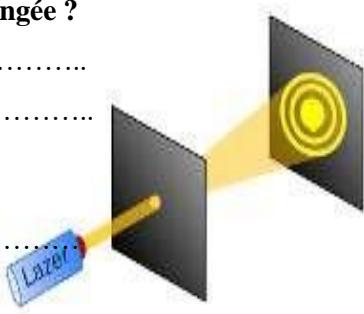
3. En remplaçant la fente par une plaque contenant un trou circulaire.

Qu'observez-vous ?

.....
.....

4. Est-ce que la direction de propagation de la lumière (avant et après la fente) a changée ?

.....
.....



5. Avez-vous déjà rencontré comme ce phénomène dans le cas des ondes mécaniques ? Donne le nom de ce phénomène.

.....
.....

6. Que peut-on conclure à propos de la nature de la lumière ?

.....
.....

Conclusion :

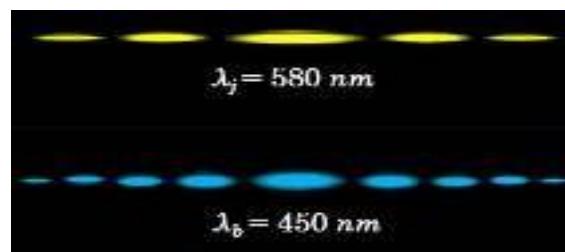
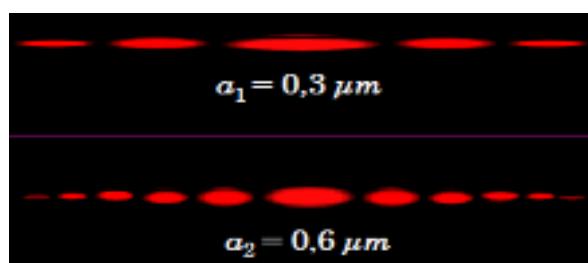
Le phénomène de montre que la lumière a un La lumière peut donc être caractérisée comme toutes les ondes, par sa, sa et sa
On obtient la diffraction de la lumière par une fente de largeur a lorsqu'elle est :

II. Etude de la diffraction d'un faisceau laser par une fente :

1. Les facteurs influençant la diffraction d'un faisceau laser par une fente :

On constate expérimentalement que :

- La largeur de la tâche centrale avec la longueur de l'onde lumineuse.
- La largeur de la tâche centrale lorsque la largeur de la fente



2. Etude de la diffraction d'un faisceau laser par une fente:

a. L'écart angulaire :

L'**écart angulaire** θ est l'angle sous lequel on voit la moitié de la tâche centrale depuis la fente de diffraction.

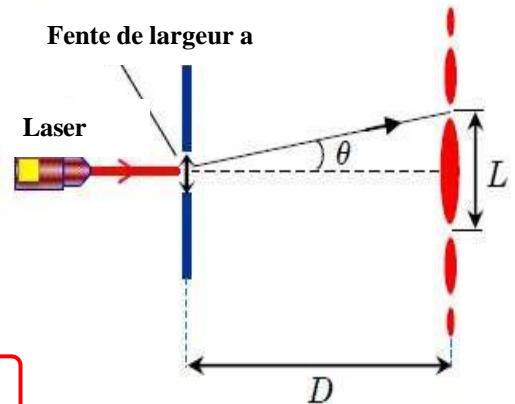
À partir de la figure on a :

Pour les angles petits tel que :

On peut écrire avec approximation :

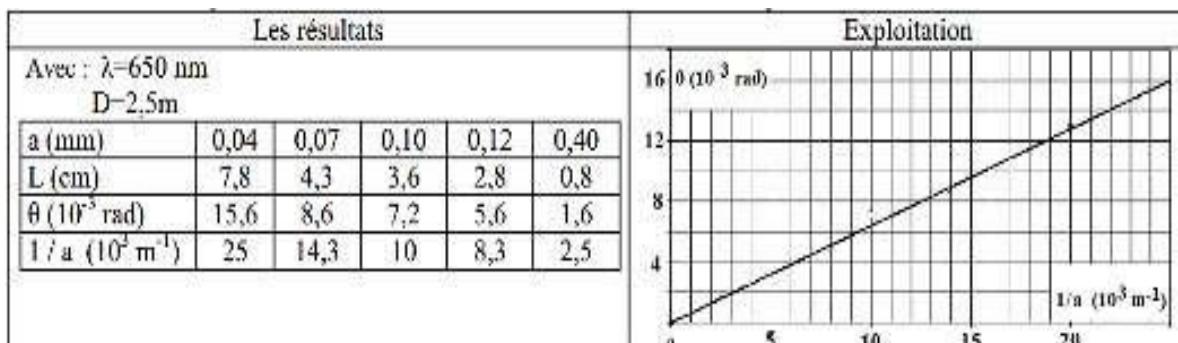
Donc la relation précédente s'écrit :

Donc :



b). Relation entre l'écart angulaire et la largeur de la fente

activité : On fait varier la largeur **a** de la fente et on mesure les valeurs de **L** correspondantes.



Exploitation: Déterminer l'équation de la fonction $\theta = f(\frac{1}{a})$, que peut-on conclure.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

C). Expression de la largeur de la fente :

Remarques :

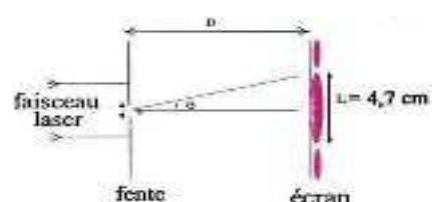
-Dans le cas diffraction par un trou circulaire, l'écart angulaire est donné par la relation suivante : $\theta = ..$

-Dans le cas de la diffraction par un fil de diamètre **d**, l'écart angulaire est donné par la relation suivante: $\theta = ...$

- Si l'ouverture (ou la fente) est **horizontale**, la tache de diffraction est **verticale**, et vice-versa.

Application 1 : On place sur un faisceau laser une fente de dimension **a=0,08mm**. On place après la fente un écran. La distance entre la fente et l'écran est **D=3 m**, La figure obtenue sur l'écran est représentée sur la figure ci-contre : **Calculer la longueur d'onde de ce faisceau laser.**

.....
.....
.....



III. Caractéristiques des ondes lumineuses :

1. Définition de la lumière

La lumière n'est une onde , c'est une onde qui se propage dans les milieux et dans le La vitesse de propagation de la lumière dépend du milieu de propagation.

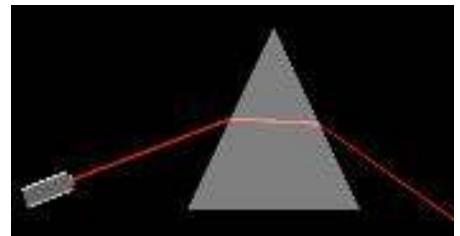
Exemple :

- La vitesse de propagation de la lumière dans le vide (et dans l'air) est : $C = 3 \cdot 10^8$ m/s. (on l'appelle célérité)
- La vitesse de propagation de la lumière dans le verre est : $V_{\text{verre}} = 2 \cdot 10^8$ m/s.
- La vitesse de propagation de la lumière dans l'eau est : $V_{\text{eau}} = 2,25 \cdot 10^8$ m/s

2. Lumière monochromatique et lumière polychromatique :

a. Lumière monochromatique :

Toute radiation lumineuse ayant une seule couleur est dite **monochromatique**. Elle est caractérisée par sa fréquence ν qui ne change pas avec le milieu de propagation.



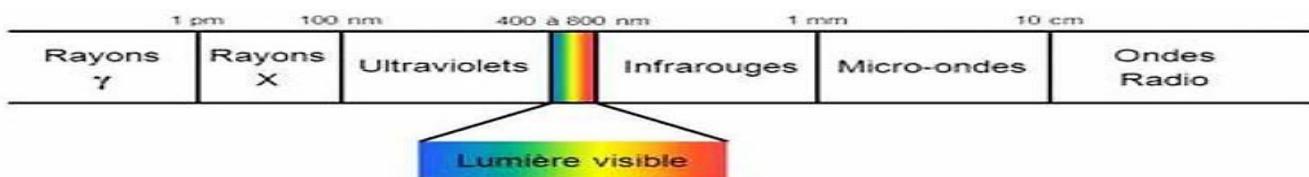
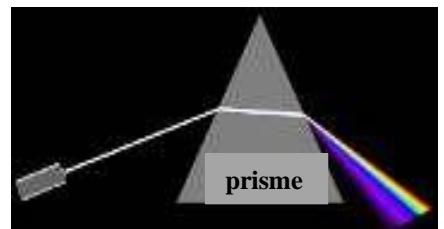
Exemple : Le laser est une source de la lumière monochromatique.

Remarque : La longueur d'onde d'une lumière monochromatique dépend du milieu de propagation , (car la vitesse v de propagation de la lumière dépend du milieu de propagation).

Si le milieu de propagation est le vide .Donc : avec : λ_0 est la longueur de l'onde lumineuse dans le vide.

b. Lumière polychromatique :

La lumière blanche (visible) est une lumière polychromatique composée de plusieurs radiations monochromatiques.



Exemple : La lumière du soleil, celle de la lampe à incandescence ou de la bougie.

Le domaine de la lumière blanche (visible) est :

À l'extérieur de ce domaine la lumière est invisible.

Le domaine de l'infrarouge est :

Le domaine de l'ultraviolet est :

3. Indice de réfraction :

chaque milieu transparent est caractérisé par son indice de réfraction qui donné par la relation suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} n : \dots \\ c : \dots \\ v : \dots \end{array} \right. \quad \boxed{\dots} \quad n \geq 1$$

Dans le vide, on a : (1) Or dans un milieu donné, on a..... (2)

En divisant (1) par (2), on trouve :

Avec : Alors :

Donc l'indice de réfraction d'un certain milieu dépend de la longueur d'onde (et la fréquence) de l'onde lumineuse dans lequel se propage.

Exemple :

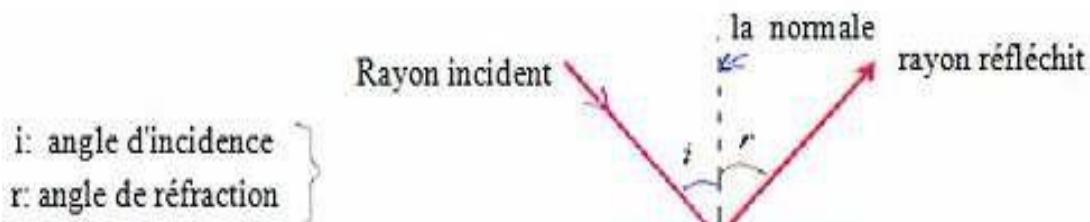
	L'air	L'eau	Le verre
Vitesse de propagation (m/s)	3.10^8	$2,25.10^8$	2.10^8
Indice de réfraction

Rayon	Rouge	Orange	Jaune	Bleu	Violet
Longueur d'onde λ (nm)	768	656	589	486	434
Indice de réfraction n	1,618	1,627	1,629	1,641	1,652

V. Réflexion et Réfraction de la lumière :

1. Réflexion de la lumière (Rappel):

Lorsqu'on envoie un faisceau lumineux obliquement sur la surface réfléchissante d'un miroir plan horizontale, il se réfléchit



Lois de la réflexion

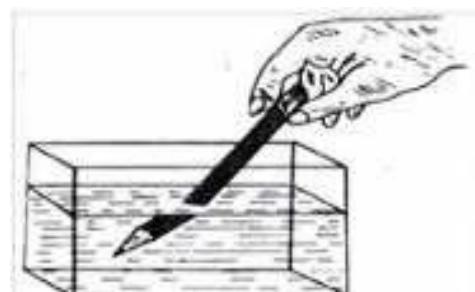
1^{ère} loi : Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale au plan réfléchissant se trouvent dans le même plan.

2^{ème} loi: l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion. ($i=r$).

2. Réfraction de la lumière (Rappel):

Expérience : On immerge partiellement un crayon dans un cristallisoir plein d'eau.

- Le crayon semble être brisé au niveau de la surface libre de l'eau,
- Cette expérience illustre le phénomène de réfraction de la lumière

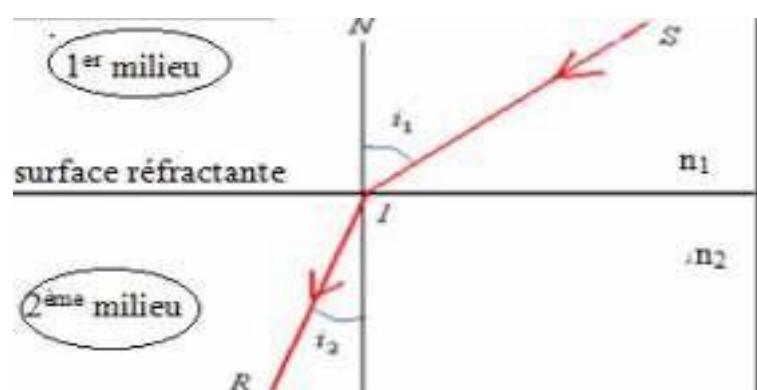


Définition « La réfraction est le changement de direction que subit un rayon lumineux quand il traverse la surface de deux milieux transparents différents. Un rayon perpendiculaire à la surface n'est pas dévié ».

3. Lois de Descartes de la réfraction:

1^{ère} loi : Le rayon incident le rayon réfracté se trouvent dans le même plan.

2^{ème} loi : L'angle d'incidence et l'angle de réfraction sont liés par la relation suivante:



SI: rayon incident
IR: rayon réfracté
I: point d'incidence.
IN: la normale au point d'incidence
 n_1 : indice de réfraction du 1^{er} milieu .
 n_2 : indice de réfraction du 2^{ème} milieu .
 i_1 : angle d'incidence angle de réfraction
 i_2 : angle de réfraction .

-Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent ($n_2 > n_1$), le rayon réfracté s'approche de la normale.

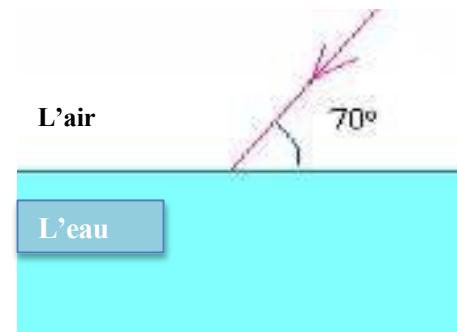
-Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent ($n_2 < n_1$), le rayon réfracté s'écarte de la normale.

Application: On envoie un faisceau de lumière de telle façon qu'il forme un angle de 70° avec la surface de l'eau. Sachant que l'indice de réfraction de l'air est $n_a = 1$ et celui de l'eau est $n_e = 1,33$,

- Déterminer la valeur de l'angle de réfraction.
- Quelle sera la valeur de l'angle d'incidence si l'angle de réfraction est égal à 30° ?

Réponses :

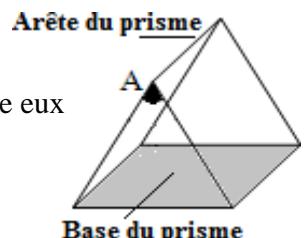
.....
.....
.....
.....
.....



VI. Dispersion de la lumière

1. Le prisme

Le prisme est un milieu transparent et homogène, limité par deux plans inclinés définit entre eux un angle A s'appelle l'angle du prisme. La face opposée à l'arête est la base du prisme.



1. Relations caractéristiques de prisme :

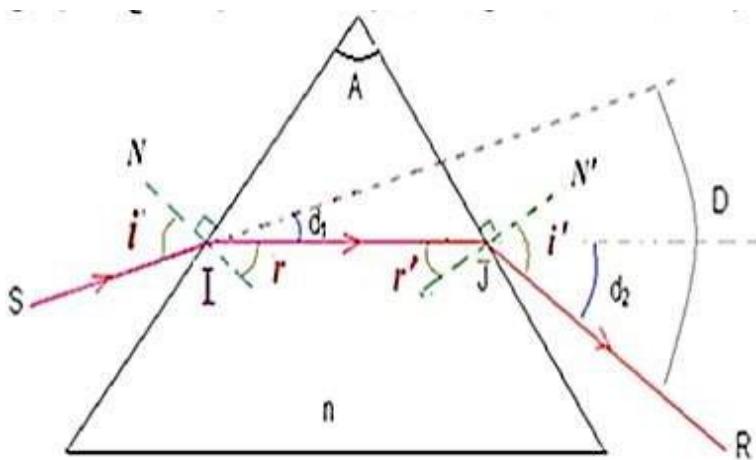
On envoie un faisceau de lumière monochromatique sur la face d'un prisme, on constate que le faisceau subit une réfraction sur la première face puis sur la deuxième face puis dévie vers la base du prisme.

En appliquant la loi de réfraction sur la première face du prisme :

..... (1)

En appliquant la loi de réfraction sur la deuxième face du prisme :

..... (2)



i :	L'angle d'incidence sur la 1 ^{ère} face
r :	L'angle de réfraction sur la 1 ^{ère} face
r' :	L'angle d'incidence sur la 2 ^{ème} face
i' :	L'angle de réfraction sur la 2 ^{ème} face
A :	L'angle de prisme
D :	L'angle de déviation
n :	L'indice de réfraction du prisme

Déterminons A l'angle du prime : Dans le triangle AIJ, on a :

..... donc

..... (3)

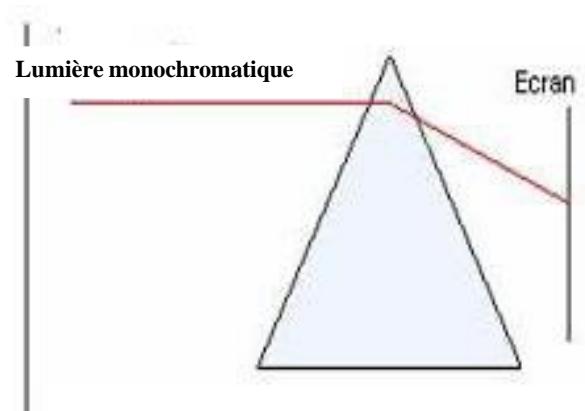
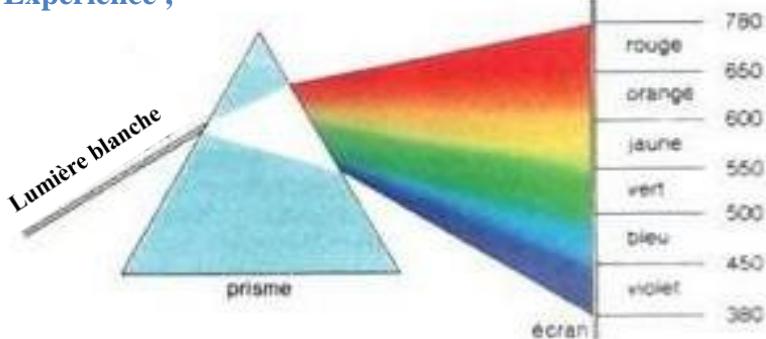
L'angle de déviation $D = d_1 + d_2$:

.....

..... (4)

5. Dispersion de la lumière par le prisme :

a. Expérience :



Lorsqu'on envoie un faisceau de lumière blanche sur une face d'un prisme, cette onde a subi le phénomène de réfraction deux fois, et on observe sur l'écran la formation des taches colorées s'appelle spectre de la lumière blanche, et on appelle ce phénomène qui permet la séparation des rayonnements de différentes couleurs la **dispersion de la lumière**.

-Contrairement à la lumière blanche, la lumière monochromatique n'est pas décomposée en un spectre : La dispersion d'une radiation monochromatique modifie seulement sa trajectoire.

b. Interprétation :

La lumière blanche est composée d'un ensemble de lumières colorées appelées radiations.

La dispersion de la lumière blanche est due au fait que **l'indice de réfraction du prisme** dépend de la fréquence de l'onde lumineuse qui le traverse. L'indice de réfraction d'un prisme est une fonction décroissante de la longueur de l'onde comme l'indique la relation de **Cauchy** :

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \quad a \text{ et } b \text{ sont des constantes ;} \quad \lambda : \text{La longueur de l'onde lumineuse.}$$

Par conséquence chaque radiation va subir une déviation par le prisme différente ce qui entraîne la dispersion de la lumière. L'indice de réfraction comme l'indique la relation de **Cauchy** dépend de la longueur d'onde de la radiation lumineuse, donc de sa fréquence (car $\lambda = \frac{c}{v}$) et puisque $v = \frac{c}{n}$ donc la vitesse v de propagation dépend de la fréquence le prisme est **un milieu dispersif**

Série N°P3 : Propagation d'une onde lumineuse

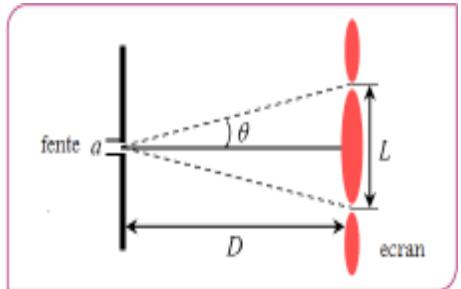
Exercice 1 : Une onde lumineuse monochromatique se propage dans différents milieux. Compléter le tableau suivant :

milieu	vide	eau	verre
λ (nm)	550
Indice de réfraction : n		1,33	
Célérité v ($m.s^{-1}$)	$3,00 \cdot 10^8$	$2,00 \cdot 10^8$
Fréquence : v (Hz)

- Que peut-on conclure ?

Exercice 2 : En 1921 August Fresnel a posé l'hypothèse que la lumière est une onde électromagnétique transversale et que la déformation qui se propage résulte d'un champ électrique associé à un champ magnétique.

I-Pour déterminer la longueur d'onde λ d'une onde lumineuse émise par un laser on éclaire une fente de largeur $a=5.10^{-5} \text{ m}$. Par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide et on pose un écran (E) à une distance $D=3 \text{ m}$ de la fente. On observe donc une tache centrale de largeur $L=7,6. 10^{-2} \text{ m}$.



- 1- La lumière est-elle onde longitudinale ou transversale ?
- 2- Quel est le phénomène observé ?
- 3- Citer la condition que doit vérifier la fente pour observer ce phénomène.
- 4- Rappeler la relation qui lie θ , λ et a .
- 5- Donner l'expression de λ en fonction de D , L et a . calculer λ . (on suppose θ petit et on prend $\sin\theta \approx \theta$)
- 6- Cette lumière est-elle visible ? Justifier.

II-Pour déterminer la longueur d'onde lumineuse dans le verre on envoie un faisceau lumineux monochromatique émis par le laser à la surface d'un prisme en verre d'indice de réfraction $n=1,58$.

On donne *la longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0=665.4 \text{ nm}$

*la célérité de propagation de la lumière dans le vide : $C=3. 10^8 \text{ m/s}$

- 1- Calculer la fréquence N de l'onde lumineuse.
- 2- Calculer la valeur V célérité de la lumière dans le prisme.
- 3- Trouver la valeur λ_1 longueur d'onde lumineuse au cours de la propagation dans le prisme.
- 4- Qu'observe-t-on si on remplace la lumière monochromatique par la lumière blanche ?quel est le nom de ce phénomène ?

Exercice 3 : On réalise une expérience de diffraction de la lumière par une source laser monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ . On pose à quelque centimètres de la source un fil mince de diamètre a , le fil est distant d'un écran de $D=5.54 \text{ m}$.

I-On éclaire le fil par le laser et on observe des taches de diffraction. la largeur de la tache centrale est L .

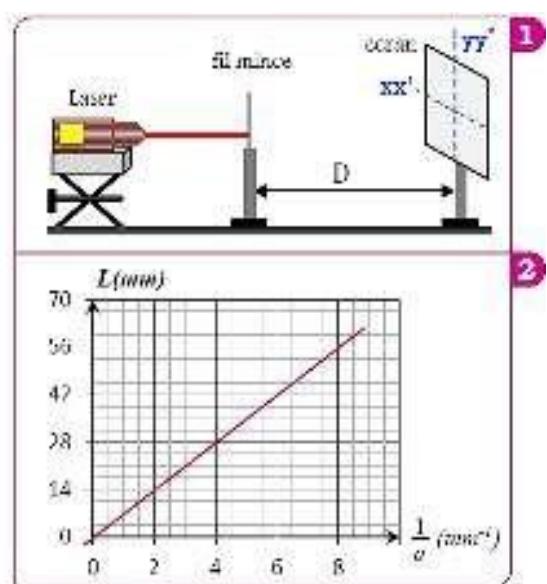
- 1- La diffraction est-elle observée sur l'axe xx' ou sur yy' ?
- 2- Quelle est la nature de la lumière mis en évidence par la diffraction ?
- 3- Expliquer en utilisant un schéma l'écart angulaire θ , la largeur de la tache centrale L et la distance D entre le fil et l'écran.
- 4- Exprimer la largeur L en fonction de a , D , et λ .(on prend $\tan\theta \approx \theta$).

II-On utilise des fils de différents diamètres et on mesure la largeur L de la tache centrale pour chaque fil et on trace le diagramme (fig2)

qui représente les variations de L en fonction de $\frac{1}{a}$.

1- Déterminer la longueur d'onde λ . Est-ce qu'elle appartient au domaine visible ?

- 1- On répète la même expérience en remplaçant le fil par un cheveu de diamètre d . la mesure de la tache centrale a donné la valeur $L'=42 \text{ mm}$.determiner d .



Exercice 4 : Pour déterminer la célérité d'une onde lumineuse dans une fibre optique de longueur $L=200 \text{ m}$ on réalise le montage de la figure 1 .Les capteurs R_1 et R_2 montés aux extrémités du fibret permettent de transformer l'onde lumineuse à un signal électrique visualisé par l'oscilloscope.

Données :

* la sensibilité horizontale : $0.2 \mu\text{s}/\text{div}$.

*La célérité de la lumière dans le vide : $c=3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

*La longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0=600 \text{ nm}$.

1-En exploitant la figure 2 :

1-1-Déterminer le retard τ entre R_1 et R_2 .

1-2-Calculer V la célérité de propagation de l'onde lumineuse dans la fibre optique

1-3-Déduire l'indice de réfraction n de la fibre optique.

1-4-Calculer la longueur d'onde lumineuse λ au cœur de la fibre optique.

2-La fibre optique est un milieu transparent son indice de réfraction varie en fonction de la longueur d'onde selon la relation suivante :

$$n = 1.484 + \frac{5.6 \cdot 10^{-15}}{\lambda^2}$$
 dans (SI).

On remplace la source lumineuse par une autre de longueur d'onde $\lambda'_0 = 400 nm$ dans le vide sans changer le dispositif expérimental.
 Trouver le retard τ' observé sur l'oscilloscope.

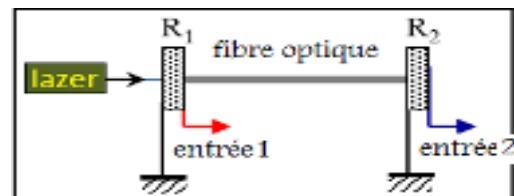


fig 1



fig 2

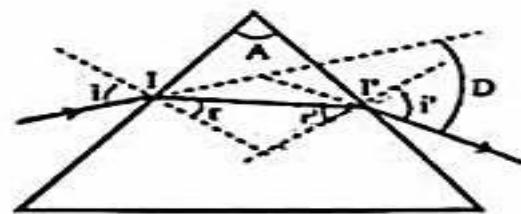
Exercice 5

Un rayon monochromatique arrive sur l'une des deux faces d'un prisme avec une incidence i ; puis il émerge de l'autre face avec un angle d'émergence i' , telle que $i' = i$.

1) Trouver l'expression de l'angle de sommet A en fonction r.

2) Trouver l'expression de la déviation D en fonction de i et de A.

3) En déduire l'expression de n , indice de réfraction du verre constituant le prisme. Calculer sa valeur avec $A = 60^\circ$ et $D = 39^\circ$.



Exercice 6 : On dispose d'étudier les conditions de dispersion de la lumière blanche par un prisme pour lequel la réfraction est 1,680 (pour radiation bleue) et 1,596 (pour radiation rouge). Les notations adaptées pour les angles sont données sur le schéma ci-contre : On envoie sur une face du prisme d'angle $A = 50^\circ$ un mince faisceau de lumière blanche d'indice $i_1 = 45^\circ$.

1- Calculer l'angle de réfraction i_{2B} pour la radiation bleue puis l'angle de réfraction i_{2R} pour la radiation rouge.

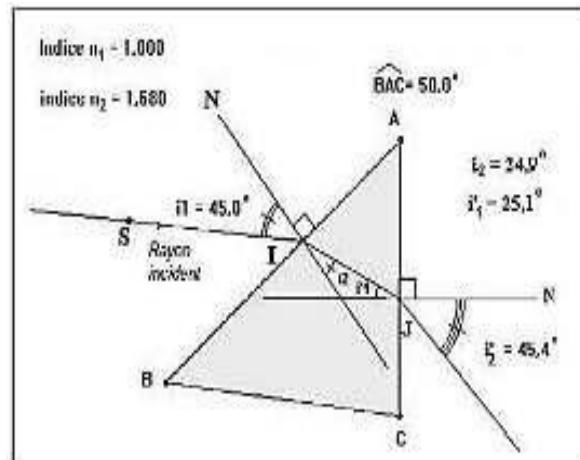
2- Pour les deux radiations, en déduire la déviation due à la première surface de séparation traversée.

3- Dans le cas de la radiation bleue, l'angle d'indice i_1 sur la face de sortie du prisme, i_1' vérifie la relation $A = i_2 + i_1'$. En déduire la valeur numérique de i_1' pour chaque radiation étudiée.

4- Quels sont les valeurs des angles de sortie du prisme i_{2B} et i_{2R} pour chaque radiation.

5- Calculer la déviation D subie par le pinceau incident à sa sortie du prisme en fonction de i_1 , i_2 et A.

6- Déduire les déviations subies respectivement par la lumière bleue et par la lumière rouge.



CORRECTION

Introduction : la radioactivité est un phénomène naturel aléatoire qui affecte certains noyaux, et qui permet de dater certaines roches ou d'estimer la date de la mort de certains êtres vivants, telles que les momies pharaoniques, par exemple.
Quel est le principe de cette datation ? Comment la réaliser ?



I- Le noyau atomique

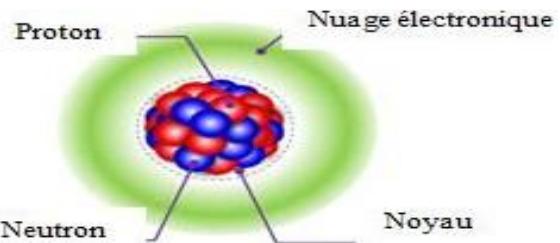
1-Les constituants du noyau

Le noyau atomique est composé de et de ces constituants du noyau s'appellent les

Le a une charge positive appelée charge élémentaire:

$q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} C$, sa masse : $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} kg$.

Le est électriquement neutre (il n'a pas de charge électrique). ($q_n = 0$), sa masse : $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27} kg$.

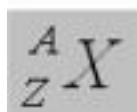


2-Représentation symbolique du noyau atomique

Le nombre de nucléons que contient le noyau atomique est noté....., il s'appelle: (c'est le nombre de protons + nombre de neutrons)

Le nombre de protons que contient le noyau atomique est symbolisé par, il s'appelle : (ou le nombre de charges)

Le noyau atomique d'un élément chimique est représenté par le symbole:



X: symbole de l'élément chimique.
A: nombre de masse. (=nombre de nucléons)
Z: numéro atomique (=nombre de protons)
 $N = A - Z$: nombre de neutrons.

Application 1 :: Donner la composition du noyau ^{12}C :

Symbol de noyau ^{A_Z}X	Nombres de nucléons	Nombre de protons	Nombre de neutrons
.....

3- Le nucléide

On appelle **nucléide** en physique nucléaire , l'ensemble des **noyaux identiques** ayant même A et même Z.

Exemples : ^{35}Cl est nucléide de l'élément chimique de chlore

$^{14}_6C$ et $^{13}_6C$: sont deux nucléides différents malgré qu'ils ont même nombre de proton.

Un nucléide X est donc un noyau caractérisé par son nombre et son numéro atomique, il est noté:

4-Les isotopes

Des noyaux qui ont même numéro mais des nombres différent, s'appelle des **isotopes** . (Ils ont donc même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent).

Exemple :

Remarque :

Les isotopes diffèrent aussi par leur abondance dans la nature.

l'isotope	$^{16}_8O$	$^{17}_8O$	$^{18}_8O$
% abondance	99,759	0,037	0,204

5-La densité du noyau atomique :

Le noyau atomique a une forme sphérique dont le rayon r varie avec la variation du nombre de masse A selon la relation suivante:

$$r = r_o A^{\frac{1}{3}} \quad r_o = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

La masse approchée d'un nucléon est : $m_n \approx 1,7 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

La valeur approchée de la masse volumique du noyau atomique:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{m_n \times A}{\frac{4}{3}\pi r_o^3} = \frac{3m_n \cdot A}{4\pi r_o^3} = \frac{3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-27}}{4\pi \cdot (1,2 \cdot 10^{-15})^3} \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ Kg/m}^3 \quad \text{soit: } \rho = 2 \cdot 10^8 \text{ tonnes/cm}^3$$

La masse de 1cm³ de la matière nucléaire est 200 millions tonnes. par conséquence la matière nucléaire est extrêmement dense.

II-Stabilité et Instabilité des noyaux atomiques

1-Noyau radioactif

Un **noyau radioactif** est un **noyau instable** dont la désintégration (:destruction) provoque l'apparition d'un **nouveau noyau**, avec émission d'une particule notée α , β^- ou β^+ , et fréquemment l'émission d'un rayonnement électromagnétique noté γ .

La désintégration radioactive est un phénomène naturel, aléatoire et spontané.

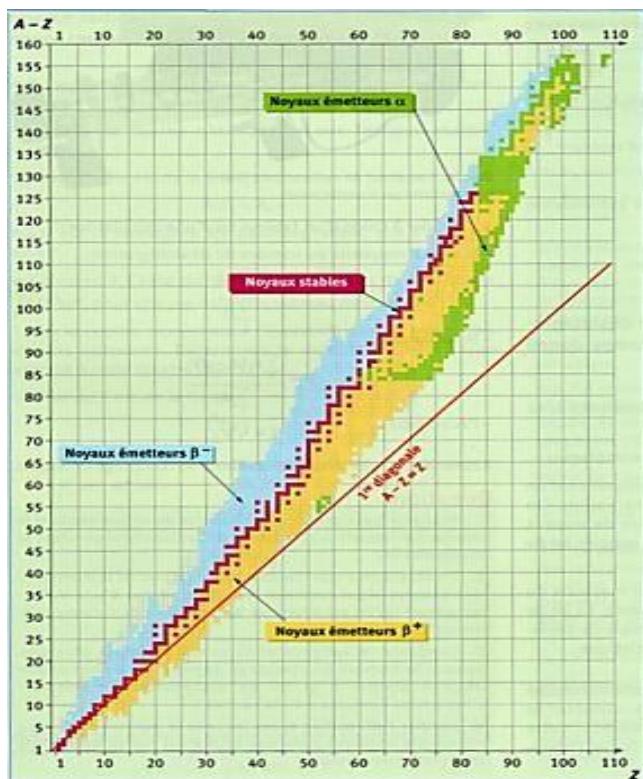
2- Le diagramme (N,Z) ou diagramme de Segré

Le diagramme de Segré contient tous les **noyaux stables** et **les noyaux radioactifs** (instables) existants répartis de la façon suivante: le nombre de neutrons N en abscisse et le nombre de protons Z en ordonnée: c'est le **diagramme (N, Z)**

- **La zone centrale rouge** s'appelle la vallée de stabilité et comprend les noyaux stables
- **Pour les nucléides de $Z \leq 20$** : la vallée de stabilité se situe au voisinage du premier médiateur ($Z = N$), c.-à-d. on a : $(Z = N)$ pour les noyaux stables légers.
- **Pour les nucléides de $Z > 20$** : la vallée de stabilité se déplace au-dessus du premier médiateur quand la valeur de Z augmente, c.-à-d. on a : $N > Z$ pour les noyaux stables.
- **Pour les nucléides de $Z > 83$** : sont instables

Remarque:

Les différents isotopes de même élément chimique se trouvent sur la même droite parallèle à l'axe des ordonnées

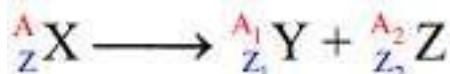


3--Lois de conservation (lois de Soddy)

« Lors d'une **transformation nucléaire**, le nombre de nucléons: A et la charge électrique: Z , se conservent »

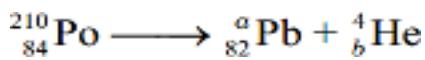
Appliquons la loi de Soddy à l'équation générale de désintégration suivante:

➤ **Conservation des nucléons**

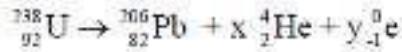


Application 2 :

1. Trouver les nombres a et b dans l'équation suivante :



2. Trouver les nombres x et y dans l'équation suivante :

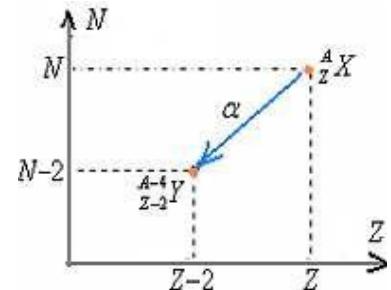


4-Les radioactivités α , Q, et γ

a- La radioactivité α :

La radioactivité α : est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux lourds ($A > 200$), dans laquelle un **noyau père** se transforme en un **noyau fils** accompagnée de l'émission d'un noyau d'Hélium appelé **particule α** , selon l'équation suivante ::

Exemple :



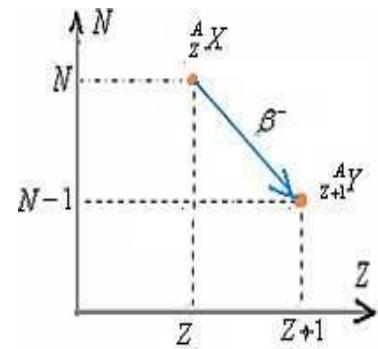
b- La radioactivité β^- :

La radioactivité β^- : est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, dans laquelle **un noyau père** se transforme en **un noyau fils** Accompagnée de l'émission d'un électron appelé **particule β^-** , selon l'équation suivante :

Exemple :

Remarque :

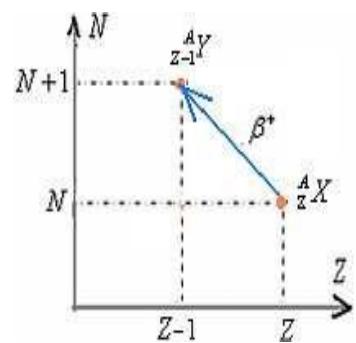
Lors de cette radioactivité β^- un se transforme en un selon l'équation suivante :



c- La radioactivité β^+

La radioactivité β^+ : est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, dans laquelle **un noyau père** se transforme en **un noyau fils** Accompagnée de l'émission d'un positron appelé **particule β^+** , selon l'équation suivante :

Exemple :



Remarque :

Lors de cette radioactivité β^+ **un** se transforme en **un** selon l'équation suivante :

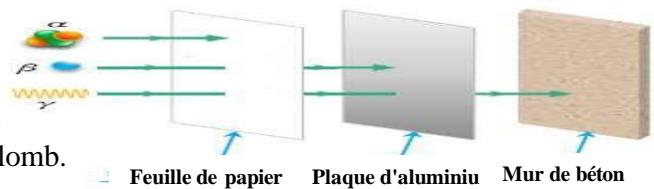
c- Le rayonnement γ

Le rayonnement γ est des ondes électromagnétiques de très grande énergie, lors des désintégrations α et β^- et β^+ , le noyau fils est généralement produit dans un état excité (il possède un excédent d'énergie par rapport à son état fondamental). Ce noyau libère un rayonnement γ selon l'équation suivante::

Exemples :

Remarque :

- Les rayons α : peuvent être arrêtés par une feuille de papier.
- Les rayons β : peuvent être arrêtés par une plaque d'aluminium.
- Les rayons γ : peuvent être arrêtés par un mur de béton ou de plomb.

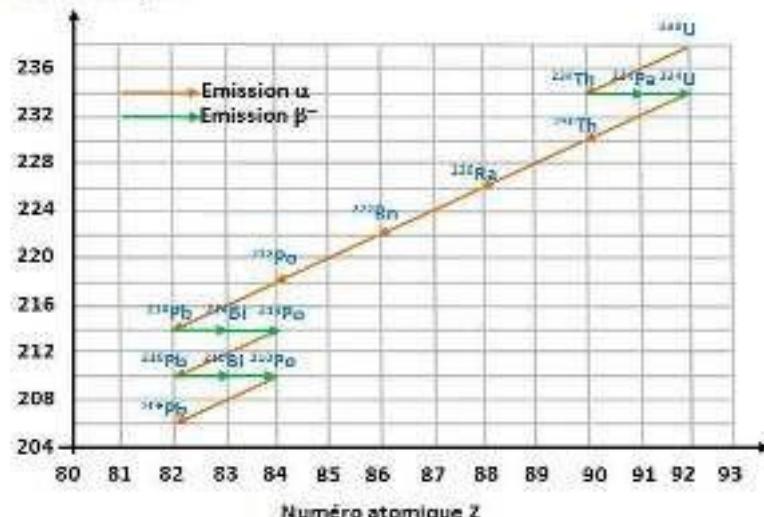


5-Familles radioactives :

Une famille radioactive est une suite de nucléides descendant d'un même noyau, le noyau père, par une suite de désintégrations successives jusqu'à l'obtention d'un **noyau stable**. Il n'y a que quatre familles :



Masse atomique A



Application 3 L'iode $^{131}_{53}\text{I}$ est radioactif de type β^- . Ecrire l'équation de désintégration du noyau de l'iode en précisant la nature de la particule β^- en identifiant le noyau fils parmi les éléments suivants : ^{51}Sb ; ^{52}Te ; ^{54}Xe ; ^{55}Cs .

.....

.....

.....

Les propriétés de la fonction logarithme décimale (dans chimie)

$$\log 10 = 1$$

$$\log 1 = 0$$

$$\log xy = \log x + \log y$$

$$\log \frac{x}{y} = \log x - \log y$$

$$\log 10^a = a$$

$$\log y = x \Leftrightarrow y = 10^x$$

Les propriétés de la fonction exponentielle (e^x) et népérienne (\ln)

$$e^a \cdot e^b = e^{a+b} \quad , \quad \frac{e^a}{e^b} = e^{a-b}$$

$$e^b = a \Leftrightarrow b = \ln a \quad ; \quad a > 0$$

$$e^0 = 1 \quad , \quad \ln 1 = 0 \quad , \quad e^{-\infty} = 0$$

$$(a,b) > 0 : \ln(a \cdot b) = \ln a + \ln b$$

$$(a,b) > 0 : \ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$$

$$\ln a^n = n \ln a \quad , \quad \ln \frac{a}{b} = -\ln \frac{b}{a}$$

$$(a \cdot e^{-\lambda x})' = -a \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda x} \quad \text{Dérivée}$$

III- Décroissance radioactive

1-Loi de décroissance radioactive

« La radioactivité est un phénomène spontané aléatoire, on ne peut pas prévoir l'instant de la désintégration ».

Le nombre de noyaux non désintégrés d'un échantillon radioactif suit la loi de décroissance radioactive suivante:

N(t):

N_0 :

λ :

2-La constante de temps d'un échantillon radioactif : τ

On définit la constante de temps τ par la relation suivante :

son unité dans (*S.I.*) est : *seconde* (*s*)

On a :

à l'instant $t = \tau$ on trouve :

Alors t est la durée nécessaire pour la désintégration de 62% du nombre

iniciala N_0 de nucleoide.

Remarque : La tangente de la courbe $N = f(t)$ à l'instant $t = 0$ coupe l'axe des abscisses au point de l'abscisse $t = \tau$. (figure 1)

3-Demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif

La demi-vie d'un nucléide radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des nucléides radioactifs initialement présent dans l'échantillon se sont désintégrés. (c.-à-d. ($t = t_{1/2}$) = $\frac{N_0}{2}$)

4- Activité d'un échantillon radioactif a :

« On appelle activité d'un échantillon radioactif le nombre de désintégrations qu'il produit par seconde »

L'activité est définie par la relation suivante

L'activité est définie par la relation suivante

L'activité se mesure en becquerels (Bq) : 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.

L'appareil de mesure de l'activité est appelé : appareil de Geiger

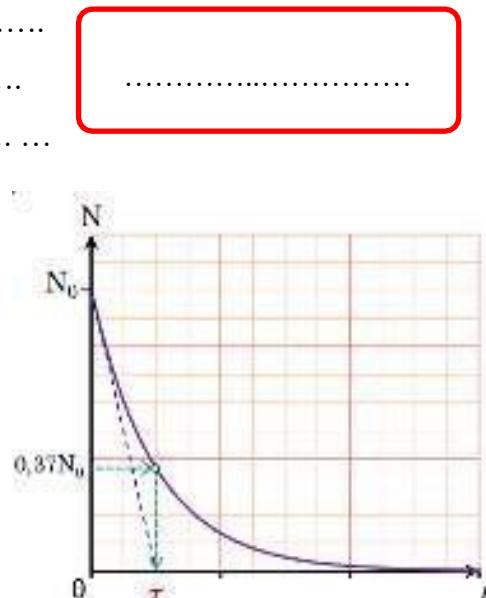


Fig 1 : loi de décroissance radioactive

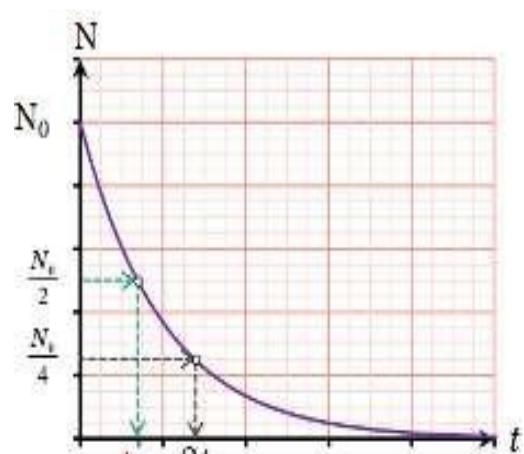


Fig 2 : Détermination de $t_{1/2}$ graphiquement

Exemple

source	1 L d'eau	1kg grain	homme (70kg)	1kg d'uranium
Activité (Bq)	10	1000	7000	$25 \cdot 10^6$

Remarque

- $a(t)$ et $N(t)$ ont la même courbe. (Figure 3)

- On peut aussi exprimer la loi de décroissance radioactive par :

La masse $m(t)$:
$$m(t) = m_0 \times e^{-\lambda t}$$

ou La quantité de matière $n(t)$

$$n(t) = n_0 \times e^{-\lambda t}$$

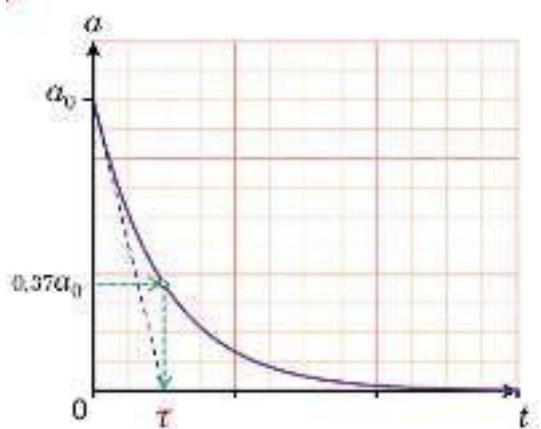


Fig 3 : loi d'activité $a(t)$

Application 4 : Trouver l'expression de l'activité $a(t)$ à l'instant $t_{1/2}$

.....
.....
.....
.....

4-Comment dater un événement grâce à la radioactivité ?

La radioactivité de certains éléments chimiques qui se trouvent dans les fossiles sédimentaires ou dans les roches permet de déterminer leur âge de la manière suivante :

- En mesurant l'activité $a(t)$ de l'échantillon que l'on souhaite dater et l'activité a_0 d'un échantillon vivant de même nature.
- En utilisant la relation : $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$. Déterminer l'expression de la date t

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

La datation au carbone 14 est aussi une méthode de datation radioactive basée sur la mesure de l'activité du carbone 14 contenu dans de la matière organique dont on souhaite connaître l'âge depuis sa mort.

Application 5 : Des archéologues ont trouvé une statue en bois dont l'activité est **135 Bq**. Sachant que l'activité d'un morceau de bois contemporain de même masse et de même type de bois dont est faite la statue est **165 Bq**.

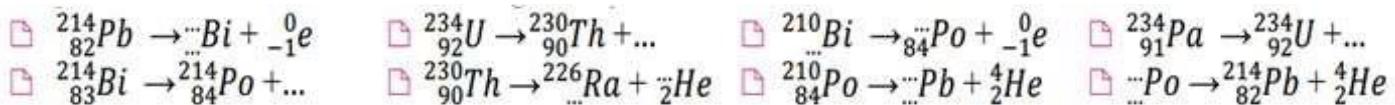
Déterminer en ans l'âge approximatif de la statue de bois.

Données : Demi-vie du carbone 14 : $t_{1/2} = 5570$ ans.

.....
.....
.....
.....

Série N°P4 : Décroissance radioactive

Exercice 1 :



Exercice 2: Le noyau d'argent ${}^{108}_{47}\text{Ag}$ est radioactif β^- .

1-Déterminer parmi les noyaux suivants le noyau fils et donner sa composition : ${}_{46}\text{Pd}$, ${}_{47}\text{Ag}$, ${}_{48}\text{Cd}$.

2-Ecrire l'équation de désintégration.

3-Représenter les deux noyaux dans le diagramme (N,Z).

4-Un échantillon d'argent 108 de masse m_0 , son activité à l'instant $t=0$ est $a_0 = 890. 10^{11}\text{Bq}$.

4-1-Calculer la masse m_0 de l'échantillon à $t=0$.

4-2-Déterminer la masse de l'argent restante dans l'échantillon à l'instant $t=3\text{min}$.

On donne : $\lambda = 32\text{mn}^{-1}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$, $M({}^{108}_{47}\text{Ag}) = 108\text{g.mol}^{-1}$

Exercice 3:

1- Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive d'un nucléide en précisant la signification de tous les termes.

2-Trouver l'expression du temps de demi-vie $t_{1/2}$.

3-On considère un échantillon contenant initialement N_0 noyaux de polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$.

La constante de décroissance radioactive λ du polonium 210 est :

$$\lambda = 5,8 \cdot 10^{-8} \text{s}^{-1}$$

3-1 Calculer son temps de demi-vie $t_{1/2}$ en seconde et en jour.

3-2 Trouver l'expression de noyaux radioactifs à l'instant $nt_{1/2}$.

Exercice 4 : On se propose, à partir du graphe ci-dessous, d'établir la loi de décroissance radioactive d'un nucléide :

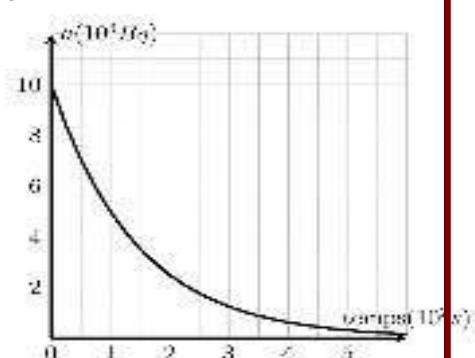
1. Rappeler la loi de décroissance donnant l'activité d'un radionucléide en fonction du temps.

2. Graphiquement, déterminer l'activité initiale et la demi-vie $t_{1/2}$

3. Calculer la constante radioactive λ en précisant son unité.

4. Déterminer graphiquement la constante du temps τ .

5. Quelle est la relation entre λ et τ ? Est-elle vérifiée dans ce cas ?



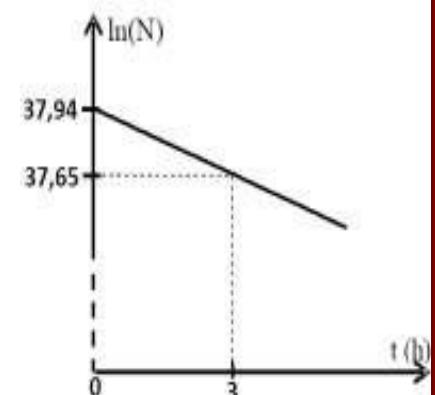
Exercice 5 : La figure ci-contre représente les variations de $\ln(N)$ en fonction du temps t , avec N le nombre de noyaux d'astate 211 restant à l'instant t .

1- Calculer le nombre de noyaux initial N_0 .

2- Montrer que la demi-vie de l'acétate 211 est $t_{1/2} = 7,17h$.

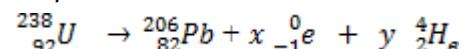
3- Calculer le nombre de noyaux restants à l'instant $t_{1/2}$.

4- Au bout de combien de temps pour désintégrer 75% de noyaux initial



Exercice 6 : Pour dater ou suivre l'évolution de quelques phénomènes naturels , les scientifiques recourent à des techniques basée sur la loi de décroissance radioactive .Parmi ces technique , la technique de datation uranium - plomb . Parmi ces technique , la technique de datation uranium - plomb . transforme en nucléide de plomb 206 à travers une suite de désintégrations α et β^-

On modélise ses transformations nucléaires par l'équation bilan suivante :



1-1- En employant les lois de conservation, déterminer les nombres x et y de l'équation précédente.

1-2- Donner la composition du noyau d'uranium 238 .

2- Datation d'une roche minérale par la technique uranium- plomb

On trouve de l'uranium et le plomb dans les roches avec des proportions qui dépendent de la date de leurs formations .On suppose que le plomb dans quelques roches provient uniquement de la désintégration de l'uranium 238 avec le temps .

Soit un échantillon de roche qui contenait à l'instant de sa formation qu'on considère comme origine des dates , un nombre de noyau d'uranium $^{238}_{92}U$. Cette roche renferme à l'instant t , une masse d'uranium $238 m_u(t) = 10 g$ et la masse $m_{Pb}(t) = 0,01 g$ de plomb 206 .

2-1- Montrer que l'âge de la roche minérale est : $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln(1 + \frac{m_{Pb}(t) \cdot M(^{238}_{92}U)}{m_u(t) \cdot M(^{206}_{82}Pb)})$

2-2- Calculer l'âge de la roche en ans.
Données : Masses molaires : $M(^{238}_{92}U) = 238 \text{ g.mol}^{-1}$: $M(^{206}_{82}Pb) = 206$, ^{238}U : $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$

CORRECTION

Introduction : Quand une bombe nucléaire explose, une énorme d'énergie a libérée, résultant de réactions de fission nucléaire en chaîne.

- Qu'est-ce qu'une réaction de fission nucléaire en chaîne ?
 - comment peut-elle produire une telle énergie ?
 - Quelles sont les applications et dangers de radioactivité ?



I-Équivalence entre masse et énergie

1-Relation d'Einstein

En 1905 Albert Einstein postulat l'équivalence entre la masse et l'énergie suivante :

« Tout corps de masse "m" possède une énergie égale au produit de sa masse par le carré de la vitesse de la lumière »

E (...) **m** (...) **c** : $c \equiv 2.9979 \cdot 10^8 \text{m/s}$

Cette relation montre que toute variation de masse d'un système s'accompagne d'une variation d'énergie

Application 1 :

Calculer l'énergie de masse de protons (masse de protons $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$)

[View Details](#) | [Edit](#) | [Delete](#)

2-Unités de masse et d'énergie

a-L'unité de masse atomique

En physique nucléaire, on exprime la masse d'un noyau ou d'un atome en unité de masse atomique, de symbole **u** :

L'unité de masse atomique est égale à 1/12 de la masse d'un atome de carbone ^{12}C

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{M(^{12}_6C)}{N_A}$$

b- Unité d'énergie

L'unité joule est inadaptée, trop grande; on utilise plutôt l'électron-volt, eV : $1\text{eV} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ et aussi le MeV :

c-L'énergie correspondant à la masse atomique.

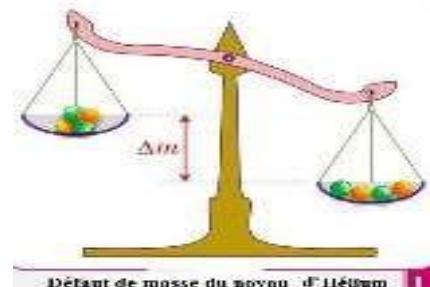
Déterminer l'énergie de masse **E** pour une masse de **1u**, en **J** et en **MeV** .

.....
.....
.....

II- Énergie de liaison d'un noyau E_ℓ .

1-Défaut de masse du noyau Δm .

Des mesures précises montrent que la masse **du noyau d'un atome** est toujours **inférieure** à la somme de la masse **de ses nucléons** pris individuellement. |Cette différence est appelée **défaut de masse Δm** :

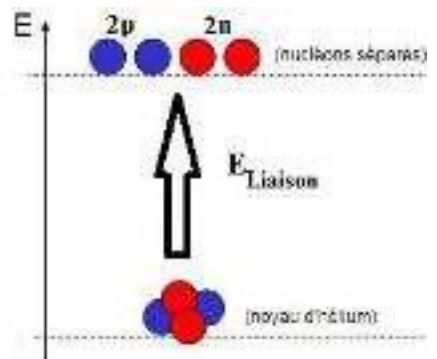


Où m_p et m_n sont respectivement la masse d'un proton et la masse d'un neutron .

Application 2 : Calculer Δm pour un noyau d'hélium ; **Données:** $m_n = 1,0087 \text{ u}$; $m_p = 1,0073 \text{ u}$; $m(^4_2H_e) = 4,0015 \text{ u}$

2-Énergie de liaison d'un noyau E_L .

Energie de liaison E_L est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau immobile, pour le dissocier en nucléons libres et immobiles.



Cette énergie E_L est toujours

Application 3 : Calculer E_P pour le noyau d'hélium 4_2H_e

3-Energie de liaison par nucléon ξ :

L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau notée ξ est :

avec E_L : l'énergie de liaison en MeV , et A : le nombre de masse , l'unité de ξ est en MeV/nucléon .

Remarque : « Plus l'énergie de liaison par nucléon ξ est élevée plus le noyau est stable.» .

Application 4 : Calculer l'énergie de liaison par nucléon ξ pour un noyau d'hélium

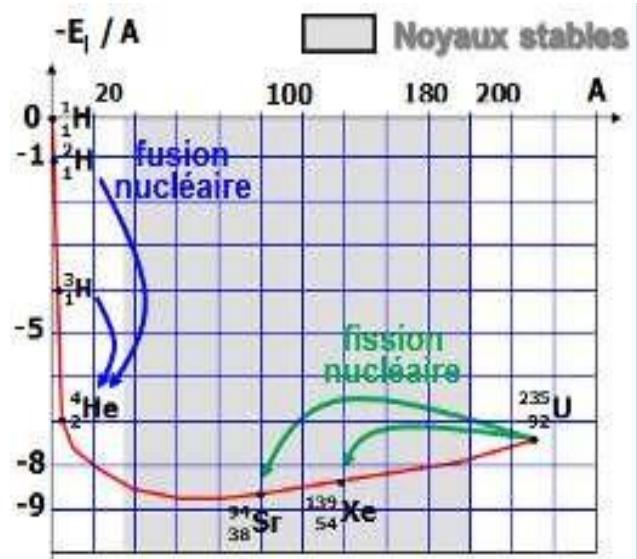
4-Courbe d'Aston :

La courbe d'Aston représente $-E_L/A$ en fonction de A , permet de comparer la stabilité des noyaux atomiques. Cette courbe permet de comparer la stabilité des différents noyaux atomiques.

- **Les noyaux stables** se situent dans la région où $20 < A < 195$

- **Les réactions de fusion nucléaire** affecteront les noyaux les plus légers ($A < 20$).

- **Les réactions de fission nucléaire** affecteront les noyaux les plus lourds ($A > 195$).

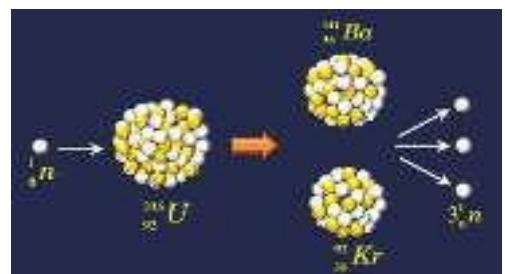


II-Fission et fusion nucléaires :

1-Fission nucléaire

La fission est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle un noyau lourd bombardé par un neutron se divise en deux noyaux plus légers.

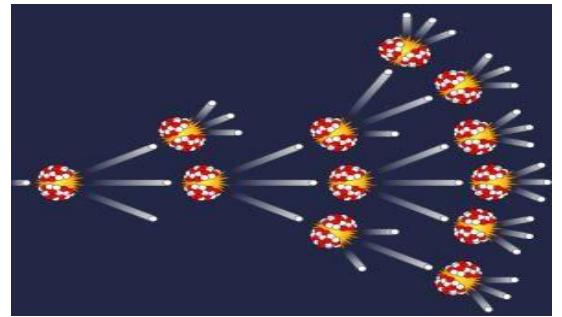
Exemple :



Remarque :

-La fission nucléaire est une réaction en chaîne. Elle produit des neutrons qui peuvent provoquer d'autres réactions de fission.

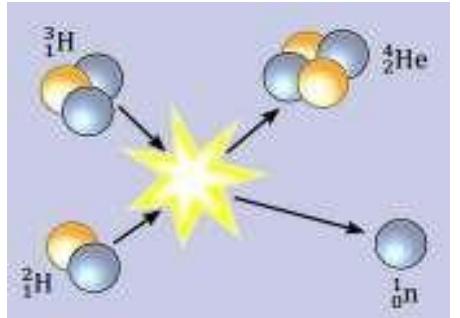
-La réaction en chaîne doit être contrôlé pour qu'elle ne soit pas explosive (le cas de la bombe A). Dans des réacteurs nucléaires, la fission est contrôlée .



2- Fusion nucléaire:

La fusion nucléaire est une réaction nucléaire **provoquée**, au cours duquel deux noyaux atomiques **légers** s'assemblent pour former un noyau **plus lourd**.

Exemple :



Remarque :

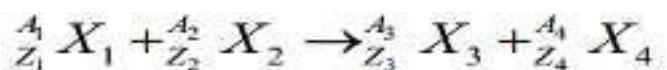
-**La fusion** n'est possible que si les deux noyaux possèdent une grande énergie cinétique pour vaincre les forces de répulsion électriques. : On porte alors le milieu à très haute température (10^8K). En conséquence, la réaction de fusion est appelée **réaction thermonucléaire**.

-**La fusion** se produit naturellement dans les étoiles. Dans une bombe thermonucléaire (appelée bombe H), la fusion nucléaire est incontrôlée et explosive.

IV- Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

1-Cas général d'une réaction nucléaire

On considère une transformation nucléaire quelconque :



Il y a deux façons de calculer l'énergie produit ΔE par la transformation nucléaire :

- En utilisant la variation de masse :

-En utilisant les énergies de liaison des noyaux :

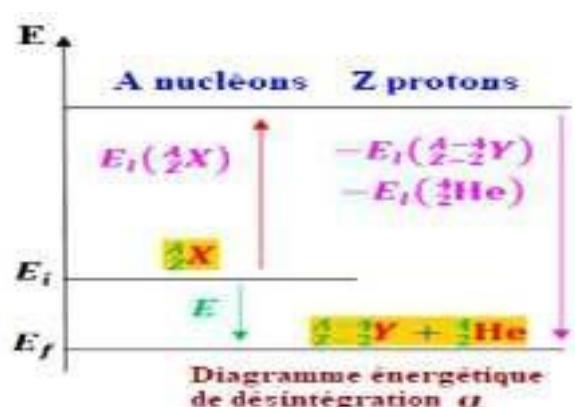
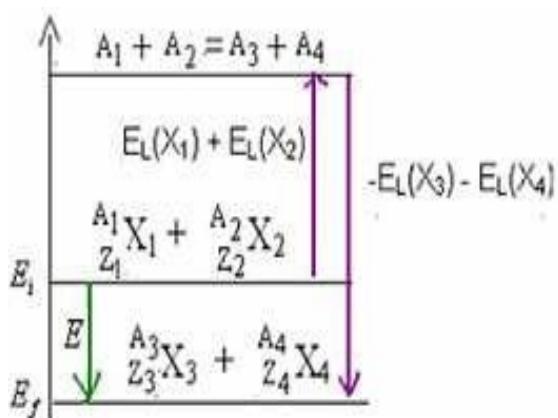
Remarques : -Si $\Delta E < 0$ on dit que la réaction nucléaire est **exoénergétique** (cède l'énergie)

-Si $\Delta E > 0$ on dit que la réaction nucléaire est **endoénergétique** (prend l'énergie)

- L'énergie libérée d'une réaction nucléaire est : $E_{libérée} = |\Delta E|$

Diagramme d'énergie

Exemple : Diagramme d'énergie pour radioactivité α



2-Applications : Bilan énergétique des transformations nucléaires .

a-fusion nucléaire :

Calculer l'énergie libérée au cours de cette réaction nucléaire : ${}^2_1H + {}^3_1H \longrightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

Données :

$$m({}^2_1H) = 2,0136u, m({}^3_1H) = 3,0155u, m({}^4_2He) = 4,0015u, m({}^1_0n) = 1,0087u$$
$$1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

b-Fission nucléaire

Calculer l'énergie libérée au cours de cette réaction nucléaire ${}^1_0n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + 2 {}^1_0n$

Données : $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,9935 \text{ u}$; $m({}^{94}_{38}\text{Sr}) = 93,8945 \text{ u}$; $m({}^{140}_{54}\text{Xe}) = 139,8920 \text{ u}$ $m(n) = 1,0087 \text{ u}$; $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

c-Radioactivité α

Calculer l'énergie libérée au cours de désintégration de radioactivité α : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2He$

Données : $m({}^{226}_{88}\text{Ra}) = 225,9770 \text{ u}$, $m({}^{222}_{86}\text{Rn}) = 221,9702 \text{ u}$, $m({}^4_2He) = 4,0015 \text{ u}$

d- Radioactivité Q-

Calculer l'énergie produit au cours de désintégration de radioactivité Q^- : ${}^{14}_6C \longrightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$

Données : $m({}^{14}_6C) = 13,9999 \text{ u}$, $m({}^{14}_7N) = 13,9992 \text{ u}$, $m({}^0_{-1}e) = 0,00055 \text{ u}$

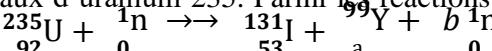
V- Applications et dangers de la radioactivité

Devoir : faites une recherche sur les thèmes suivants :

- Production de l'électricité par les centrales nucléaires ;
- Les applications de la radioactivité (dans la médecine ; L'industrie et l'agriculture)
- Les dangers de la radioactivité.

Série N°P5 : Noyaux -Masse et Energie

Exercice 1 : Dans des centrales thermiques, l'énergie électrique est produite en utilisant l'énergie thermique générée par la fission nucléaire de noyaux d'uranium 235. Parmi les réactions nucléaires qui peuvent se produire trouve la réaction d'équation.



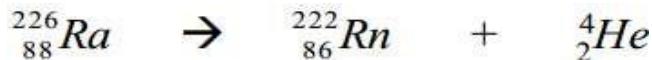
Données :

Noyau ou particule	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{131}_{53}\text{I}$	${}^1_1\text{p}$	${}^1_0\text{n}$
Masse (u)	234,9935	130,8770	1,0073	1,0087

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}; 1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}; 1u = 931,5 \text{ MeV.C}^{-2}$$

- Déterminer les deux entiers a et b.
- Vérifier que le défaut de masse du noyau d'Uranium 235 est : $\Delta m = 1,9222 u$. Et en déduire la valeur de l'énergie de liaison d'Uranium 235 $E_l(^{235}\text{U})$.
- Parmi les deux noyaux ^{235}U et ^{131}I , lequel le plus stable ? Justifier votre réponse. Sachant que $\xi_{(131\text{I})} = 8,451 \frac{\text{MeV}}{\text{nucléon}}$
- Calculer en deux unités (MeV et Joule). L'énergie produit ΔE lors de fission d'un noyau d'Uranium 235.
- En déduire (en J) E_T : l'énergie totale libérée lors de fission de 1kg des noyaux d'Uraniuns 235.
- Comparer E_T avec $E_P = 4,5 \cdot 10^5 \text{ J}$: l'énergie libérée de **1Kg** de pétrole. Que peut-on conclure ?
- Démontrer que l'expression de l'énergie produit ΔE peut s'écrire sous la forme : $\Delta E = E_l(^{235}_{92}\text{U}) - E_l(^{131}_{53}\text{I}) - E(^{99}_l\text{Y})$

Exercice 2 : L'air contient du radon 222 en quantité plus ou moins importante. Ce gaz radioactif naturel est issu des roches contenant de l'uranium et du radium. Le radon se forme par désintégration du radium (lui-même issu de la famille radioactive de l'uranium 238), selon l'équation de réaction nucléaire suivante :



- Quel est le type de radioactivité correspondant à cette réaction de désintégration? Justifier votre réponse.
- Calculer le défaut de masse du noyau de Hélium ${}^4_2\text{He}$. L'exprimer en unité de masse atomique u.
- Définir l'énergie de liaison E_l d'un noyau. Calculer, en MeV l'énergie de liaison $E_l({}^4_2\text{He})$.
- Le défaut de masse $\Delta m(\text{Rn})$ du noyau de radon Rn vaut $3,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$,
 - Calculer l'énergie de liaison $E_l(^{222}_{86}\text{Rn})$.
 - Calculer l'énergie de liaison par nucléon du noyau de ${}^4_2\text{He}$ et ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.
 - En déduire le noyau le plus stable.
- Établir littéralement l'énergie ΔE de la réaction en fonction de m_{Ra} , m_{Rn} et m_{He} , masses respectives des noyaux de radium, de radon et d'hélium. Calculer l'énergie ΔE en joule.

Données :

$$\text{Unité de masse atomique : } 1u = 931,5 \text{ MeV/C}^2 \quad ; 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \quad ; C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Masse en } \mu : m(^{222}_{86}\text{Rn}) = 221,970 \mu; m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 225,977 \mu; m({}^4_2\text{He}) = 4,001 \mu; m({}^1_0\text{n}) = 1,009 \mu; m({}^1_1\text{p}) = 1,007 \mu$$

Exercice 3 : La courbe de la figure 2 représente les variations de l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons A.

Déterminer, parmi les intervalles 1, 2 et 3 indiqués sur la figure 2, celui dans lequel les nucléides sont susceptibles de subir des réactions de fusion. Justifier la réponse.

2.2- L'équation de la réaction de fusion des noyaux de deutérium ${}^2_1\text{H}$ et de tritium ${}^3_1\text{H}$ s'écrit :

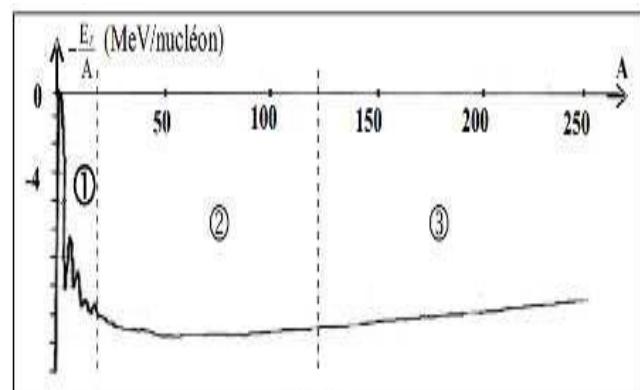
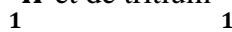


Figure2

On peut extraire **33 mg** de deutérium à partir de **1,0L** de l'eau de mer.

Calculer, en MeV, la valeur absolue de l'énergie que l'on peut obtenir à partir de la réaction de fusion du tritium et du deutérium extrait de $1\ m^3$ de l'eau de mer.

CORRECTION

Introduction : Un appareil photographique avec flash comporte un condensateur de forme généralement cylindrique.

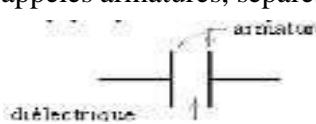
- Qu'est-ce qu'un condensateur ?
 - Comment se comporte un circuit comprenant un condensateur et un conducteur ohmique ?



I. Le condensateur :

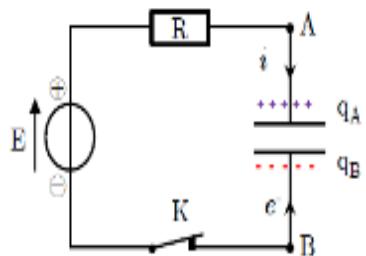
1. Définition :

Le condensateur est un dipôle constitué de deux plaques conductrices, appelés armatures, séparées par un isolant diélectrique. Le symbole du condensateur est :



2. Charge d'un condensateur :

On réalise le circuit de la figure 1 ci-contre, on branche le condensateur dans le circuit, puis on ferme l'interrupteur. Le condensateur se charge, les électrons quittent l'armature A qui se charge positivement ($q_A > 0$) s'accumulent sur l'armature B qui se charge négativement ($q_B = -q_A < 0$).



La charge du condensateur ou la quantité d'électricité emmagasinée dans le condensateur est la charge de l'armature positive de condensateur, son symbole est Q et son unité est le coulomb (C) : $\mathbf{Q} = \mathbf{q}_A = -\mathbf{q}_B$

3. Relation entre la charge et intensité du courant :

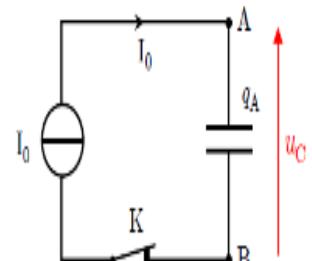
L'intensité du courant électrique est le débit de porteurs de charges qui traverse la section du conducteur par unité de temps.

- Cas du courant variable : - Cas du courant continu :

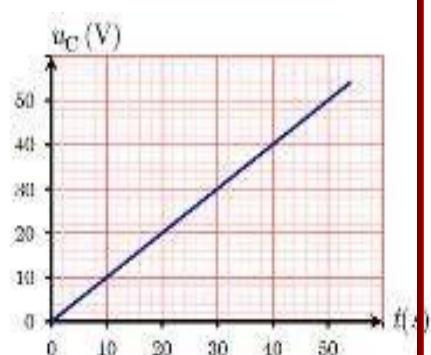
$i(t)$: intensité du courant en (A) ; q charge de condensateur en Coulomb (C) ; t , en seconde (s)

4. Relation entre la charge et la tension aux bornes d'un condensateur :

Activité 1 : On charge un condensateur avec un générateur de courant qui débite un courant constant $I_0 = 1mA$; on ferme l'interrupteur K on visualise la tension U_c aux bornes du condensateur, la courbe ci-dessous représente $u_c = f(t)$. le condensateur étudié porte les informations suivantes : [1000 μ F - 100V]



Montrer qu'à chaque instant t que $q = C \cdot u_c$



Conclusion : La charge q d'un condensateur est proportionnelle à la tension U_C aux bornes de ses armatures.

$$\left\{ \begin{array}{l} q : \dots \\ u_c : \dots \\ c : \dots \end{array} \right.$$

<i>Millifarad</i>	$1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$
<i>Microfarad</i>	$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
<i>Nanofarad</i>	$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
<i>Picofarad</i>	$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

II. Association des Condensateur :

1. Association en série :

on considère un ensemble de deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 branchés en série et cherchons la capacité d'un condensateur unique équivalent à cet ensemble. (La branche AB sera traversée par le même courant électrique donc $q = q_1 = q_2$).

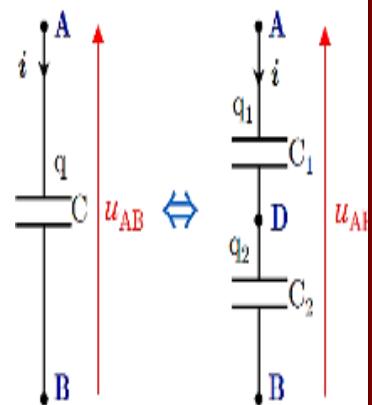
D'après la loi d'additivité des tensions entre A et B, on a : $u_{AB} = \dots$

Avec :

On écrit :

D'où :

En général, la capacité du condensateur équivalente à un ensemble de condensateurs de capacités C_1 et C_2 et ... et C_n branchés en série est :



Remarque : L'association en série des condensateurs permet d'obtenir un condensateur de capacité plus petite pouvant supporter une tension plus grande qui ne peut pas être supporté par chaque condensateur s'il est utilisé séparément.

2. Association en parallèle :

Considérons un ensemble de deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 branchés en parallèle et cherchons la capacité d'un condensateur unique équivalent à cet ensemble.

D'après loi des nœuds, on a :

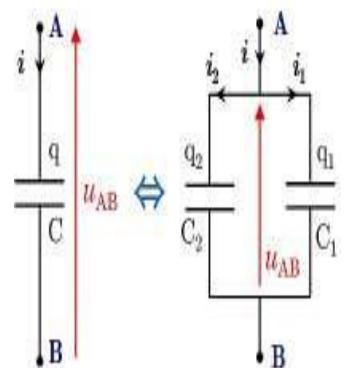
Donc :

Alors :

Puisque :

On écrit :

D'où :



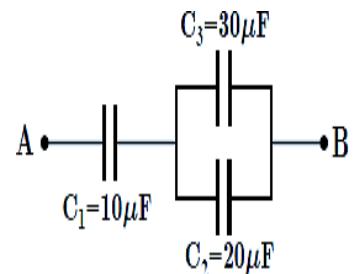
En général, la capacité du condensateur équivalente à un ensemble de condensateurs de capacités C_1 et C_2 et ... et C_n branchés en parallèle est :

.....

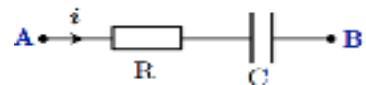
Remarque : L'association en parallèle des condensateurs permet d'obtenir un condensateur de capacité plus grande pouvant emmagasiner une charge plus grande sous une tension petite. Et, par l'application d'une tension petite, on peut obtenir une charge électrique grande peut ne pas être fournie par chaque condensateur séparément.

Application 1 : Vérifier que la capacité équivalente entre A et B est $C_{AB} = 8,3\mu F$

.....
.....
.....



III. Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension :



1. Définition:

Le dipôle RC est l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un condensateur de capacité C .

- Échelon de tension est un signal électrique $u(t)$. On distingue deux types :

Échelon descendant	Échelon montant
$u = E : t < 0$ $u = 0 : t \geq 0$	$u = 0 : t < 0$ $u = E : t \geq 0$

2. Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension - étude expérimentale :

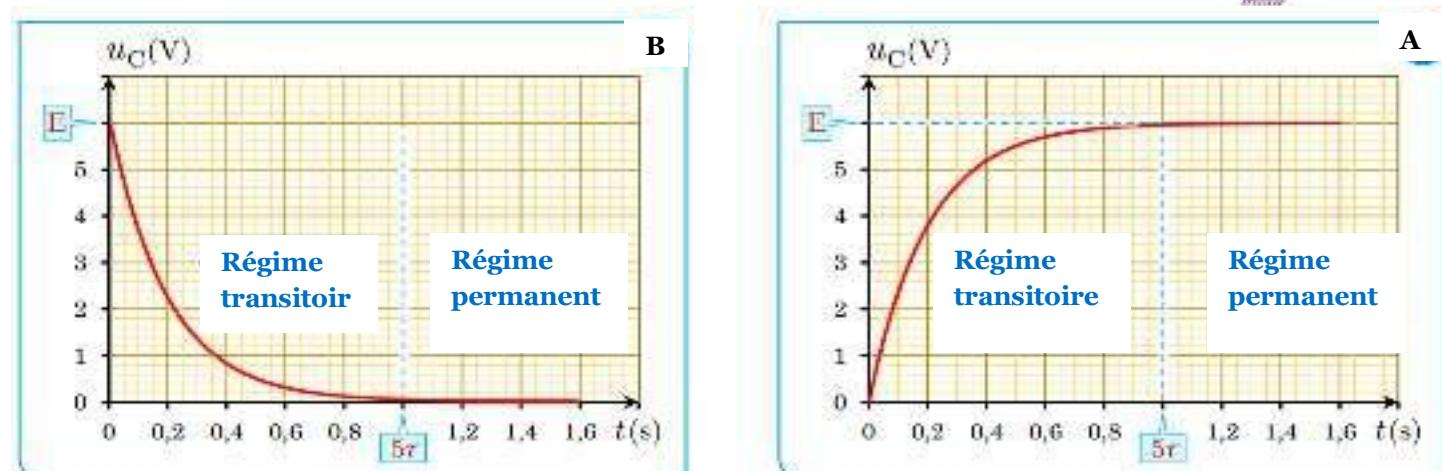
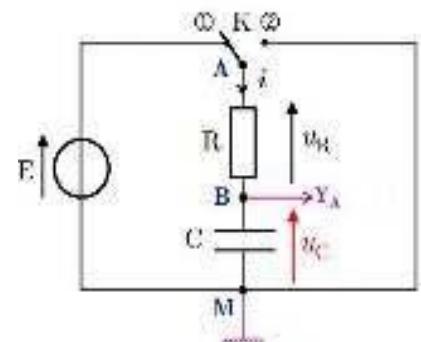
a- Charge et décharge du condensateur : Etude expérimentale (animation).

On considère le montage électrique ci-contre : Le condensateur est initialement déchargé

On prend : $E = 6 V$; $C = 100 \mu F$; $R = 2 K\Omega$

- À l'instant $t = 0$ on place K à la position (1) et on visualise la variation de tension u_c en fonction de temps. On obtient : la courbe A : (le dipôle RC est soumis échelon de tension montant : charge du condensateur)

- Qu'on le condensateur se charge totalement, on bascule K de la position(1) à la position (2). On obtient : la courbe B : (le dipôle RC est soumis échelon de tension descendant : décharge du condensateur).



On pose que : $R.C = \tau$; Dans ce cas : $\tau = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0.2$ (SI)

Observations expérimentales :

- La tension $U_C(t)$ est une fonction continue.
- La durée de charge et de décharge est égale à 5τ .
- La durée de charge et de décharge augmente quand C ou R augmente.

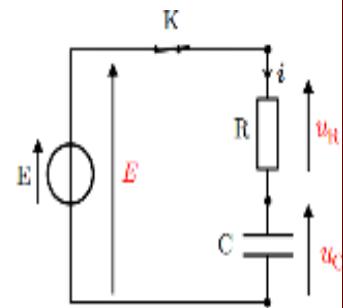
On constate 2 régimes :

- **Régime permanent quand $t \geq 5\tau$** , on constate que $\begin{cases} u_c = E & \text{Lors de charge de condensateur} \\ u_c = 0 & \text{Lors de décharge de condensateur} \end{cases}$
- **Régime transitoire quand $t \leq 5\tau$** , la tension $u_c(t)$ augmente (dans le cas de charge) et diminue (dans le cas de décharge).

3. Réponse RC à un échelon montant de tension (:charge du condensateur)- étude théorique :

a. Équation différentielle vérifiée par la tension u_c :

A l'instant $t_0 = 0$, on ferme l'interrupteur K. La tension aux bornes du dipôle RC passe de 0 à E.



Remarque :

C'est l'équation différentielle vérifiée par la charge q
du condensateur pendant sa charge.

b. Solution de l'équation différentielle :

On admet que la solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme :

$$u_c(t) = Ae^{-\alpha t} + B \quad \text{avec } A \text{ et } B \text{ et } \alpha \text{ des constantes.}$$

Déterminons les constantes A et α en utilisant l'équation différentielle

Déterminons la constante B en utilisant des conditions initiales

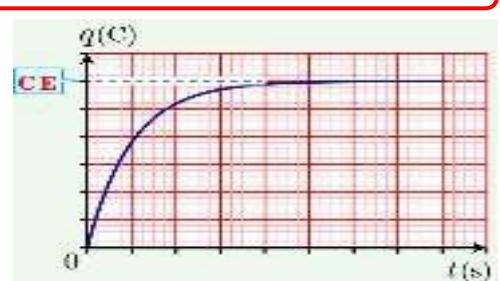
à l'instant $t = 0$ on a $u_c(t = 0) = 0$, (car le condensateur était déchargé),

Donc l'expression de la tension aux bornes du condensateur est :

Remarques :

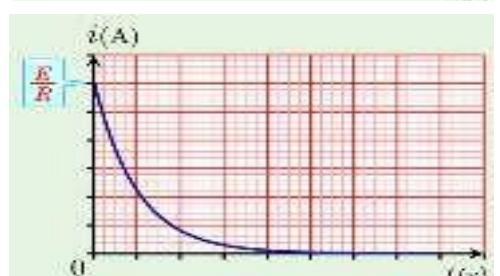
L'expression de la charge q

- on a



L'expression de l'intensité du courant

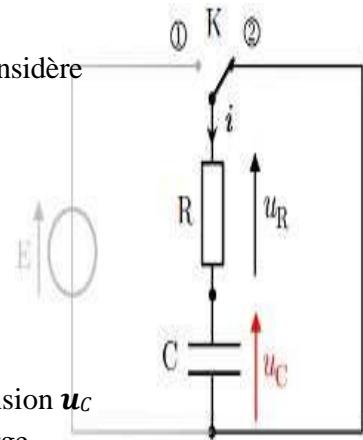
- on a



4. Réponse RC à un échelon descendant de tension (décharge de condensateur) - étude théorique :

a. Équation différentielle vérifiée par la tension u_C ::

Après la charge du condensateur, on bascule l'interrupteur à la position 2 que l'on considère comme origine des dates $t=0$, le condensateur se décharge dans la résistance.



C'est l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur pendant sa décharge.

Remarque :

C'est L'équation différentielle vérifiée par la charge q du condensateur pendant sa décharge.

b. Solution de l'équation différentielle :

On admet que la solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme

$$u_C(t) = Ae^{-mt} \quad \text{.., avec } A \text{ et } m \text{ sont des constantes.}$$

Déterminons la constante m en utilisant l'équation différentielle

Déterminons la constante A en utilisant des conditions initiales

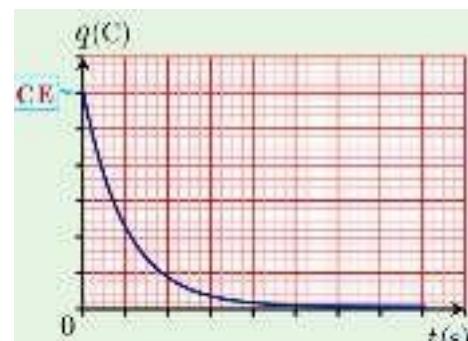
à l'instant $t = 0$ on a $u_C(t = 0) = E$, (car le condensateur était chargé),

Donc l'expression de la tension aux bornes du condensateur est :

Remarques :

L'expression de la charge $q(t)$

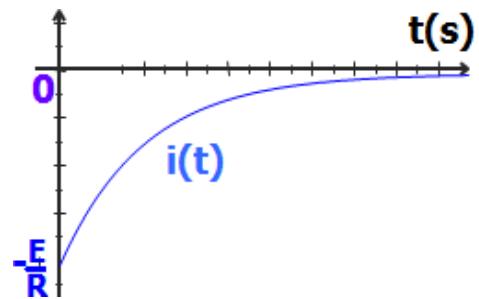
On a :



L'expression de l'intensité du courant $i(t)$

On a :

.....



5. Constante de temps :

a-Définition : On définit la constante du temps d'un dipôle RC par la relation :

b-Dimension de la constante de temps τ :

.....

Donc : La grandeur τ a une dimension, son unité dans SI est le

b. Détermination de la constante de temps τ :

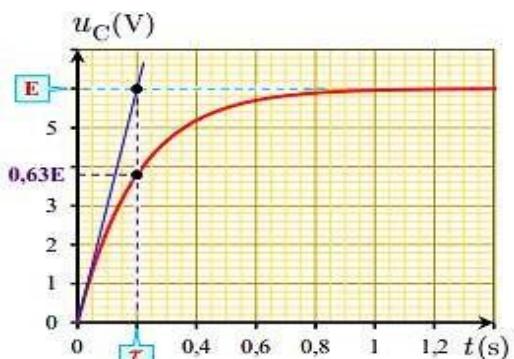
- Charge de condensateur :

Méthode 1 : pendant la charge on a : $u_c(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

À $t = \tau$ on a :

τ est l'abscisse qui correspond à l'ordonnée

Méthode 2 : τ est l'abscisse de l'intersection entre la tangente de la courbe à $t = 0$ et le asymptote $u_c = E$.



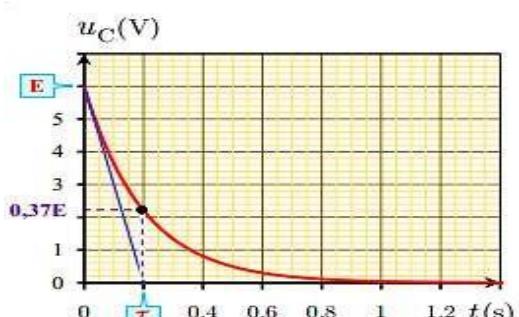
- Décharge de condensateur :

Méthode 1 : pendant la décharge on a : $u_c(t) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

À $t = \tau$ on a :

τ est l'abscisse qui correspond à l'ordonnée

Méthode 2 : τ est l'abscisse de l'intersection entre la tangente de la courbe à $t = 0$ et l'axe des abscisses.

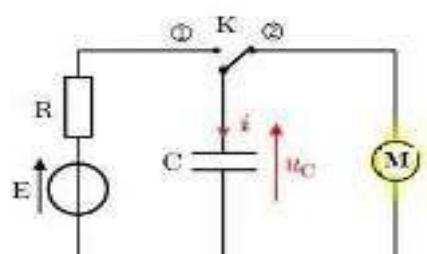


4. Energie emmagasinée dans un condensateur :

1. Mise en évidence d'énergie emmagasinée dans un condensateur :

On réalise le montage suivant : On charge le condensateur en plaçant le commutateur en position ①. Puis on bascule le commutateur en position ②, le moteur tourne et le condensateur se décharge .

Que peut-on conclure de cette expérience :



2. L'expression de l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur :

La puissance électrique fournie par le générateur au condensateur :

.....

Donc l'expression de l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur est :

.....

Remarque : En utilisant la relation :, on trouve :

.....

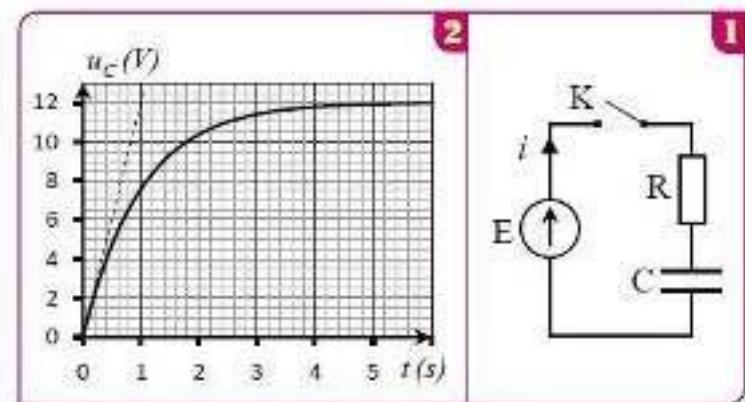
Applications : Les condensateurs sont utilisées dans des générateurs de tension, flash d'appareil photo, ordinateurs...

Série N°P6 : Le dipôle RC

Exercice 1 : Pour déterminer la capacité d'un condensateur on réalise le montage de la figure 1 qui est formé des éléments suivants :

- *un générateur idéal de tension de force électromotrice $E = 12 V$.
- *un conducteur ohmique de résistance $R = 1 K\Omega$.
- *un condensateur déchargé de capacité C et un interrupteur K et des fils de connexion .

A l'instant $t=0$ on ferme l'interrupteur K et on suit par un dispositif convenable les variations de la tension u_C appliquée aux bornes du condensateur en fonction du temps et on obtient la figure 2.



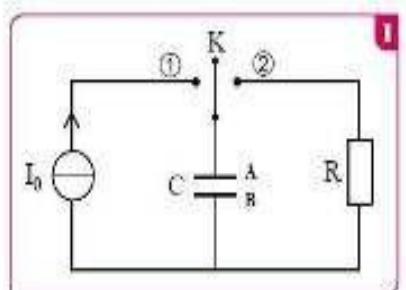
1. Représenter sur la figure 1 dans la convention de récepteur les tensions u_C et u_R .
2. Déterminer l'équation différentielle vérifié par la tension u_C aux bornes du condensateur .
3. Trouver les expressions de A et τ pour que l'expression $u_C = A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ soit solution de l'équation différentielle.
- 3-1 Déterminer l'expression de la charge q de l'intensité du courant i
4. Par l'analyse dimensionnelle montrer que τ a une dimension du temps.
5. Trouver τ graphiquement et montrer que $C=1mF$.
6. Calculer l'énergie électrique E_e stockée dans le condensateur dans le régime permanent.

Exercice 2 : On réalise le montage de la figure1 formé de :

*un générateur idéal du courant qui alimente le circuit par un courant d'intensité $I_0 = 1mA$.

- *un condensateur de capacité C initialement déchargé.
- *un conducteur ohmique de résistance R .
- *un interrupteur K à deux positions 1 et 2.

I- A $t=0$ on bascule l'interrupteur à la position 1 et on suit les variations de la tension u_C en fonction du temps et on obtient la courbe de la **figure 2**.

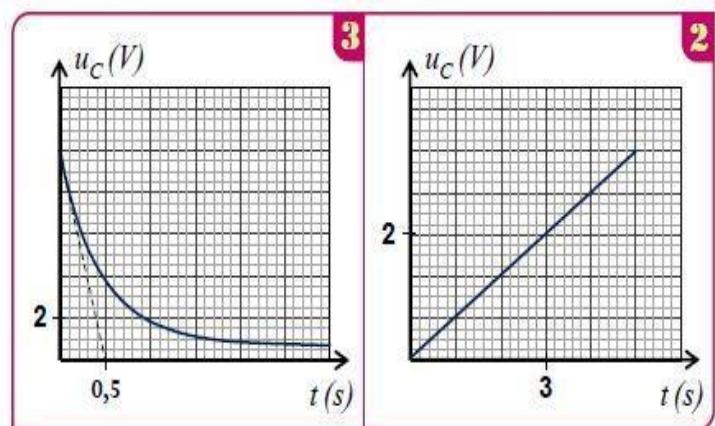


1. Déterminer l'armature négative.
2. Montrer que l'expression de la tension aux bornes du condensateur s'écrit : $u_C = \frac{I_0}{C} \cdot t$.

3. Vérifie que $C = 1,5 \cdot 10^{-3} F$
4. Calculer l'énergie électrique E_e stockée dans le condensateur à $t = 3s$.

II-Lorsque la tension aux bornes du condensateur est égale à $10 V$ on bascule l'interrupteur à la position2 et on obtient la courbe de la **figure 3**.

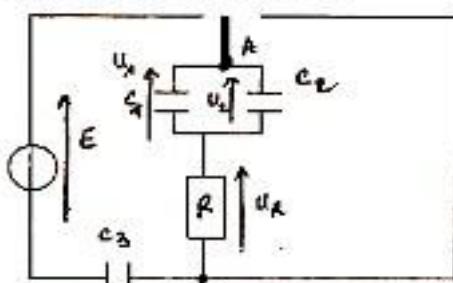
1. Déterminer l'équation différentielle vérifié par u_C
2. La solution de l'équation différentielle s'écrit : $u_C = A \cdot e^{-\alpha t}$.déterminer les expressions de A et α en fonctions des paramètres du circuit.



3. Déterminer la valeur de τ et déduire la valeur de la résistance R
 4. Montrer que l'expression de l'intensité du courant est : $i = -0,03 \cdot e^{-2t}$
 Expliquer comment on peut choisir la valeur de R pour avoir une décharge rapide.

Exercice 3 :

- 1- Soit le montage représenté ci-dessous .



G : générateur idéal de tension de f.e.m $E = 12V$

D : conducteur ohmique de résistance $R = 1k\Omega$.

Des Condensateurs déchargés initialement de capacités $C_1 = C_2 = C = 1\mu F$, $C_3 = 2C$

1.1. Montrer que la capacité C_e du condensateur équivalent à l'association des trois condensateurs est $C_e = C$

1.2. A l' instant considéré comme origine des dates $t=0$ on place K dans le position (1)

Trouver l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C entre les bornes du Condensateur équivalent à l'association des 3 condensateurs.

1.3. La solution de cette équation s'écrit sous forme $u_C(t) = A (1 - e^{-\lambda t})$.

Déterminer les expressions de A et λ

1.4. Représenter les variations de la tension $u_{AB}(t)$ en fonction du temps.

1.5. Déterminer les valeurs des tensions u_1 , u_2 et u_3 entre les bornes de chaque condensateur dans le régime permanent

2- A l' instant considéré comme origine des dates $t = 0$, on bascule K en position (2).

2-1 Etablir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_1 entre les bornes Condensateur

2-2 La solution de cette équation s'écrit sous forme $u_C(t) = A' e^{\lambda' t}$.

Déterminer les expressions de A' et λ' .

2-3 Trouver la valeur de la tension $u_R(t)$ à l'instant $t = \tau$ Constante du temps.

2-4 Déterminer à l'instant t_1 où 75% de l'énergie est dissipée par effet Joule.

Exercice 4 : Les chaines électroniques HiFi contiennent des bobines et des condensateurs , cet exercice vise à déterminer la capacité d'un condensateur.

On réalise un montage qui permet de charger un condensateur par un générateur de force électromotrice E et de le décharger dans un conducteur ohmique de résistance $R=2K\Omega$.

Reproduire le montage expérimental.

1. Montrer que l'équation différentielle est $u_C(t) + \tau \frac{du_C}{dt} = 0$

,déterminer l'expression de τ en fonction de R et C.

2. Par analyse dimensionnelle montrer que τ est un temps.

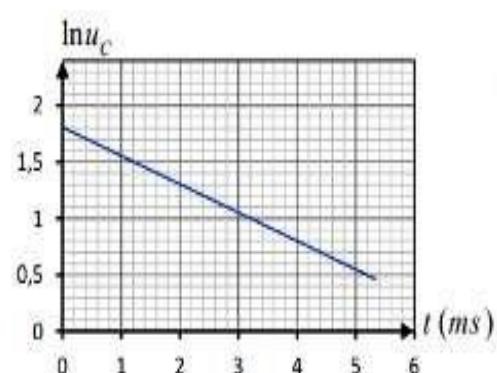
3. Vérifie que l'équation $u_C = E \cdot e^{-t/\tau}$ est une solution de l'équation différentielle.

4. Un programme approprié permet de tracer $\ln(u_C) = f(t)$.

4-1 Montrer que $\ln u_C = -\frac{1}{\tau}t + \ln E$

4-2 Déterminer les valeurs de E et τ .

4-3 Calculer la valeur de la capacité C.

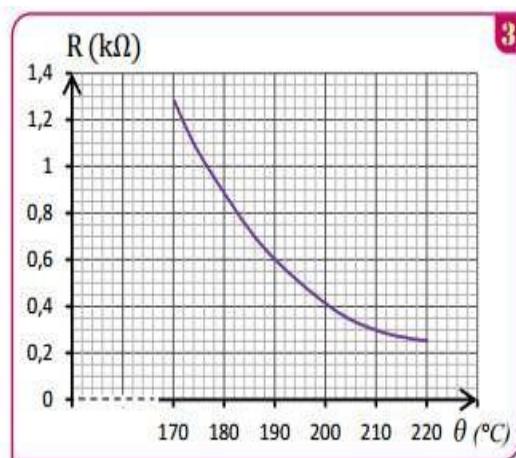
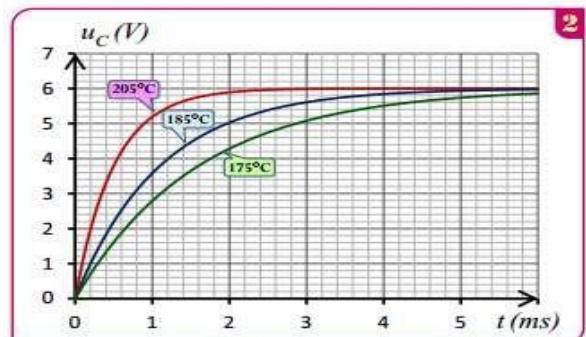
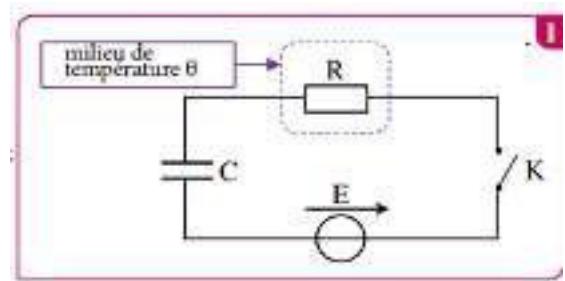


Exercice 5 : Les thermomètres électroniques permettent de mesurer des températures très élevées qu'il est impossible de mesurer à l'aide de thermomètres à alcool ou à mercure. Ces thermomètres se basent dans leur fonctionnement sur le comportement d'un dipôle RC soumis à un échelon montant de tension, et où la résistance varie avec la température. Pour savoir la relation entre la résistance électrique R et la température θ , le professeur de physique a réalisé le montage représenté sur la figure 1 et qui est constitué de :

- Un condensateur de capacité $C = 1,5 \mu F$.
- Une sonde thermique qui est un dipôle dont la résistance varie avec la température .
- Un générateur idéal de tension de force électromotrice $E = 6$ V et un interrupteur K.
- Une interface informatique qui permet de suivre l'évolution de la tension u_c aux bornes du condensateur en fonction du temps. Après avoir mis la sonde thermique dans un milieu de température θ réglable et fermé l'interrupteur K, le professeur a chargé le condensateur sous différentes températures et a obtenu les courbes représentées sur la **figure 2**.

1. Recopier la **figure 1** et représenter la tension u_c aux bornes du condensateur et la tension u_R aux bornes de la sonde thermique en adoptant la convention récepteur.
2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t)$.
3. La solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme $u_c(t) = A + e^{-t/RC}$. Trouver les constantes A et B.
4. Déterminer la constante de temps τ_1 à la température $\theta_1 = 205^\circ C$, et en déduire l'influence de l'élévation de la température sur la durée de charge du condensateur.
5. Pour mesurer la température θ_2 d'un four électrique, le professeur a mis la sonde thermique dans le four électrique, et a déterminé la constante de temps τ_2 en utilisant le même montage expérimental précédent (**figure 1**), et a obtenu $\tau_2 = 0,45 ms$.

La courbe de la **figure 3** donne les variations de la résistance R de la sonde thermique en fonction de la température θ . Déterminer la valeur de la température θ_2 dans le four .



CORRECTION

Introduction : La décharge électrique, produite par une bobine dans les tubes à néon provoque une émission de lumière. Cette décharge est causée par l'apparition d'une surtension aux bornes de la bobine. Qu'est-ce qu'une bobine ? Quelles sont les grandeurs physiques qui la caractérisent? Quel rôle peut jouer une bobine dans un circuit électrique ? Et comment expliquer l'apparition du phénomène de surtension ?



I. La bobine :

1. Définition :

La bobine est un dipôle constitué d'un enroulement non connecté de fil conducteur de cuivre autour d'un cylindre isolant.



Le symbole de la bobine est :



L : l'inductance de la bobine, son unité dans (S.I) est Henry H .

r : la résistance interne de la bobine, son unité dans (S.I) est Ohm Ω .

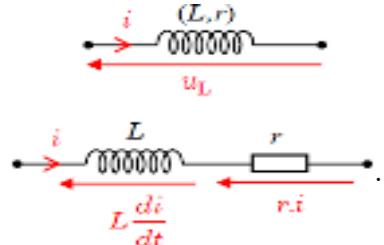
Remarque : Lorsque la résistance interne $r \approx 0$, on dit que la bobine est idéale et son symbole devient :

2. Tension aux bornes d'une bobine :

La tension u_L aux bornes d'une bobine (L, r) , est donnée par la relation :

.....

$$\left\{ \begin{array}{l} u_L : \dots \\ i : \dots \\ r : \dots \\ L : \dots \end{array} \right.$$



Remarques :

- Lorsque la bobine est parcourue par un courant d'intensité constante (régime permanent),

Alors: D'où :

Donc la bobine se comporte comme un

- Lorsque la résistance interne de la bobine est négligeable, la tension entre ses bornes devient :

- Si l'intensité du courant (t) est croissante, alors :

- Si l'intensité du courant (t) est décroissante, alors :

- Si l'intensité du courant est variée très rapide, la dérivée di/dt prend une valeur très grande et ainsi (t), d'où elle apparaît aux bornes de la bobine une **surtension**. Ce phénomène est utilisé par exemple pour provoquer des étincelles aux bornes de la bougie d'un moteur à essence et l'allumage des lampes au néon.

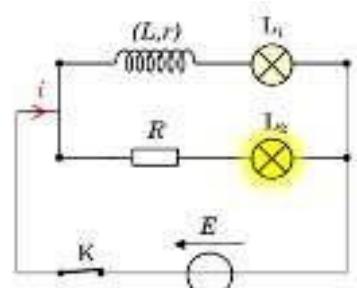
3. L'influence d'une bobine dans un circuit électrique :

Activité 1 : on réalise le montage expérimental suivant dans lequel les deux lampes sont identiques et la résistance de la bobine et celle du conducteur ohmique ont la même valeur $r = R$

Observations :

- Lorsque on ferme l'interrupteur K on remarque que s'allume avant
- Lorsque on ouvre l'interrupteur K on remarque que s'éteint avant

Conclusion:



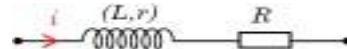
.....

.....

II. Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension :

1. Définition :

Le dipôle **RL** est l'association en série d'un conducteur Ohmique de résistance **R** et d'une bobine son inductance **L** et sa résistance interne **r** .  La résistance totale de la dipôle RL est :



La résistance totale de la dipôle RL est :

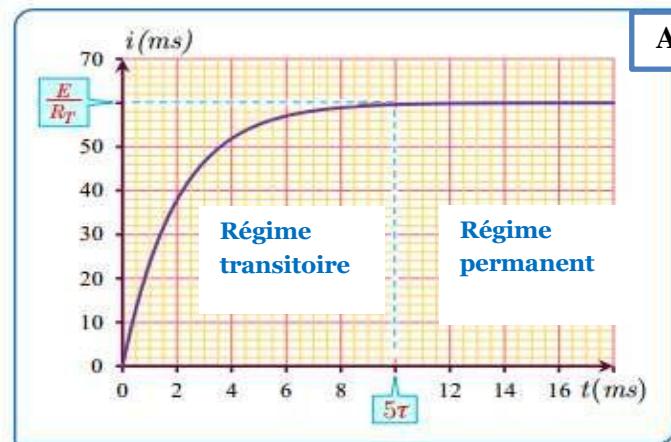
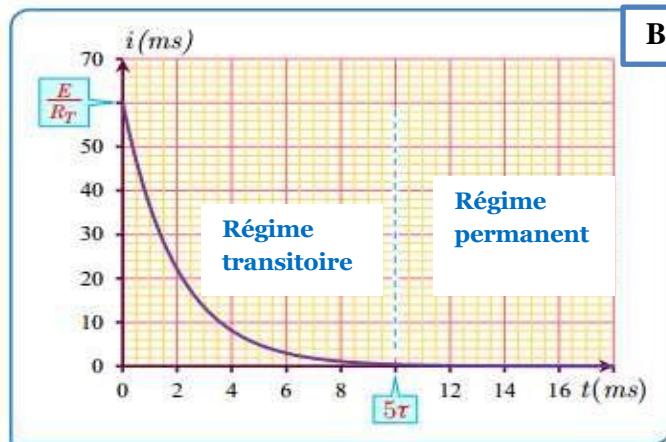
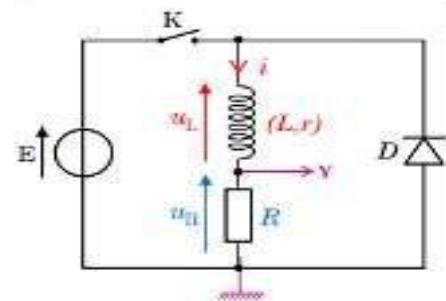
2. Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension - étude expérimentale :

On réalise le montage du document ci-contre.

On prend : $E = 6 \text{ V}$; $L = 0,2 \text{ H}$; $R_T = 100 \Omega$

- On ferme l'interrupteur à l'instant $t = 0$ et on visualise la variation l'intensité de courant i en fonction de temps (**courbe A** : le dipôle RL est soumis échelon de tension montant : **établissement du courant**).

- Lorsque l'intensité de courant **i** devient constante on bascule K de la position 1 à la position 2. On obtient : **la courbe B** : (le dipôle RL est soumis échelon de tension descendant : **annulation du courant**).



On pose que : $\frac{L}{R_T} = \tau$; Dans ce cas : $\tau = \frac{0,2}{100} = 0,002$ s = 2 ms.

Remarque expérimentale :

- L'intensité $i(t)$ est une fonction continue.
 - La durée de l'établissement et de l'annulation du courant est égale à **5τ** .
 - La durée de l'établissement de l'annulation du courant augmente qu'on L augmente ou RT diminue.

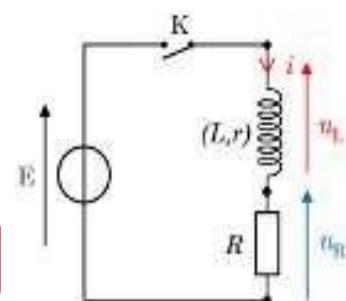
On constate 2 régimes :

- Régime transitoire quand $t \leq 5\tau$, on constate que $i(t)$ augmente (dans le cas d'établissement) ou diminue (dans le cas d'annulation).
 - Régime permanent quand $t \geq 5\tau$, la valeur de $i(t)$ reste constante lors d'établissement est égale à $I_{max} = E/R_T$ et nulle lors de son annulation (: rupture) .

3. Réponse RL à un échelon montant de tension (établissement de courant) - étude théorique :

a. Equation différentiel vérifiée par l'intensité du courant $i(t)$:

.....
.....
.....
.....
.....



Remarque :

C'est l'équation différentielle vérifiée par la tension u_R pendant l'établissement de courant.

.....

b. Solution de l'équation différentielle :

On admet que la solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme :

$$i(t) = Ae^{-\alpha t} + B \quad \text{.., avec } A \text{ et } B \text{ et } \alpha \text{ des constantes.. Dérivée : } \frac{di}{dt} = \dots$$

Déterminons les constantes **B** et **α** en utilisant l'équation différentielle

.....
.....
.....
.....

Déterminons la constante **A** en utilisant des conditions initiales

À $t = 0$ on a $i(t = 0) = 0$

.....
.....

Donc l'expression de l'intensité du courant traversant le circuit **RL** est :

Remarques :

L'expression de la tension u_R

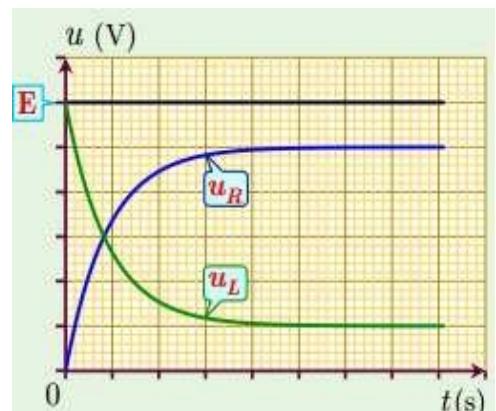
On a :

.....

L'expression de la tension u_L

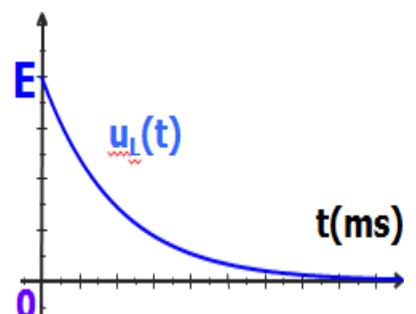
On a :

.....



On néglige la résistance de la bobine r devant la résistance R ;

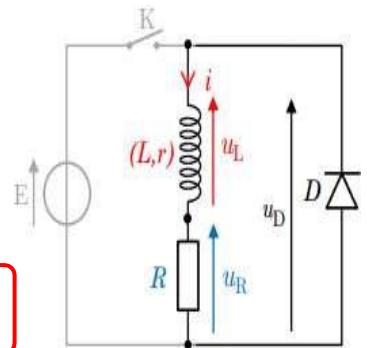
.....



4. Réponse RL à un échelon descendant de tension (annulation de courant) - étude théorique :

a. Equation différentiel vérifiée par $i(t)$ pendant annulation du courant:

.....
.....
.....



Remarque :

C'est l'équation différentielle vérifiée par la tension u_R pendant l'établissement du courant.

b. Solution de l'équation différentielle :

On admet que la solution de l'équation différentielle..... s'écrit sous la forme :

$$i(t) = Ae^{-\alpha t} + B \quad \text{., avec } A \text{ et } B \text{ et } \alpha \text{ des constantes.. Dérivée : } \frac{di}{dt} = \dots$$

Déterminons les constantes B et α en utilisant l'équation différentielle

Déterminons la constante A en utilisant des conditions initiales

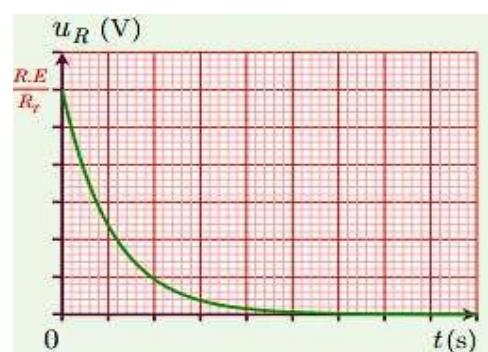
$$\text{At } t = 0 \text{ on a } i(t=0) = I_0 = \frac{E}{R_x}; \dots$$

Donc l'expression de l'intensité du courant traversant le circuit RL est :

Remarques :

L'expression de la tension u_L :

On a :



L'expression de la tension u_R :

Méthode 1 : On a :

Méthode 2 : On a :

5. Constante de temps :

a. Définition : On définit la constante du temps d'un dipôle **RL** par la relation :

*Dimension de la constante de temps τ :

.....
.....
.....

Donc : La grandeur τ a une dimension, son unité dans SI est le

b. Détermination de la constante de temps τ :

Lors d'établissement du courant : $i(t) = I_p(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

Méthode 1 : À $t = \tau$ on a :

τ est l'abscisse qui correspond à l'ordonnée

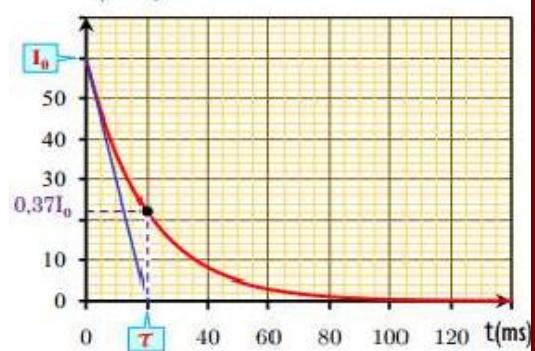
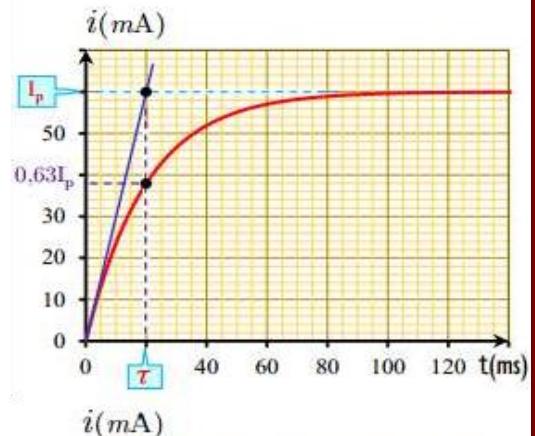
Méthode 2 : τ est l'abscisse de l'intersection entre la tangente de la courbe à $t = 0$ et le asymptote $i = I_{max}$.

Lors d'annulation du courant : $i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

Méthode 1 : À $t = \tau$ on a :

τ est l'abscisse qui correspond à l'ordonnée

Méthode 2 : τ est l'abscisse de l'intersection entre la tangente de la courbe à $t = 0$ et l'axe des abscisses.



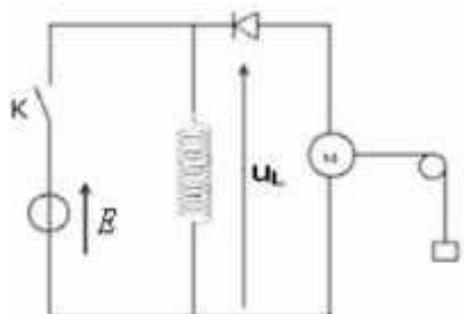
III. Energie emmagasinée dans une bobine :

1. Mise en évidence d'énergie emmagasinée dans une bobine :

Activité 3 : On réalise le montage expérimental suivant :

On ferme l'interrupteur **k** à l'instant $t = 0$: un courant électrique traverse la bobine car la diode est bloquante. Elle empêche le courant de passer dans le moteur puis on ouvre l'interrupteur, on constate que le moteur fonctionne et le corps suspendu au fil monte d'une hauteur **h**.

Conclusion : La bobine a emmagasiné énergie qui a été libérée lorsqu'on a ouvert le circuit. Le corps a reçu cette énergie électrique qui a été transformée en énergie potentielle pour le faire monté d'une hauteur **h**.



2. Expression de l'énergie magnétique d'une bobine :

L'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine magnétique **L** parcourue par un courant électrique d'intensité **i** est donnée par la relation suivante :

$$\boxed{\dots}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_m : \dots \\ L : \dots \\ i : \dots \end{array} \right.$$

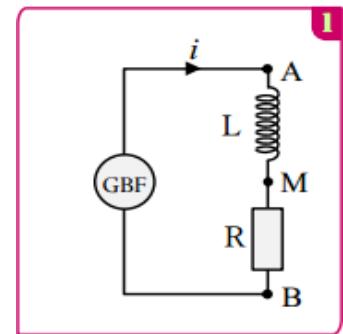
Démonstrations : considérons une bobine idéal : $u_L = \dots$

.....
.....
.....
.....

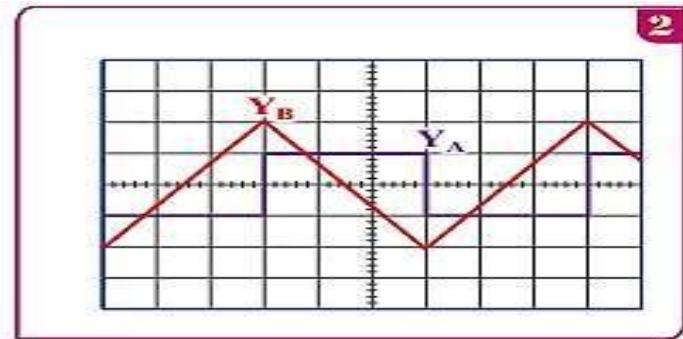
Série N°P7 : Le dipôle RL

Exercice 1 : Pour déterminer l'inductance L d'une bobine de résistance négligeable, on utilise le montage représenté dans **la figure (1)**, comprenant cette bobine, un conducteur ohmique de résistance $R = 1,5 \cdot 10^3 \Omega$, un GBF qui délivre une tension triangulaire de **période T** et un interrupteur K. On ferme l'interrupteur K à l'instant $t_0 = 0$, et on visualise à l'aide d'un oscilloscope. La tension u_{AM} aux bornes de la bobine, et la tension u_{BM} aux bornes du conducteur ohmique. On obtient l'oscillogramme de **la figure (2)**

- sensibilité verticale des deux voies de l'oscilloscope : $2V.div^{-1}$.
- balayage horizontale $0,2 \text{ ms}.div^{-1}$



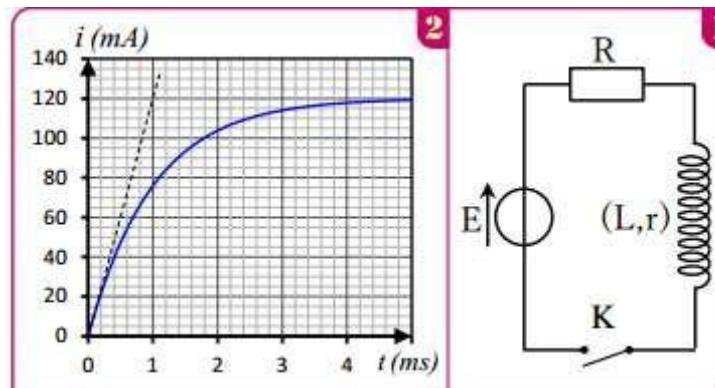
1. Quel est le rôle de la bobine lors de la fermeture du circuit ?
2. Montrer que les tensions u_{AM} et u_{BM} sont liées par la relation $u_{AM} = -\frac{L}{R} \frac{du_{BM}}{dt}$
3. Déterminer à partir de l'oscillogramme, les valeurs de u_{AM} et $\frac{du_{BM}}{dt}$.
4. Déduire la valeur de L.



Exercice 2 : Le circuit étudié, représenté ci-contre, est constitué d'un générateur idéal de tension continue de force électromotrice E, d'un interrupteur K, d'une bobine de résistance r et d'inductance L et d'un conducteur ohmique de résistance R.

Données : $E = 12 \text{ V}$; $R = 90 \Omega$.

1. À partir de la fermeture de l'interrupteur K, on observe la tension U_r à l'aide d'une interface d'acquisition reliée à un ordinateur. Quel est l'intérêt de faire le relevé de cette tension U_r ?
2. Le tableur du logiciel d'acquisition nous permet de calculer les valeurs de i et de tracer la courbe $i = f(t)$ donnée ci-dessus.
3. Quel est le phénomène physique mis en évidence dans ce cas ? Quel élément du circuit est la cause de ce phénomène ?
4. En appliquant la loi d'additivité des tensions, déterminer l'équation différentielle vérifiée par l'intensité i du courant dans le circuit en fonction du temps.
5. une étude mathématique montre que l'équation établit précédemment a pour solution :
 $i(t) = I_p(1 - e^{-t/\tau})$ où I_p , τ sont deux constantes non nulles .Montrer que $\tau = \frac{L}{r+R}$ et $I_p = \frac{E}{r+R}$
6. En exploitant **la figure 2** déterminer r et L
7. Quelle est la valeur de l'énergie magnétique au régime permanent.



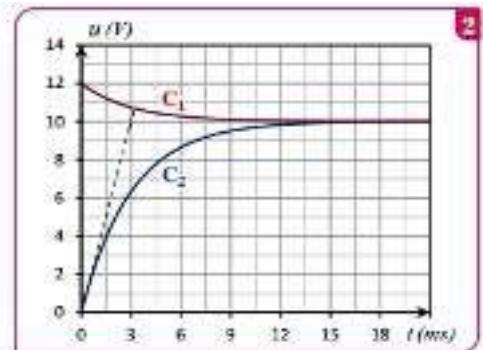
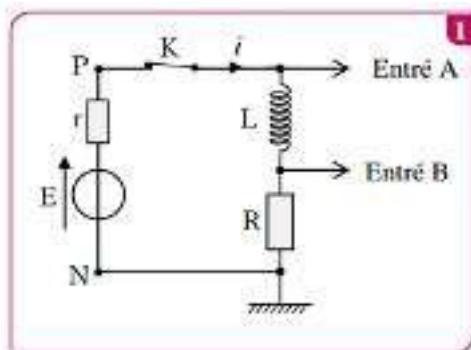
Exercice 3 : On réalise le circuit électrique, schématisé sur **la figure 1**, qui comporte :

- Un générateur de tension de f.e.m. $E = 12 \text{ V}$;
- Une bobine d'inductance L et de résistance négligeable ;
- Deux conducteurs ohmiques de résistance $R = 40 \Omega$ et r ;
- Un interrupteur K.

- 1- Identifier la courbe (fig2) qui représente la tension $u_R(t)$ et celle qui représente $u_{PN}(t)$.
- 2- Vérifier que la valeur de la résistance r du conducteur ohmique est $r = 8 \Omega$

- 3-** Etablir l'équation différentielle régissant l'établissement du courant $i(t)$ dans le circuit. Trouver les expressions de A et de τ en fonction des paramètres du circuit pour que l'expression $i(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$ soit solution de cette équation différentielle.

- 4-** Déterminer la valeur de la constante du temps τ .
5- En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.
6- Trouver l'énergie E_m emmagasinée par la bobine à l'instant $t = \frac{\tau}{2}$



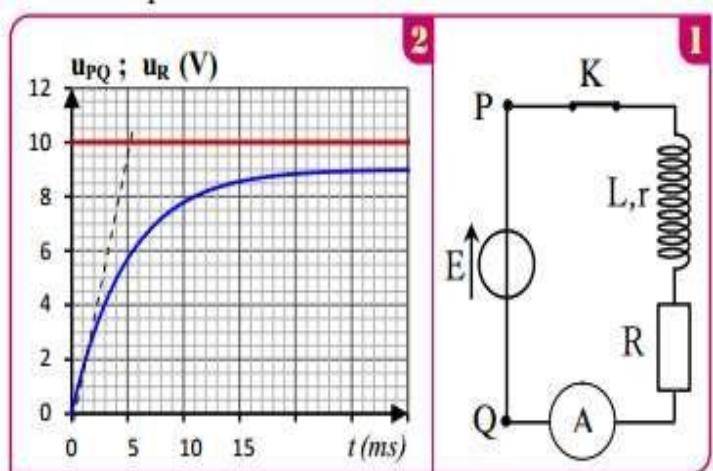
Exercice 4 : On réalise le montage expérimental représenté sur **la figure 1** comprenant :

- Une bobine (b) d'inductance L et de résistance r ; - Un conducteur ohmique (D) de résistance R ;
- Un générateur de tension (G) de force électromotrice E ;
- Un ampèremètre (A) de résistance négligeable ;
- Un interrupteur K.

A l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K, et on visualise à l'aide d'un oscilloscope à mémoire les variations de la tension $u_{PQ}(t)$ entre les pôles du générateur (G) et de la tension $u_R(t)$ entre les bornes du conducteur ohmique (D). On obtient les courbes et représentées sur La droite (T) représente la tangente à la courbe à l'instant = 0 . Dans le régime permanent, l'ampèremètre (A) indique la valeur $I = 0,1$ A.

- 1.** Montrer que l'équation différentielle que vérifie la tension u_R s'écrit sous la forme :

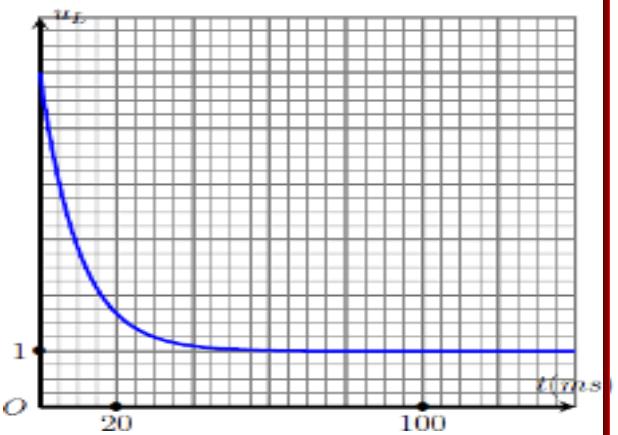
$$L \cdot \frac{du_R}{dt} + (R + r) u_R - ER = 0$$



- 2.** Sachant que la solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme : $u_R(t) = U_0(1 - e^{-\lambda t})$.
3. Trouver l'expression des constantes U_0 et I en fonction des paramètres du circuit.
4. Trouver l'expression de la résistance r de la bobine (b) en fonction de E , I et U_0 Calculer la valeur de r .
5. Exprimer $(\frac{du_R}{dt})_0$ dérivée de la tension u_R par rapport au temps à l'instant $t = 0$, en fonction de E , U_0 , I , et L . En déduire la valeur de L .

Exercice 5 : Dans un circuit en série , on place un générateur de tension continue , un interrupteur, un conducteur ohmique de résistance $R = 50\Omega$ et une bobine d'inductance $L = 1,0mH$ de résistance $r = 10\Omega$.On ferme le circuit et, à l'aide d'un système informatisé , on visualise la tension u_L aux bornes de la bobine au cours du temps (voir le graphe ci-contre)

- 1.** Rappeler l'expression de la tension u_L aux bornes d'une bobine en fonction de l'intensité i du courant qui la traverse .
2. Que devient l'expression de u_L lorsque l'intensité du courant traversant la bobine est constante.
3. À partir de quelle date l'intensité du courant traversant la bobine est constante ?
4. Calculer la valeur de l'intensité du courant traversant la bobine lorsqu'elle est constante.
5. Déterminer graphiquement la constante du temps et la comparer à la valeur théorique



CORRECTION

Introduction : Une bobine et un condensateur constituent deux réservoirs d'énergie électrique . Que se passe-t-il lorsqu'on relie un condensateur chargé aux bornes d'une bobine

I-Décharge d'un condensateur dans une bobine.

1- Etude expérimentale :

On réalise le montage ci-contre :

On place l'interrupteur sur la position (1), le condensateur se charge, puis on bascule l'interrupteur sur la position (2). Le condensateur se décharge dans un dipôle RL où $R = r + r'$. On a des oscillations dont l'amplitude diminue (amortissement). Le circuit RLC est le siège d'oscillations électriques libres amorties.

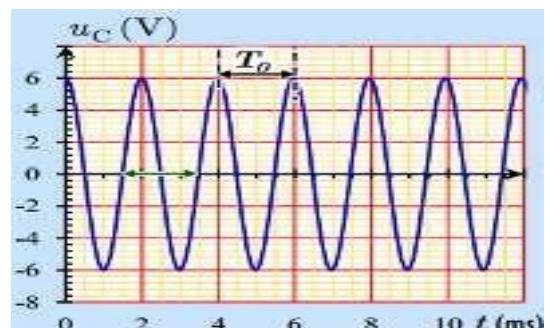
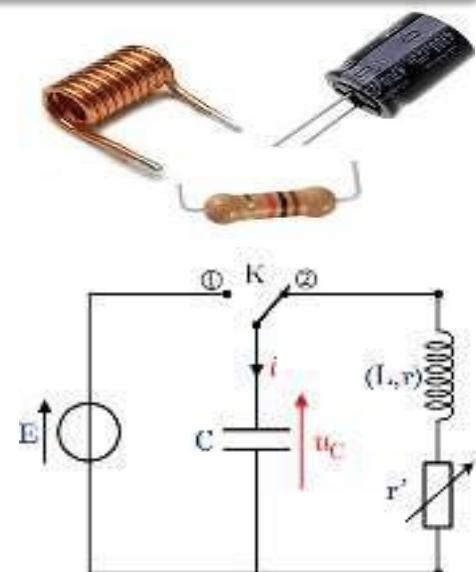
2- Régimes d'oscillations

On caractérise trois régimes selon la valeur de la résistance R

Régime périodique

La résistance est nulle, les oscillations sont périodiques. Le circuit LC est alors le siège d'oscillations propres non amorties. Le régime est alors **périodique**.

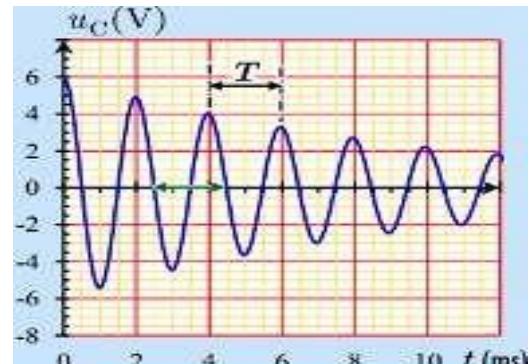
La période T_0 des oscillations est appelée période propre



Régime pseudo-périodique

La résistance est faible, l'amplitude des oscillations n'est pas constante mais décroît : les oscillations s'amortissent. Le régime est dit **pseudo périodique** .

La pseudo période $T \approx T_0$



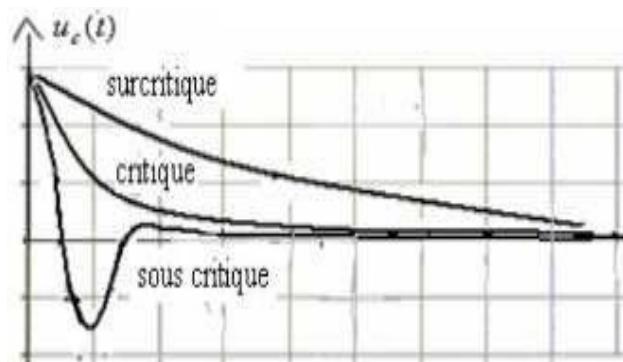
Régime apériodique

Le régime apériodique: Si la résistance totale du circuit est grande, les oscillations disparaissent car l'amortissement est fort, le condensateur perd sa charge sans oscillations, et on distingue dans ce cas trois régimes : $u(t)$

-**Le régime sous-critique** : la tension aux bornes du condensateur effectue une seule oscillation avant de s'annuler.

-**Le régime critique** : la tension aux bornes du condensateur s'annule sans oscillations.

-**Le régime sur-critique** : la tension aux bornes du condensateur dure un temps très long pour s'annule sans oscillations.

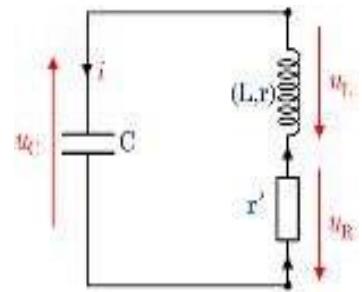


II- Etude théorique d'un circuit série RLC

1- L'équation différentielle

On considère le circuit RLC en série suivant,

D'après la loi d'additivité des tensions:



L'équation différentielle vérifiée par la tension u_c

Remarque :

L'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$

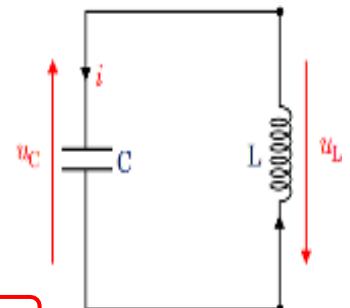
Remarque :

III- Etude théorique d'un circuit série LC d'amortissement négligeable ($R=0$):

1- L'équation différentielle vérifiée par la tension u_c

On considère le circuit LC série suivant, où le condensateur est initialement chargé. ($R=0$)

D'après la loi d'additivité des tensions :



Remarque :

L'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$

2- Solution de l'équation différentielle

On admet que la solution de l'équation différentielle s'écrit sous la forme :

$$u_c(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right),$$

avec T_0 : est la période propre du circuit LC. Elle s'exprime en radian (rad) ; ω_0 : est la pulsation propre (rad.s^{-1})

(θ : est la phase à l'origine des dates). Elle s'exprime en radian (rad).

U_m : est l'amplitude des oscillations. Elle s'exprime en volt (V).

a-Déterminons l'expression de T_0 .

b -Analyse dimensionnelle de T_0

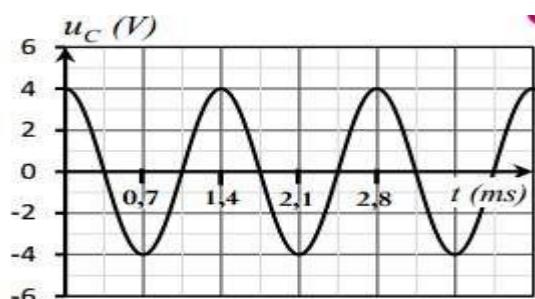
C- Déterminons U_m

d- Déterminons φ :

L'expression de $u_c(t)$ devient :

avec f_0 c'est la fréquence propre (Hz)

Application : à partir de la figure ci-contre déterminer
l'expression de $u_c(t)$



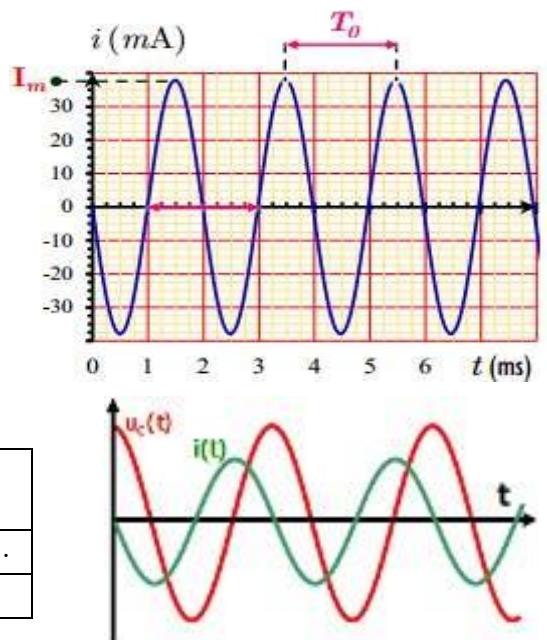
3- Évolution de la charge q et de l'intensité i.

❖ l'expression de la charge q :

avec $Q_m = C \cdot E$: représente la valeur maximale de la charge q (amplitude d'oscillation)

Rappel : $\cos\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin(x)$

❖ l'expression de l'intensité du courant $i(t)$



❖ Représentation de $u_c(t)$ et $i(t)$ en fonction de t

	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0	$\frac{5T_0}{4}$	$\frac{6T_0}{4}$
$i(t)$
$u_c(t)$

III- Etude des échanges d'énergies dans un circuit RLC

1-L'énergie d'un circuit (L,C) série

Dans un circuit LC, l'énergie totale est égale à la somme de l'énergie électrique stockée dans le condensateur et de l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine :

.....

Dans le circuit LC, l'énergie totale du circuit est constante au cours du temps, donc elle est **conservative**

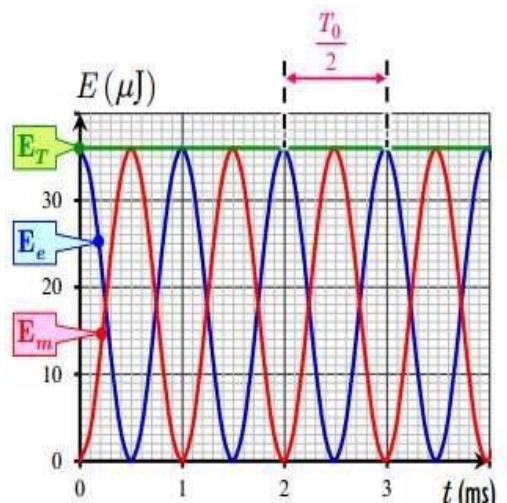
Lorsque l'énergie emmagasinée dans le condensateur diminue, l'énergie de la bobine augmente et inversement, donc il y a un échange d'énergie entre le condensateur et la bobine au cours d'une période $T = \frac{T_0}{2}$ avec T_0 la période propre des oscillations

Expression de l'énergie totale :

Lorsque $u_c = \dots \gg \gg \gg i = \dots \gg \gg \gg E_T = \dots = \dots$

Lorsque $u_c = \dots \gg \gg \gg i = \dots \gg \gg \gg E_T = \dots = \dots$

Démontrons que l'énergie E_T est conservative



2-L'énergie d'un circuit (R,L,C) série.

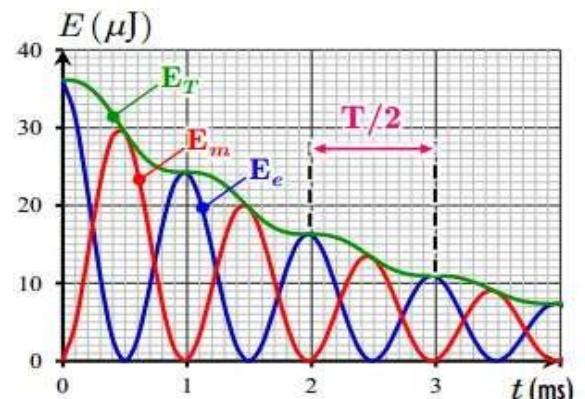
Dans le circuit RLC, il y a toujours échange énergétique entre le condensateur et la bobine mais il y a déperdition (:dissipation) d'énergie par effet Joule (transfert thermique) dans les résistances. Il y a donc amortissements des oscillations.

-L'énergie n'est plus constant, elle diminue au cours du temps .

-L'expression de l'énergie totale à l'instant t est :

.....

Application : quelle est la nature d'énergie stockée à l'instant $t_1 = 1 \text{ ms}$ et $t_2 = 1,5 \text{ ms}$.



Démontrons que l'énergie E_T n'est pas conservative :

Rappel :

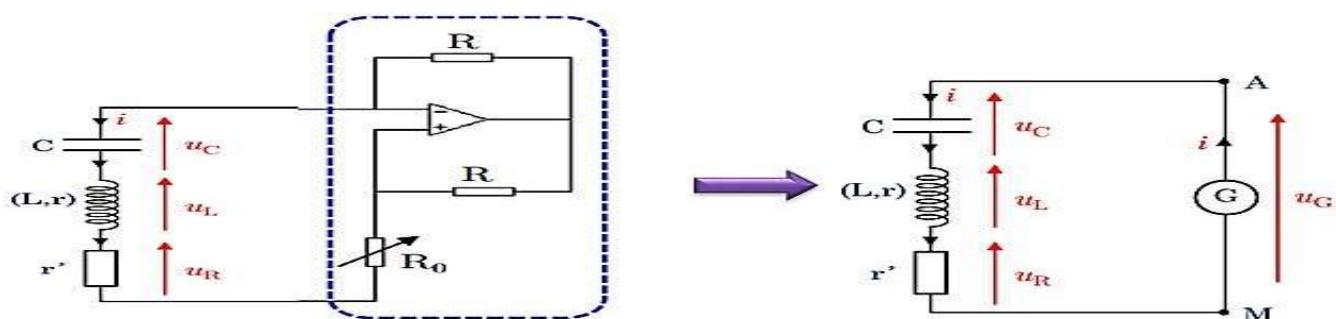
$$(a.f(x)^2)' = 2a.f(x).f'(x)$$

IV Entretien des oscillations.

1-Nécessité d'une source d'énergie

Un oscillateur électrique tel que nous l'avons vu est amorti par dissipation d'énergie par effet Joule dans le conducteur ohmique. Pour entretenir les oscillations d'un circuit **RLC libre**, il faut apporter au circuit par l'intermédiaire d'un dispositif, la même quantité d'énergie qui a été perdue. C'est le rôle du dispositif d'entretien.

2- Dispositif d'entretien des oscillations: montage à résistance négative



On réalise le montage ci-dessus dans lequel le **générateur G** délivre une tension proportionnelle à l'intensité du courant qu'il débite. $U_g = R_0 \cdot i$.

-Le générateur G se comporte comme une résistance négative de valeur $-R_0$

Etude théorique :

On considère le montage d'entretien d'oscillation ci-dessus,

D'après la loi d'additivité des tensions on a : $u_R + u_c + u_L = u_g$

Si la résistance réglable R_0 est égale à la résistance R du circuit RLC, l'équation devient

On retrouve une équation différentielle semblable à l'équation du circuit LC. Le circuit **RLC** devient équivalent à un circuit LC et oscille avec une période propre T_0 qui dépend uniquement de la valeur de L et de la valeur de C :

Série N°P8 : Les oscillations libre RLC série

Exercice 1: On charge totalement un condensateur de capacité $C=45.3\mu F$ par un générateur idéal de f.e.m. E et on le monte à une bobine d'inductance L et de résistance r à $t=0$. On visualise par un oscilloscope la courbe qui représente la tension $u_C(t)$ en fonction du temps.

1- Montrer comment relier l'oscilloscope pour visualiser la tension $u_C(t)$.

2-Quel est le régime observé ?

3-Quelle est la forme d'énergie stocké dans le circuit à $t=60\text{ms}$? justifier.

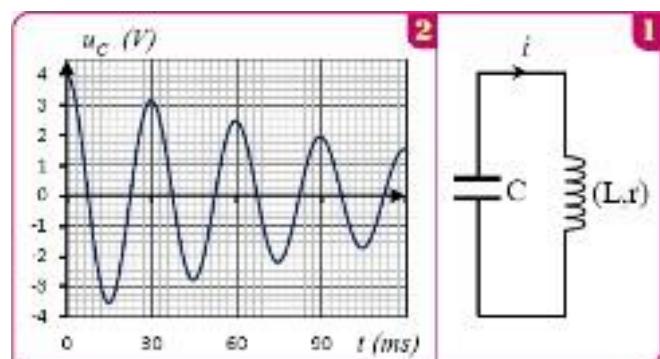
4-En considérant la pseudo-période T est égale à la période propre T_0 de l'oscillateur **LC** déterminer la valeur L .

5-Calculer ΔE la variation de l'énergie totale entre les instants $t=0$ et $t_1=90\text{ms}$ expliquer le résultat.

6-Trouver l'équation différentielle vérifiée par $\mathbf{u}_c(t)$.

7-On monte en série avec le condensateur et la bobine un générateur **G** délivrant une tension proportionnelle à l'intensité du courant **ug=a.i** et on obtient des oscillations sinusoïdales lorsque **a=8** (SI)

- a**-Quelle est le rôle du générateur G
 - b**-Déterminer l'équation vérifiée par la charge **q** dans ce cas.
 - c**-Trouver **r** la résistance de la bobine.



Exercice 2: Le condensateur et la bobine échangent l'énergie lorsqu'ils sont montés tous les deux.

On étudie le circuit idéal LC. Un groupe d'élèves ont chargés totalement le condensateur de capacité C sous une tension U puis ils ont monté le condensateur avec une bobine d'inductance L et de résistance négligeable.

1- Indiquer le régime observé.

2- Représenter dans la convention réceptrice les tensions u_C et u_L .

3- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C .

4- La figure 2 représente les variations de u_C en fonction du temps. En exploitant la courbe écrire l'expression de la tension $u_C(t)$.

5- L'énergie magnétique E_m stockée dans la bobine varie en fonction du temps selon la courbe représentée dans la figure 3.

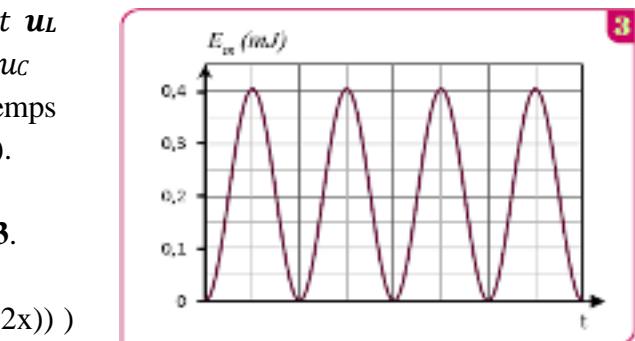
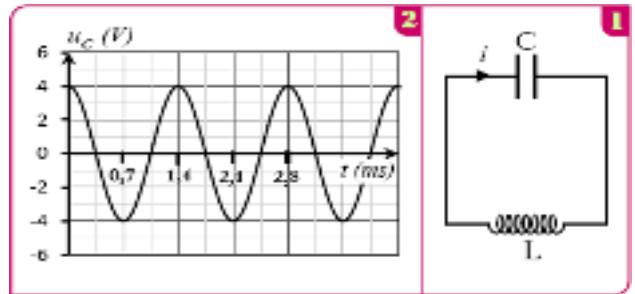
a- Montrer que l'énergie E_m s'écrit :

$$E_m(t) = \frac{1}{4} C U^2 (1 - \cos(\frac{4\pi}{T_0} t)) \quad (\text{rappel : } \sin^2 x = 1/2(1-\cos(2x)))$$

b- Déduire l'expression maximale $E_{m,\max}$ de l'énergie magnétique en fonction de C et U.

c- En exploitant la courbe $E_m=f(t)$ déterminer la capacité C.

6- Trouver l'inductance L.



Exercice 3: Pour connaître l'effet de la résistance r d'une bobine (b) sur l'énergie totale du circuit RLC, un élève a monté à $t=0$ un condensateur de capacité $C=2,5\mu F$ initialement chargé avec la bobine. Par un dispositif adéquat on visualise les variations des énergies E_e et E_m en fonction du temps.

1- Indiquer le régime des oscillations.

2- On suppose $T=T_0$ déterminer la valeur de L.

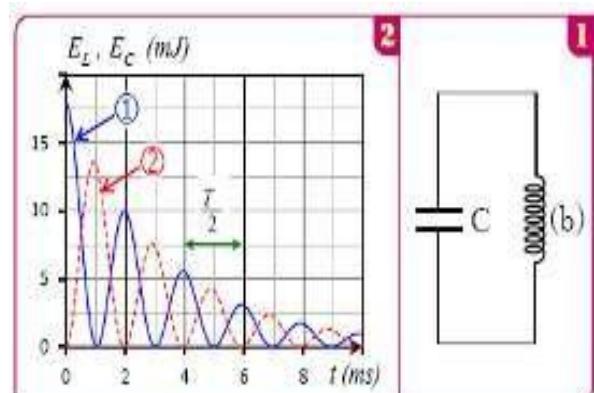
3- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par q.

4- L'énergie totale $E=E_e+E_m$.

a- Exprimer l'énergie E en fonction de C ; L ; q et dq/dt .

b- Montrer que l'énergie totale diminue au cours du temps selon la relation $dE = -ri2dt$. expliquer cette diminution.

5- Calculer l'énergie dissipée entre les instants $t=2\text{ ms}$ et $t=3\text{ ms}$



Exercice 4: Le circuit RLC est formé d'un conducteur ohmique de résistance R, un condensateur de capacité C et une bobine d'inductance $L = 80\text{ mH}$. On visualise par un oscilloscope la tension u_C .

1- Représenter le montage expérimental utilisé.

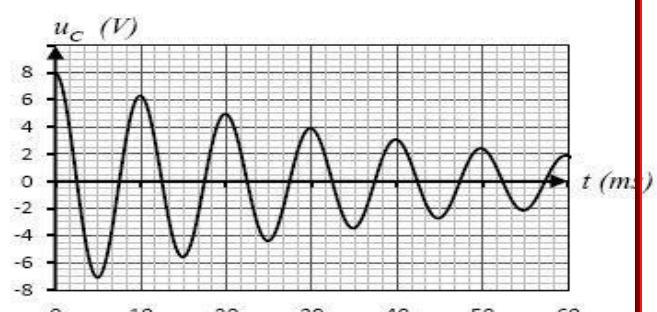
2- Quel est le régime des oscillations.

3- Déterminer la pseudo-période T .

4- A quoi due l'amortissement des oscillations.

5- On suppose que la résistance du circuit est petite et n'a aucune influence sur les oscillations, calculer C.

6- Calculer l'énergie totale stockée dans le circuit entre les instants $t_1=3\text{ ms}$ et $t_2=12\text{ ms}$, déduire l'énergie dissipée entre ces instants.



CORRECTION

CHIMIE

SOMMAIRE :

<i>Les questions qui se posent au chimiste</i>	85
<i>Transformations rapides et transformations lentes</i>	87
<i>Suivi temporel d'une transformation chimique</i> -vitesse de réaction.....	95
<i>Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens</i>	109
<i>Etat d'équilibre d'un système chimique</i>	118
<i>Transformations associées aux réactions acide-base en solution aqueuse</i> - Titrages acido-basiques.....	125

***Le temps qui nous reste à vivre est plus
important que toutes les années écoulées.***

Léon Tolstoï

Les questions qui se posent au chimiste

I- Activités du chimiste :

On a étudié les années précédentes certaines activités du chimiste comme la technique d'extraction et de synthèse et celle d'analyse chromatographique ...etc

Les activités du chimiste sont nombreuses et diversifiées car la chimie est une branche de la science qui étudie la composition de la matière et ses transformations, elle a un grand rôle dans plusieurs secteurs, elle intervient dans la fabrication plusieurs produits (médicaments, dentifrice, parfums, peintures, huiles alimentaires, savon, crèmes, ...etc)

II-Les questions que se pose au chimiste:

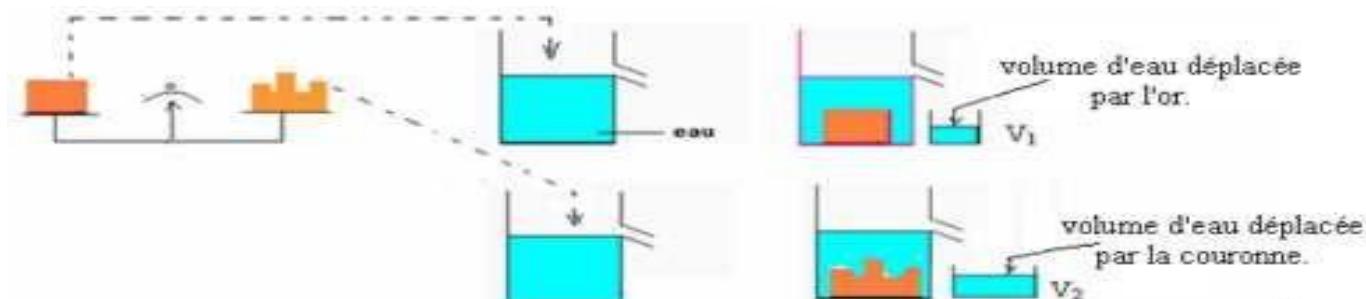
Plusieurs questions peuvent se poser sur un chimiste parmi lesquelles on peut citer les suivantes:

- Comment augmenter le rendement d'une transformation chimique.
- Quelle est la nature de la transformation étudiée, rapide ou lente? totale ou limitée?
- Quelle est le sens de la transformation, est-il direct ou inverse?
- Comment contrôler l'évolution d'un système chimique?



Et plusieurs autres questions qui dépendent de la nature, de la recherche chimiste par exemple **Archimède** s'est posé plusieurs questions sur la couronne du roi :

- Est-ce que la couronne est en or pure ?
- Contient-elle un autre métal ?
- Le volume de la couronne est- il égale au volume de la quantité d'or pure ayant la même masse que la couronne?
- Comment déterminer le volume de la couronne ?



Finalement Archimède a constaté que lorsqu'on immerge la couronne dans l'eau, le volume de l'eau déplacée est égale à celui de la couronne, ce qui lui a permis de déterminer le volume de la couronne et de savoir qu'elle n'était pas en or pur. Malgré qu'ils ont la même masse, la couronne avait un volume supérieur à celui de l'or pur ayant même masse que celle de la couronne donc elle n'était pas en or pur, elle contenait un autre métal: l'argent qui a une masse volumique $10,5\text{g/cm}^3$ inférieure à celle de l'or qui est : $19,3\text{g/cm}^3$ donc la couronne n'était pas en or pur.

III- Rappel de quelques notions acquises:

1- La quantité de matière:

La quantité de matière d'un échantillon est le nombre de moles que contient cet échantillon. C'est une grandeur notée n ; son unité est la mole (mol), elle est donnée par l'une des relations suivantes:

$$n = \frac{N}{N_A} \quad n = \frac{m}{M} \quad n = \frac{V}{V_M} \quad n = CV \quad n = \frac{PV}{RT}$$

2- La masse volumique :

La masse volumique d'un corps solide liquide ou gazeux est le quotient de sa masse par son volume: $\rho = \frac{m}{V}$

L'unité de la masse volumique dans le système international est : kg/m³, mais on utilise couramment: g/cm³

Exemple masse volumique de l'aluminium:

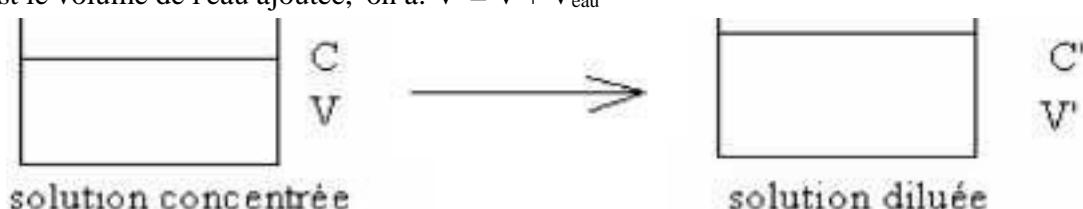
3- La densité:

La densité d'un corps solide ou liquide $d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$ pour les gaz : $d = \frac{M}{29}$

Remarque: la relation $n = \frac{m}{M}$ se écrit: $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{\rho_{eau} d V}{M}$

4- Relation de dilution d'une solution:

Soit V le volume de la solution concentrée et C sa concentration, et soit C' la concentration de la solution diluée et V' son volume. si V_{eau} est le volume de l'eau ajoutée, on a: $V' = V + V_{eau}$



La quantité de matière est la même dans les deux solutions :

$$n=n' \Rightarrow CV=C'V' \quad \text{C'est la relation de dilution}$$

Le facteur de dilution :

$$F = \frac{C}{C'} = \frac{V'}{V}$$

Tableau d'avancement

Equation de réaction		$a A$	$+ b B$	\rightleftharpoons	$c C$	$+ d D$
Etat de système	Avancement	La quantité de matière en (mol)				
Etat Initial	0	$n_i(A)$	$n_i(B)$		0	0
Etat Intermédiaire	x	$n_i(A) - a.x$	$n_i(B) - b.x$		$c.x$	$d.x$
Etat Final	x_{max}	$n_i(A) - a.x_{max}$	$n_i(B) - b.x_{max}$		$c.x_{max}$	$d.x_{max}$

Cours N°C1 : Transformations rapides et transformations lentes

Introduction : La combustion du feu d'artifice est une transformation rapide et la formation de rouille est une transformation lente, et les deux sont des réactions d'oxydo-réductions.

- Qu'est-ce qu'une réaction d'oxydo-réduction ?
- Qu'est-ce qu'une transformation rapide et une transformation lente ?
- Peut-on accélérer ou ralentir une réaction ?



I. Réactions d'oxydoréduction (Rappel)

1. Définition :

Un **oxydant** est une espèce chimique susceptible de un ou plusieurs

Exemple : ; , ... etc

Un **réducteur** est une espèce chimique susceptible de un ou plusieurs

Exemples: ; ; ; . etc

Un couple oxydant/réducteur est l'ensemble d'un **oxydant** et de son réducteur conjugué. Il est noté :

Ox/Red, et caractérisé par une demi-équation électronique : $Ox + ne^- \rightleftharpoons Red$

Exemples : $Cu^{2+}_{(aq)}/ Cu_{(s)}$: ; $Al^{3+}_{(aq)}/ Al_{(s)}$:

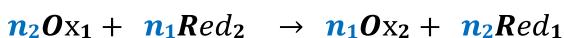
Une réaction d'oxydoréduction est une réaction qui fait intervenir un échange d'électrons entre les réactifs de deux couples **Ox₁/ Red₁** et **Ox₂/ Red₂** où le réducteur perd des électrons et est acquis par l'oxydant.

Soient les deux couples : **Ox₁** réagit avec **Red₂**

Ox₁/ Red₁ : (**Ox₁** + $n_1e^- \rightarrow Red_1$) $\times n_2$

Ox₂/ Red₂ : (**Red₂** $\rightarrow Ox_2 + n_2e^-$) $\times n_1$

L'équation de la réaction d'oxydoréduction entre **Ox₁** et **Red₂** s'écrit, en combinant les demi-équations



Exemple : Réaction entre les ions d'argent Ag^+ et le cuivre métal **Cu**.

$Ag^+_{(aq)}/ Ag_{(s)}$:

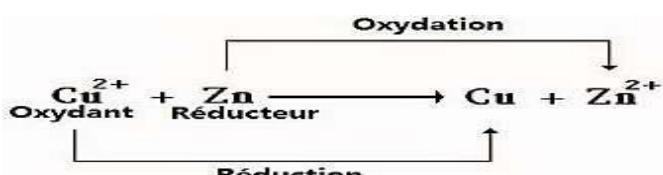
$Cu^{2+}_{(aq)}/ Cu_{(s)}$:

L'équation de la réaction est :

.....

Remarque : Le gain d'électron(s) = **Réduction** ;

La perte d'électron(s) = **Oxydation**



- L'oxydation transforme un réducteur en son oxydant conjugué.
- La réduction transforme un oxydant en son réducteur conjugué.

2. Equilibre de la demi-équation

Pour établir une demi-équation d'oxydoréduction en milieu acide, il faut suivre les étapes suivantes :

1^{ère} étape : Equilibrer tous les atomes autres que l'oxygène O et l'hydrogène H;

2^{ème} étape : Equilibrer les atomes d'oxygènes O en ajoutant des molécules d'eau H_2O ;

3^{ème} étape : Equilibrer les atomes d'hydrogènes H en ajoutant des protons H^+

4^{ème} étape : Equilibrer les charges électriques en ajoutant des électrons,

Application 1 : Écrire les demi-équations électroniques des couples oxydant/réducteur ci-dessous.

$H_{(aq)}^+ / H_2(g)$
$H_3O_{(aq)}^+ / H_2(g)$
$Cr_2O_7^{2-} / Cr^{3+}$

2. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction qui traduit la transformation entre :

$H_3O_{(aq)}^+$ et $Zn_{(s)}$
$Fe_{(aq)}^{2+}$ et $Cr_2O_7^{2-}$

II. Les transformations rapides et les transformations lentes :**1. Les transformations rapides :**

Activité 1 : On verse **20 ml** de solution de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) dans un tube à essai (1), et on ajoute **10 ml** de la soude ($Na^+ + HO^-$) à essai (2).

1. Qu'observez-vous ? Quel est le nom du composé produit ?

.....
.....

**2. Écrire l'équation de cette réaction.**

.....

3. Cette réaction peut-elle être suivie à l'œil nu ? Que concluez-vous ?

.....

Conclusion

.....
.....
.....

Exemples : Les réactions acido-basiques, quelques réactions de précipitation , les réactions explosives.....

2. Les transformations lentes :

Activité 2 : On mélange, dans un bêcher, **50 ml** de solution d'iodure de potassium de concentration molaire **0,20 mol.L⁻¹** acidifiée par l'acide sulfurique, et **50 ml** de l'eau oxygénée de concentration **0,01 mol.L⁻¹**

**1. Qu'arrive-t-il au mélange avec le temps ?**

.....

2. Écrire l'équation de cette réaction. On donne les couples mis en jeu : H_2O_2 / H_2O et I_2 / I^-

.....
.....
.....

3. Cette réaction peut-elle être suivie à l'œil nu ? Que concluez-vous ?

.....
.....
.....

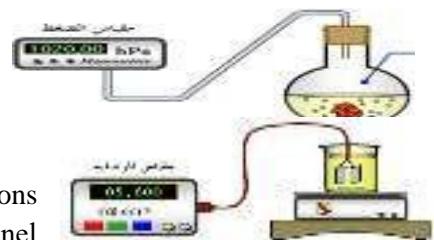
Conclusion

.....
.....
.....

Exemples : Quelques réactions d'oxydoréduction, les réactions d'estérification et d'hydrolyse, réaction d'oxydation du fer en rouille.

3. Quelques techniques physiques pour mettre en évidence les transformations lentes :

- **Mesure de la pression** : Dans le cas de transformations accompagnées d'une modification de la quantité de matière gazeuse, nous utilisons le manomètre pour suivre la pression du mélange réactionnel dans le temps.



- **Conductimétrie** : Dans le cas des transformations ioniques, nous utilisons la conductimétrie pour observer l'évolution de la conductivité du mélange réactionnel dans le temps.



- **pH-métrie** : Dans le cas des ions H_3O^+ et HO^- présent dans la réaction, nous utilisons le pH-mètre pour suivre l'évolution du pH de la solution (c.-à-d. $[H_3O^+]$).



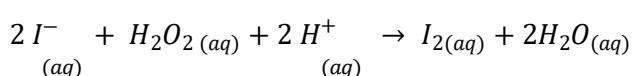
III. Les facteurs cinétiques :

1. Définition :

On appelle facteur cinétique tout paramètre capable d'influer sur la vitesse d'une transformation chimique.

2. Influence de la température :

Activité 3: Les ions iodures $I^-_{(aq)}$ réagissent en milieu acide, lentement avec l'eau oxygénée $H_2O_2_{(aq)}$ selon l'équation :

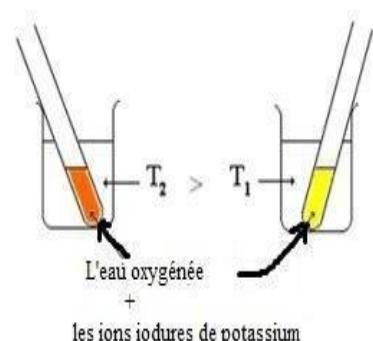


Observation :

.....
.....
.....

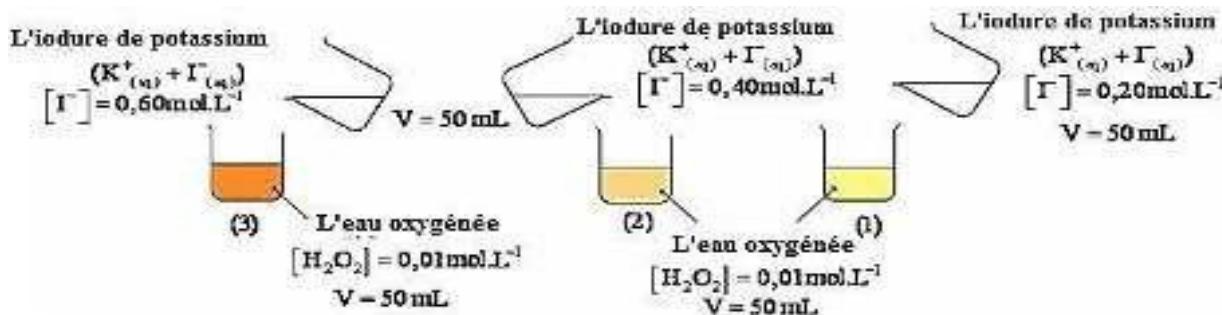
Conclusion :

.....
.....



3. Influence de la concentration initiale des réactifs :

Activité 4 : Les ions iodures $I_{(aq)}^-$ réagissent en milieu acide, lentement avec l'eau oxygénée $H_2O_2(aq)$ selon l'équation : $2 I_{(aq)}^- + H_2O_2(aq) + 2 H^+ \rightarrow I_2(aq) + 2H_2O(aq)$



Observation : Le mélange dans chacun des trois bécher prend progressivement une couleur jaune. Après quelques minutes, elle devient brune. Ce changement de couleur ne se fait pas à la même vitesse : le mélange dans le **3^{ème} bécher** devient brun avant le mélange dans le **2^{ème} bécher**, qui à son tour devient brun avant le mélange dans le **premier bécher**.

➤ Conclusion :

.....

Remarque : Il existe d'autres facteurs cinétiques comme **le catalyseur** et la **nature du solvant**.

Un **catalyseur** : est une espèce chimique capable de modifier la vitesse d'une réaction sans changer l'état d'équilibre du système (il n'apparaît pas dans l'équation de la réaction) . Exemple : acide sulfurique ..etc

4. Application de facteurs cinétiques :

a. Accélération d'une transformation chimique :

Dans certains cas, le chimiste est obligé d'accélérer les réactions chimiques, par exemple, il augmente la température.

Exemples: - Combustion d'essence - utilisation d'une cocotte-minute pour cuire des aliments ,...etc

b. Abasissement de la vitesse d'une transformation chimique :

Le contrôle des facteurs cinétiques permet d'abaisser la vitesse de certaines transformations chimiques très rapides ou les stoppées.

Exemples: transformations exothermique - conservation des aliments - arrêt d'une transformation chimique ...

Série N°C1 : Transformations rapides et transformations lentes

Exercice 1 : Nous mélangeons à 25°C, un volume $V_1=10\text{mL}$ de l'eau oxygénée H_2O_2 acidifié de concentration molaire $C_1=0.5\text{mol/L}$ et un volume $V_2=20\text{mL}$ d'iodure de potassium ($K^+ + I^-$) de concentration molaire $C_2=0.8\text{mol/L}$.

1. Déterminer les deux couples qui interviennent dans la réaction et écrire la demi-équation de chaque couple.
2. Déduire l'équation bilan de la réaction d'oxydoréduction.
3. Quelle est l'évolution du mélange qui se produit que nous pouvons distinguer à l'œil nu.
4. Dresser le tableau d'évolution de la réaction.
5. Calculer l'avancement maximal x_{\max} , et déduire le réactif limitant.
6. Déduire la quantité de matière de la diode formée à la fin de l'expérience.
7. Nous répétons l'expérience précédent toute en gardant la même température et en augmentant la concentration de la solution iodure de potassium à $C'_2=1\text{mol/L}$. Qu'arrivera-t-il à la durée de la réaction ?
8. Que se passerait-il si nous mettons le premier mélange dans l'eau glacée ?

Exercice 2 : On plonge une lame de zinc de masse $m = 2\text{g}$ dans une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}^{+ \text{(aq)}} + \text{Cl}^{- \text{(aq)}}$) en excès. Au cours de la réaction il y a formation des ions Zn^{2+} et production d'un gaz qui donne une détonation en présence d'une flamme.

1. Ecrire les demi-équations équations redox et l'équation bilan entre l'acide chlorhydrique et le zinc.
 2. Dresser le tableau d'avancement de la réaction et déterminer l'avancement maximal.
 3. Calculer le volume de dihydrogène libéré à la fin de réaction.
 4. Calculer la masse m' du chlorure de zinc formé à la fin de la réaction.

On donne : $V_m = 25 \text{ L. mol}^{-1}$; $M(Zn) = 64,5 \text{ g. mol}^{-1}$; $M(Cl) = 35,5 \text{ g. mol}^{-1}$

Exercice 3: Une solution acidifiée de permanganate de potassium ($K^{+}_{(aq)} + MnO_4^{-}_{(aq)}$) réagit avec une solution contenant des ions chlorure Cl^- . Il se forme du chlorure Cl_2 gazeux.

- 1- D'après les couples oxydant / réducteur donnés ci-dessous écrire les demi-équations correspondant à ces couples :** $\text{MnO}_4^- \text{(aq)}/\text{Mn}^{2+} \text{(aq)}$; $\text{Cl}_2\text{(g)}/\text{Cl}^- \text{(aq)}$.

- 2- En déduire l'équation bilan de la transformation chimique qui se produit dans cette expérience.

- 3- Quelle est la valeur du volume de dichlore que l'on peut préparer à partir de 10g de permanganate de potassium solide. L'acide sera mis en excès.

Données : Volume molaire dans les conditions de l'expérience $V_m = 25 \text{ mol. L}^{-1}$

Masse molaire (en $g \cdot mol^{-1}$) : M(K) = 39,1 ; M(Mn) = 54,9 ; M(O) = 16,0

Exercice 4: Pour une solution de diiode $I_{2(aq)}$, on verse un volume $V_{Ox} = 20,0 \text{ mL}$ dans un bêcher avec l'empois d'amidon ; on obtient alors une solution bleu foncé (l'empois d'amidon est un indicateur coloré permettant de visualiser le passage de l'équivalence : avant l'équivalence la solution est bleue : après l'équivalence la solution est incolore). Dans une burette graduée, on introduit une solution de thiosulfate de sodium $(2Na^{+}_{(aq)} + S_2O_3^{2-}_{(aq)})$ où la concentration des ions thiosulfate est : $C_{réd} = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$. On fait couler cette solution dans le bêcher jusqu'à disparition de la couleur bleu foncé : on versé un volume $V_{réd} = 24,2 \text{ mL}$ de solution titrante. La disparition de la couleur bleue foncé démontre la disparition totale du diiode $I_{2(aq)}$ dans le bêcher.

- Ecrire l'équation de la réaction du dosage sachant que les couples d'oxydo-réduction mis en œuvre sont : $I_{2(aq)} / I^-_{(aq)}$ et $S_4O_6^{2-}_{(aq)} / S_2O_3^{2-}_{(aq)}$.
 - Préciser lors de cette équation chimique quelle est l'espèce oxydante et l'espèce réductrice.
 - Définir l'équivalence d'un dosage.
 - A l'aide d'un tableau d'avancement déterminer la relation que l'on peut écrire à l'équivalence.
 - Calculer la concentration de diiode I_2 dans la solution dosée.
 - En déduire la masse de diiode I_2 dans le volume $V = 200 \text{ mL}$ de solution.
 - A l'équivalence, déterminer la concentration de toutes les espèces chimiques présentes dans le mélange.

Données : masse molaire de diiode I_2 : $M(I_2) = 253,8 \text{ g mol}^{-1}$

*CORRECTION

Cours N°C2 : Suivi temporel d'une transformation chimique
- vitesse de réaction

Introduction : La surveillance en continu des réactions chimiques est indispensable pour assurer la sécurité de l'installation et la qualité des produits obtenus.

- Comment assurer le contrôle d'une réaction chimique ?
 - Comment définir la vitesse d'une réaction chimique ?



I. Techniques du suivi temporel d'une transformation chimique :

Pour suivre temporellement l'évolution d'une transformation chimique on doit connaître sa composition à chaque instant. Il existe plusieurs méthodes qui permettent de suivre l'évolution d'une transformation parmi lesquelles il y'a :

- Les méthodes physiques : la conductimétrie – La pH-métrie – La mesure de la pression –La mesure du volume ..
 - Les méthodes chimiques : sont basées sur le dosage.

La cinétique chimique vise à suivre l'évolution de la transformation chimique, en particulier à déterminer et tracer la variation de l'avancement en fonction de temps $x=f(t)$.

II. La vitesse volumique d'une réaction :

1. Définition :

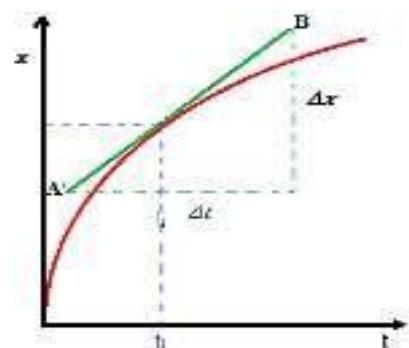
La vitesse volumique d'une réaction correspond à la quantité de matière formée ou disparue par unité de temps et de volume, tel que :

$$\left\{ \begin{array}{l} v : \dots \\ V : \dots \\ \frac{dx}{dt} : \dots \end{array} \right.$$

Remarque : La vitesse de réaction est alors exprimée en (mol.L⁻¹.min⁻¹) ou en (mol.L⁻¹.s⁻¹)

2. Détermination de la vitesse volumique de réaction :

- On trace la tangente à la courbe $x = f(t)$ à la date t_i choisie.
 - On calcule la valeur du rapport dx/dt qui représente le coefficient directeur de cette tangente, et on le divise par la valeur de V (volume de la solution).



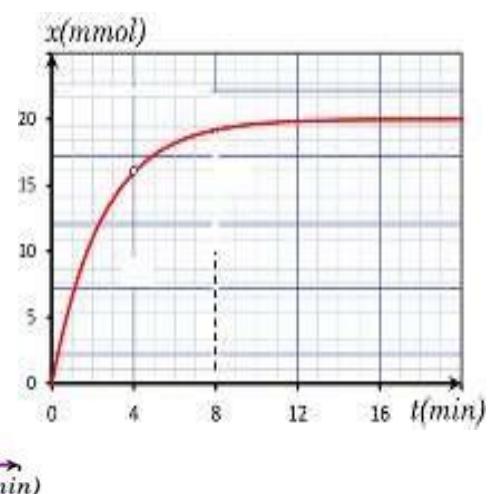
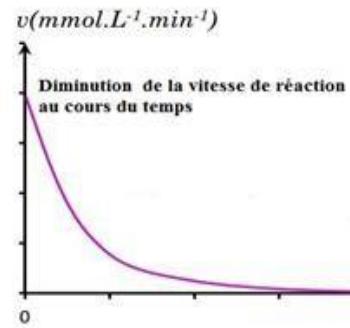
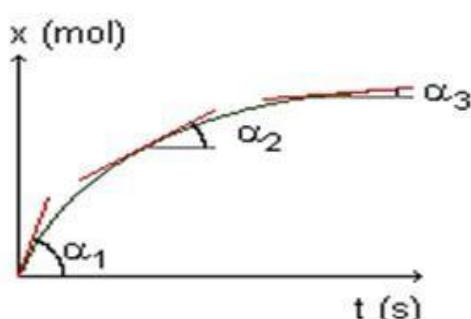
❖ Application 1 :

Calculer en $\text{mmol.L}^{-1}\text{min}^{-1}$ la vitesse volumique de la réaction à l'instant $t = 4 \text{ min}$ dans la figure ci-contre. **On donne :** le volume de la solution est : $V = 100 \text{ mL}$

Réponse :

.....

3. Evolution de la vitesse de réaction au cours du temps :



Observation :

Interprétation :

Remarque : il y a des cas ,que la vitesse de réaction ne diminue pas, **Exemple** : Dans les réactions exothermiques;

III. Temps de demi-réaction :

1. Définition :

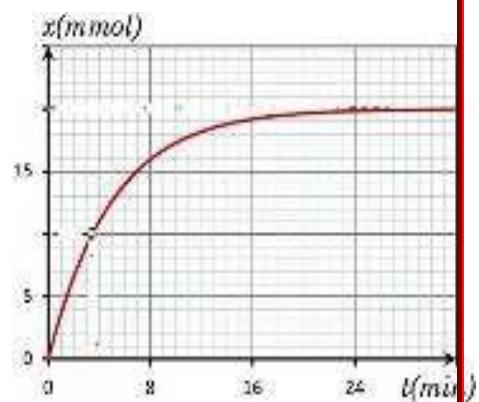
Remarque : Dans le cas d'une réaction totale : on a : ;

2. Détermination du temps de demi-réaction :

On le détermine graphiquement à partir de la courbe des variations de l'avancement $x = f(t)$:

- On détermine la valeur de l'avancement final x_{max} par le tracé d'une asymptote horizontale à la courbe.
- On détermine $\frac{x_{max}}{2}$ sur la courbe.
- On détermine le point d'intersection de la ligne horizontale de l'ordonnée $\frac{x_{max}}{2}$ avec la courbe.
- L'abscisse du point d'intersection représente le temps de demi-réaction $t_{1/2}$

Application 2 : Déterminer le temps de demi-réaction dans la figure ci-contre.



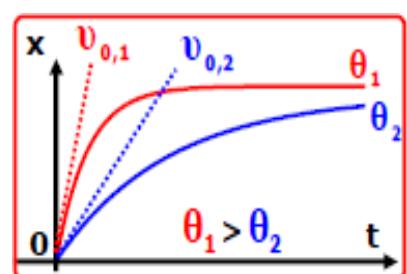
Remarques:

- Pendant le suivi temporel de la transformation, la durée entre chaque mesure doit être beaucoup plus courte que le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ pour garantir l'intégrité de l'étude.
- Le temps de demi-réaction permet d'estimer le temps nécessaire à la fin de la transformation chimique étudiée (environ $t_f = 10 t_{1/2}$).

IV. Facteurs influant sur la vitesse volumique de réaction :

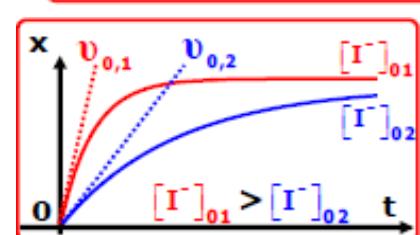
1. La température :

Une augmentation de la température ($\theta_1 > \theta_2$) a pour effet d'augmenter la vitesse de la réaction ($v_1 > v_2$), sans changer la valeur de l'avancement final x_f .



2. la concentration initiale des réactifs :

Une augmentation de la concentration initiale des réactifs ($[I^-]_1 > [I^-]_2$) a pour effet d'augmenter la vitesse de la réaction($v_1 > v_2$), sans changer la valeur de l'avancement final x_f .

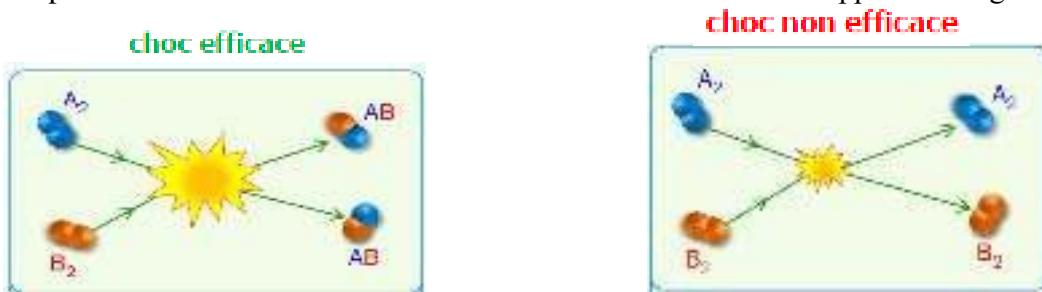


3. Interprétation microscopique :

On considère deux entités A₂ et B₂, les multiples chocs entre ces entités sont à l'origine de leur transformation en molécule AB :



Pour qu'un choc soit efficace, c'est-à-dire pour qu'il ait apparu de molécule A-B, il faut casser la liaison A-A et la liaison B-B pour former la liaison A-B. La cassure des liaisons nécessite un apport d'énergie.



V. Suivi de l'évolution temporelle d'une transformation chimique :

1. Suivi de l'évolution temporelle d'une transformation chimique par le dosage :

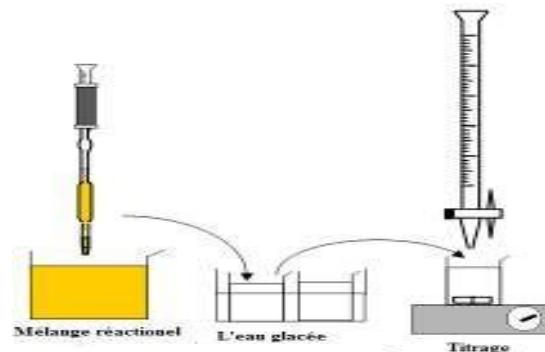
A l'instant $t = 0$ s, on mélange dans un erlenmeyer un volume $V_1 = 50,0\text{mL}$ d'eau oxygénée H_2O_2 (solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène), de concentration $C_1 = 0,056\text{.mol.L}^{-1}$, avec un volume $V_2 = 50,0\text{mL}$ de solution aqueuse d'iodure de potassium ($\text{K}^+_{(aq)} + \text{I}^-_{(aq)}$), de concentration en soluté apporté $C = 0,20\text{ mol.L}^{-1}$, ainsi que 1mL d'acide sulfurique de concentration $[\text{H}^+_{(aq)}] = 3,0\text{ mol.L}^{-1}$. On répartit le mélange réactionnel dans 10 bêchers, à raison d'un volume $V = 10,0\text{mL}$ par bêcher.

1-Ecrire l'équation bilan de la réaction étudié (1), sachant que les couples mise en jeu est : I_2/I^- ; $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$.

.....
.....
.....

A l'instant de date $t = 60\text{s}$, on ajoute rapidement de l'eau glacée dans le premier bêcher et on dose le **diiode formé** à l'aide d'une **solution aqueuse de thiosulfate de potassium** ($2\text{K}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration en soluté apporté $C = 0,04\text{ mol.L}^{-1}$ en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon (qui colore en bleu une solution contenant du diiode).

Soit V_E le volume de thiosulfate versé pour atteindre l'équivalence. On renouvelle l'opération successivement sur le deuxième puis sur le troisième bêcher, etc. les résultats sont donnés au tableau ci-dessous



t(s)	0	60	160	270	360	510	720	900	1080	1440	1800
$V_E(\text{mL})$	0	2,2	4,8	6,5	7,5	9,0	10,5	11,6	12,3	13,5	14,0

2-La transformation mise en jeu dans le titrage est rapide, totale, Ecrire son équation. (transformation (2) de technique on donne les couples $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ et I_2/I^-

.....
.....
.....

2- Pourquoi ajoute-t-on de l'eau glacée rapidement à l'instant t dans chaque bêcher ?

.....
.....
.....

3- A partir de l'équation de la réaction de titrage (2), écrire la relation donnant la quantité de matière de diiode n'(I₂) apparu dans chaque bêcher à l'instant t en fonction de la concentration de réactif titrant C et du volume versé à l'équivalence V_E puis en déduire la quantité de matière de diiode n(I₂) apparu dans le mélange réactionnel à l'instant t

.....
.....
.....

5-Dresser le tableau d'avancement de la réaction correspond à la transformation étudiée (1) et déterminer l'expression de la quantité de matière n (I_2) du diiode formée à l'instant t en fonction de l'avancement x .

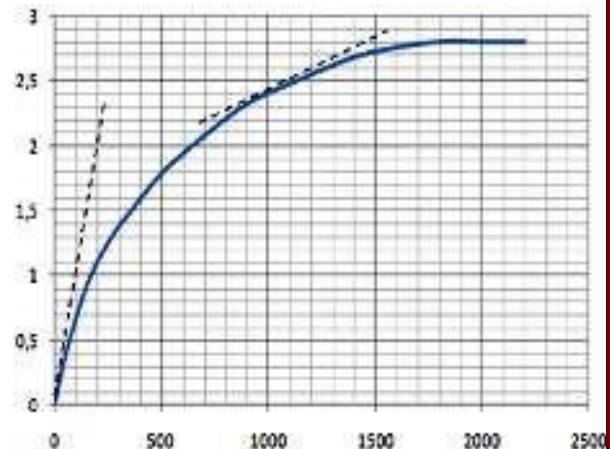
Equation de la réaction						
Etat du système	avancement	Quantité de matière (mol)					
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_{max}

5-Préciser la relation entre l'avancement de la réaction (1) à chaque instant et la quantité de matière de diiode formé, et complété le tableau

$t(s)$	0	60	160	270	360	510	720	900	1080	1440	1800
$x(mol)$

6- A l'aide des résultats expérimentaux et d'un tableur on obtient le graphe $x = f(t)$ ci-contre

-Déterminer graphiquement la vitesse volumique de réaction à l'instant $t=0$ et $t=1000s$,



7- Comment varie la vitesse au cours du temps lors de cette transformation chimique ? Donner une interprétation de cette variation.

8- Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction $t_{1/2}$:

2. Suivi de l'évolution temporelle d'une transformation chimique par la mesure de pression d'un gaz

Activité 2 : Pour étudier la cinétique de la réaction de l'acide chlorhydrique avec le zinc. On introduit dans un ballon de volume constant V , la masse $m = 0,5$ g de zinc en poudre $Zn_{(s)}$ et on y verse à l'instant $t_0 = 0$, le volume $V_A = 75$ mL d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($H_3O^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$) de concentration $C_A = 0,4$ mol.L⁻¹.

On mesure à chaque instant t la pression P à l'intérieur du ballon à l'aide d'un capteur de pression.

La courbe ci-contre la variation de la pression de H_2 en fonction de temps.

Données :

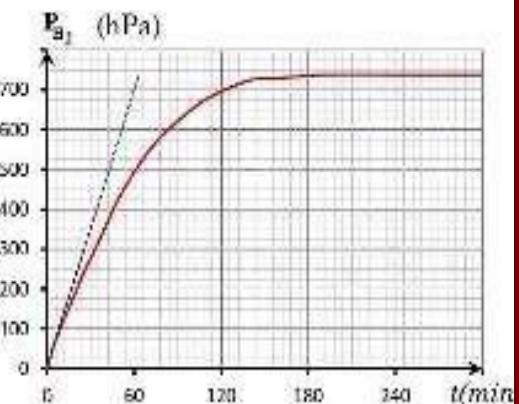
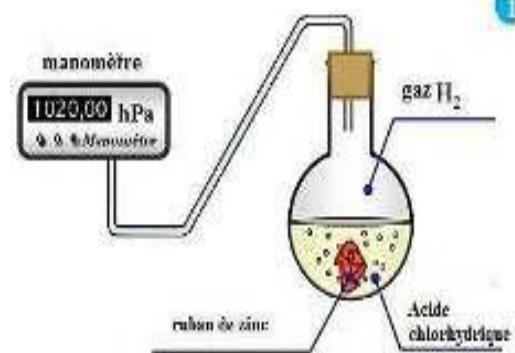
- On considère que tous les gaz sont parfaits.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314$ (SI)
- Toutes les mesures ont été prises à 20°C.
- On rappelle l'équation d'état des gaz parfaits : $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$
- La masse molaire atomique du zinc : $M(Zn) = 65,4$ g.mol⁻¹.
- Les couples intervenant sont : H_3O^{+}/H_2 ; Zn^{2+}/Zn

1. Ecrire l'équation bilan de la réaction étudié.

.....

.....

.....



2. Citer d'autres techniques qui peuvent utiliser pour suivre l'évolution de cette réaction étudiée.

.....

.....

.....

3. Calculer la quantité de matière initiale des réactifs : ni($H_3O^{+}_{(aq)}$) et ni($Zn_{(s)}$).

.....

.....

4. Complétez le tableau d'avancement suivant.

Equation de la réaction							
Etat du système	avancement	Quantité de matière (mol)					
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_{max}

5. Déterminer l'avancement maximal x_{max} de la réaction et en déduire le réactif limitant.

.....

.....

.....

6. En appliquant l'équation d'état des gaz parfaits, et en se basant sur le tableau d'avancement précédent, trouver l'expression de l'avancement $x(t)$ de la réaction à l'instant t en fonction de R , T , V et $P(H_2)$.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

7. Montrer que l'avancement de la réaction s'écrit : $x(t) = \frac{x_{max}}{P(H_2)_{max}} P(H_2)$

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

8. Trouver que à l'instant $t_{1/2}$, on a : $\frac{P(H_2)}{P(H_2)_{max}} = \frac{1}{2}$, et en déduire la valeur de $t_{1/2}$

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

9. Vérifier que la vitesse volumique de la réaction à l'instant $t_0=0$ est : $v_0=1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

10. Sachant que la vitesse volumique à l'instant $t_1 = 60 \text{ min}$, est : $v_1=1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. D'après les résultats obtenus, dans la question 9. Expliquer pourquoi la vitesse diminue au cours de la réaction.

.....
.....
.....
.....
.....

3. Suivi de l'évolution temporelle d'une transformation chimique par la conductimétrie :

Activité 3 : On se propose d'étudier, par conductimétrie, la cinétique de l'hydrolyse du 2-chloro-2-méthylpropane qui est noté RCl. Le mélange réactionnel initial est réalisé en versant un volume

$V_{RCl} = 1\text{mL}$ de 2 chloro-2-méthylpropane(RCl) dans un mélange eau – acétone.

L'eau présente est en très large excès. À température 40°C , on plonge dans le bêcher contenant le mélange eau - acétone une cellule conductimétrie préalablement étalonnée. On déclenche le chronomètre à l'instant où on ajoute le 2-chloro-2-méthylpropane(RCl) dans le mélange et on mesure la conductivité σ de la solution à différentes dates. La réaction qui a lieu au cours de la transformation étudiée a pour

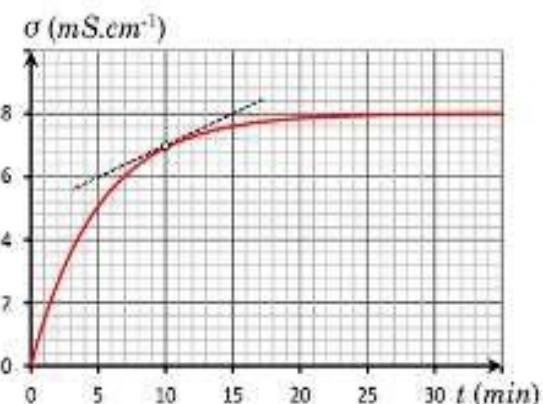
équation est :



La courbe ci-contre la variation de la conductivité σ de la solution en fonction de temps.

Données :

- La masse molaire de RCl : $M(\text{RCl}) = 92,6 \text{ g.mol}^{-1}$
- La masse volumique de RCl est : $\rho_{\text{RCl}} = 0,85 \text{ g.cm}^{-3}$
- Le volume du mélange est : $V = 50 \text{ mL}$
- La conductivité d'une solution : $\sigma(t) = \sum \lambda_x [x_i]$



1. Vérifier que la quantité de matière initiale de RCl : $n_i(\text{RCl}) = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

.....

.....

2. Complétez le tableau d'avancement suivant.

Equation de la réaction							
Etat du système	avancement	Quantité de matière (mol)					
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_{max}

3. Déterminer l'avancement maximal x_{max} de la réaction et en déduire le réactif limitant.

.....

.....

.....

4. Donner l'expression de la conductivité $\sigma(t)$ du mélange à la date t en fonction de l'avancement de la réaction $x(t)$, du volume V du mélange et des conductivités molaires ioniques des ions $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ et λ_{Cl^-} .

.....

.....

.....

5. Expliquer l'augmentation de la conductivité au cours de temps.

.....

6. Montrer que l'avancement de la réaction s'écrit : $x(t) = \frac{x_{max}}{\sigma_{max}} \cdot \sigma(t)$

A horizontal dotted line with a single vertical orange line segment centered on it.

7. Calculer la composition de système chimique à l'instant $t = 7$ min.

A horizontal dotted line with a single vertical orange line segment centered on it.

8. Trouver que à l'instant $t_{1/2}$, on a : $\sigma_{t_{1/2}} = \frac{\sigma_{max}}{2}$, et en déduire la valeur de $t_{1/2}$

A decorative horizontal bar at the bottom of the page, consisting of three thin, light-colored lines forming a triangle.

9. Vérifier que la vitesse volumique de la réaction à l'instant $t = 10$ min est : $v = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

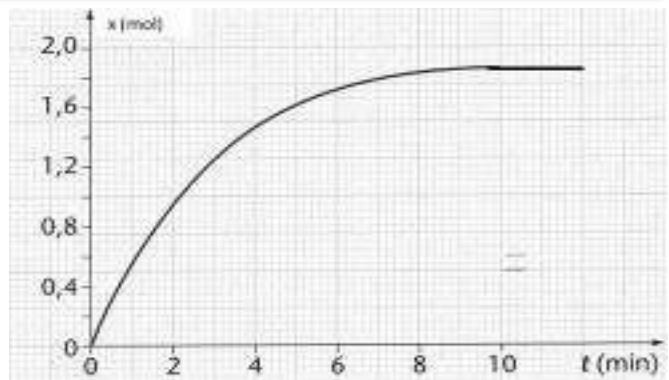
A vertical orange bar is positioned in the center of a grid of horizontal dotted lines. The bar has a thin grey border and is oriented vertically.

10. En gardant les concentrations initiales des réactifs et on diminue la température à 20°C, Tracer sur la figure précédente la nouvelle évolution de σ (t)= $f(t)$.

Série N°C2 : Suivi temporel d'une transformation chimique

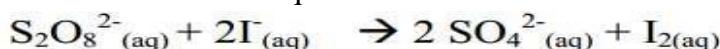
Exercice 1 : La courbe ci-dessous représente les variations de l'avancement x d'une transformation chimique se produisant en solution aqueuse, en fonction du temps. Le volume $V=1,0\text{L}$ du mélange réactionnel est constant.

1. Quel est l'avancement final de cette réaction ?
2. Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et le déterminer.
3. Calculer v_0 la vitesse de réaction à l'instant de date $t_0 = 0 \text{ min}$ et v_1 celle à l'instant de date $t_1 = 5 \text{ min}$. Comparer v_0 et v_1 .
4. Dessiner en vert l'allure de la courbe si l'évolution s'effectuait à une température plus importante. Expliquer.
5. Dessiner en bleu l'allure de la courbe si l'évolution s'effectuait dans un grand volume d'eau. Expliquer.



Exercice 2 : Lors de l'étude de la réaction totale des ions iodures I^- avec les ions peroxydisulfates $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, on a obtenu le graphe de la quantité de matière de I en fonction du temps :

L'équation de la réaction chimique est :



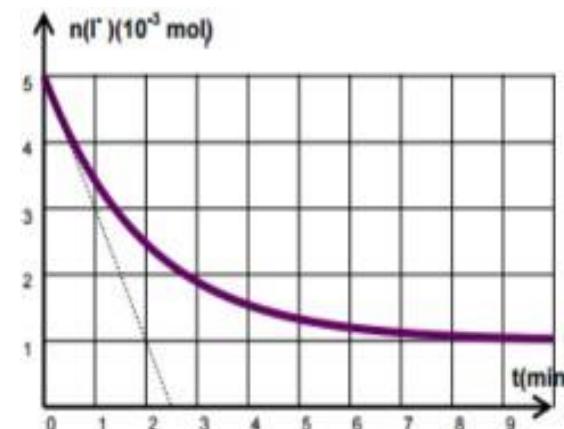
1-Dresser le tableau d'avancement de la réaction correspond à la transformation étudiée

2-Définir la vitesse d'une réaction chimique. Donner son expression en fonction de $n(\text{I})$.

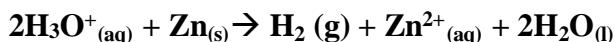
3- Déterminer graphiquement sa valeur à la date $t=0$. Que peut-on dire de la valeur de la vitesse à cette date ?

4- Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$. Trouver sa valeur graphiquement

Donnée : Volume de mélange réactionnel $V_s = 20\text{mL}$



Exercice 3 : On fait réagir une solution d'acide chlorhydrique sur le Zinc. L'équation bilan de la réaction est :



Au temps $t = 0$, on introduit une masse $\mathbf{m = 0,981\text{g}}$ de poudre de zinc dans un flacon contenant $\mathbf{V_A = 80\text{mL}}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire $\mathbf{C_A = 0,5\text{mol.L}^{-1}}$. On recueille le gaz dihydrogène formé au cours du temps et on mesure son volume V .

1-On donne la masse molaire de Zinc $M = 65,4\text{g.mol}^{-1}$

a- Calculer la quantité de matière initiale de chaque réactif. .

b- Dresser le tableau descriptif de l'évolution du système.

c- Calculer la valeur de l'avancement maximal x_{\max} de la réaction, déduire le réactif limitant.

2- Donner la quantité de matière de Zn^{2+} si le volume de dihydrogène dégagé est $V = 0,103 \text{ L}$.

On donne le volume molaire $V_m = 24\text{L/mol}$

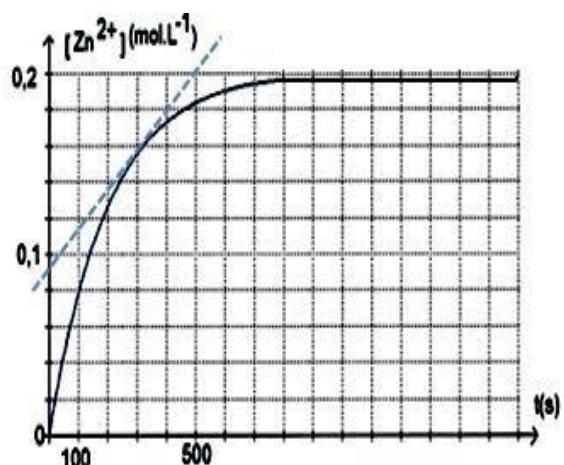
3- L'ensemble des résultats de cette expérience permet de tracer la courbe ci-contre, représentant la concentration en ion Zn^{2+} en fonction du temps.

a- Vérifier que la réaction est totale.

b- Déterminer, à l'instant $t=100\text{s}$, la concentration en ion Zn^{2+} dans le mélange réactionnel et la masse de zinc restant.

4- Déterminer la vitesse volumique de la réaction à l'instant $t=300\text{s}$.

5- Définir le temps de demi-réaction et déterminer sa valeur.



6- On refait la même expérience dans les mêmes conditions mais à $C_A = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ d'acide chlorhydrique, tracer, en justifiant, sur la même courbe précédente, l'allure de la courbe obtenue dans ce cas.

Exercice 4 : On verse dans un bêcher un volume $V = 2.10^{-4} \text{ m}^3$ d'une solution S_B d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^{+}_{\text{aq}} + \text{HO}^{-}_{\text{aq}}$) de concentration $C_B = 10 \text{ mol.m}^{-3}$, et on lui ajoute à l'instant t_0 pris comme origine des dates, la quantité de matière n_E de méthanoate d'éthyle égale à la quantité de matière n_B d'hydroxyde de sodium dans la solution S_B à l'origine des dates .(On suppose que le volume du mélange reste constant $V = 2.10^{-4} \text{ m}^{-3}$).

L'étude expérimentale a permis de tracer la courbe représentant les variations de la conductance G en fonction du temps (figure 1)

Données : -Toutes les mesure ont été prises à 25°C .

- On exprime la conductance G à l'instant t par la relation : $G = K \cdot \sum \lambda_i \cdot [X_i]$, avec λ_i la conductivité molaire ionique de l'ion X_i et $[X_i]$ sa concentration dans la solution et K la constante de la cellule conductimétrique , sa valeur $K = 0,01 \text{ m}$.

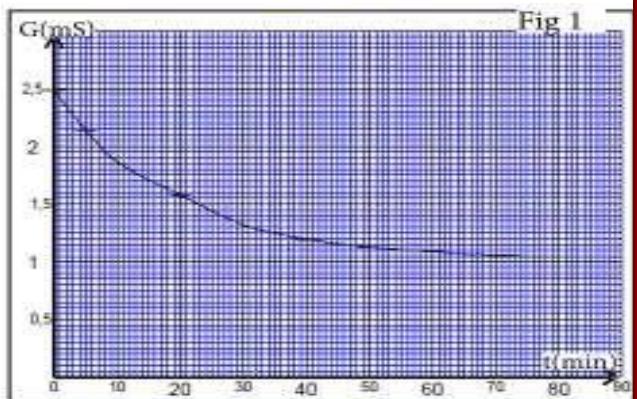
- Le tableau suivant donne les valeurs des conductivités molaires ioniques des ions présents dans le milieu réactionnel :

ion	$\text{Na}^{+}_{\text{aq}}$	$\text{HO}^{-}_{\text{aq}}$	$\text{HCO}_3^{-}_{\text{aq}}$
	$5,01 \cdot 10^{-3}$	$19,9 \cdot 10^{-3}$	$5,46 \cdot 10^{-3}$

On modélise la transformation étudiée par l'équation chimique suivante



1-1- Donner le bilan des ions présents dans le mélange à l'instant t .



1-2- Dresser le tableau d'avancement de cette transformation chimique .

1-3- Montrer que la conductance G dans le milieu réactionnel vérifie la relation : $G = -0,72x + 2,5 \cdot 10^{-3}$ (S)

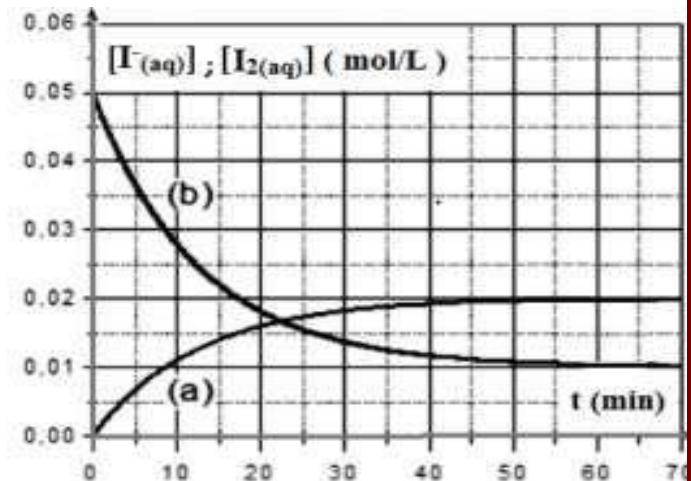
1-4- Interpréter la diminution de la conductance pendant la réaction.

1-5- Trouver le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

Exercice 5 On étudie l'évolution au cours du temps de la réaction d'oxydation des ions iodure $\text{I}^{-}_{\text{(aq)}}$ par le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (eau oxygénée) en milieu acide. L'équation chimique qui symbolise la réaction associée à la transformation chimique étudiée est :



À la date $t = 0$, on mélange un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ d'une solution (S_1) d'eau oxygénée de concentration molaire C_1 avec un volume $V_2 = 100 \text{ mL}$ d'une solution (S_2) d'iodure de potassium (KI) de concentration molaire C_2 et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. Le suivi temporel de cette transformation chimique a permis de tracer, sur le graphe ci-dessous, les courbes représentant les variations de la molarité des ions iodure I^{-} et celle des molécules de diiode I_2 en fonction du temps



1. Associer, en le justifiant, chacune des courbes (a) et (b) à la grandeur qu'elle représente.
2. L'ion iodure $\text{I}^{-}_{\text{(aq)}}$ est-il le réactif limitant ? Justifier la réponse.
3. En exploitant le graph, trouver la concentration initiale $[\text{I}^{-}]_0$ et finale $[\text{I}^{-}]_f$ dans le mélange.
4. Calculer la concentration initiale $[\text{H}_2\text{O}_2]_0$ de l'eau oxygénée dans le mélange.
5. Déterminer graphiquement la valeur de vitesse volumique à l'instant $t = 10 \text{ min}$.

6. Comment varie la vitesse de la réaction au cours du temps ? Interpréter cette variation.
 7. Quelle est la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$?
 8. Dire, en le justifiant, comment varie $t_{1/2}$ si :
 - a- On abaisse la température du milieu réactionnel ?
 - b- L'évolution s'effectuait dans un grand volume d'eau.

*CORRECTION

Cours N°C3 : Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens

Introduction : Afin d'obtenir un bon rendement, le pH d'une terre agricole doit être adapté à la culture choisie.

- Comment peut-on ajuster le pH d'un sol ?



I. Réactions acido-basiques (Rappel) :

1-Définitions

- Un **acide selon Bronsted**, est une espèce chimique capable de pendant une transformation
- Une **base selon Bronsted**, est une espèce chimique capable de pendant une transformation
- Un couple **acide / base** (noté $\text{AH}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}^+$) est constitué d'un acide AH et de sa base conjuguée A^- qui sont généralement liés par la demi-équation : $\text{AH}^- \rightarrow \text{A}^- + \text{H}^+$. Pour le couple BH^+ / B : $\text{BH}^+ \rightarrow \text{B} + \text{H}^+$

Application 1 : Compléter le tableau suivant :

Couple acide / base	Acide	Base	Demi-équation acido-basique
.....	CH_3COOH
$\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$
.....	$\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+$
$\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$
.....	$\text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$

Remarque :

- L'eau se comporte comme **un acide** dans le couple $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$ et comme **une base** dans le couple $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$, on l'appelle **ampholyte** (ou amphotère).
- Généralement, le proton H^+ n'est pas perdu par l'acide sauf s'il y a une base capable d'acquérir ce proton H^+ et vice versa.

2- Réaction acido – basique

Une **réaction acido – basique** fait intervenir deux couples **acide/base** : $\text{A}_1\text{H}/\text{A}_1^-$ et $\text{A}_2\text{H}/\text{A}_2^-$.

Pour établir l'équation de la réaction, on suit les étapes suivantes :

On écrit les demi-équations acido-basiques toujours en commençant par les espèces chimiques réactives :

Exemple : Si l'acide A_1H réagit avec la base A_2^- :

.....
.....

La combinaison de ces deux demi-équations donne l'équation de la réaction :

Application 2 :

1. Ecrire l'équation de la réaction acido-basiques entre l'acide éthanoïque CH_3COOH et l'ammoniac NH_3 :

.....
.....

2. Citer les couples qui réagissent dans cette réaction acido-basiques : $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

II. Le pH d'une solution aqueuse :

1. Définition du pH d'une solution aqueuse :

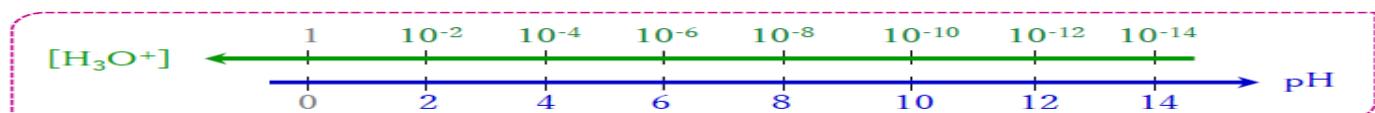
La solution aqueuse est un mélange homogène obtenu par la dissolution d'une espèce chimique (appelée soluté) dans l'eau (appelée solvant).

Pour des solutions aqueuses diluées ($[H_3O^+] \leq 5 \cdot 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$), le **pH** d'une solution aqueuse est défini par :

$[H_3O^+]$: la concentration en ions oxonium exprimée en **mol.L⁻¹**.

Le pH est une grandeur sans unité. Inversement, on peut remonter, à partir du **pH** d'une solution aqueuse à la concentration en ions oxonium en effectuant :

Le **pH** d'une solution aqueuse est borné entre 0 et 14.



Application 3 :

1. Déterminer la valeur de pH des solutions suivantes :

$$[H_3O^+]_1 = 1,2 \cdot 10^{-3} mol \cdot L^{-1}$$

$$[H_3O^+]_2 = 1,00 \cdot 10^{-3} mmol \cdot L^{-1}$$

$$[H_3O^+]_3 = 0,080 mol \cdot m^{-3}$$

2. Déterminer la concentration en ions oxonium $[H_3O^+]$ dans les solutions suivantes : $pH_1 = 5,02$; $pH_2 = 8,3$

.....

2. Mesure du pH d'une solution aqueuse :

On peut simplement avoir une indication de la valeur du **pH** en utilisant **un papier pH** qui prend une couleur plus ou moins rougeâtre selon l'acidité de la solution.

Pour être plus précis, on utilise **un pH-mètre**. Celui-ci est un millivoltmètre relié à deux électrodes (ou une combinée) : une électrode de verre et une électrode de référence.

Le millivoltmètre mesure la différence de potentiel entre les deux électrodes.



Remarque : Incertitude de pH

.....

III. Les transformations totales et limitées :

1. Les transformations totales :

Activité 1 :

On verse, dans un bécher, un volume $V=100 \text{ mL}$ de solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^{+}_{(aq)} + \text{Cl}^{-}_{(aq)}$) de concentration $C=3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, puis on immerge l'électrode de $p\text{H}$ - mètre dans cette solution et on trouve que : $p\text{H} = 1,45$.

1. Écrire l'équation de réaction acido-basique entre le chlorure d'hydrogène et l'eau.

On donne : $\text{HCl}_{(g)} / \text{Cl}^{-}_{(aq)}$; $\text{H}_3\text{O}^{+}_{(aq)} / \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

2. Calculer la quantité de matière initiale du chlorure d'hydrogène.

3. Complétez le tableau d'avancement suivant.

Equation de la réaction							
Etat du système	avancement	Quantité de matière (mol)					
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_{max}

4. Déterminer l'avancement maximal x_{max} .

.....
.....
.....
.....

5. Déterminer la concentration finale en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^{+}]_f$, et déduire la valeur de l'avancement final x_f .

.....
.....
.....
.....

6. Comparer x_{max} avec x_f . Que peut-on conclure ?

.....
.....

Conclusion :

.....
.....
.....

2. Les transformations limitées :

Activité 2:

Dans un bécher, on introduit un volume $V_0 = 500 \text{ mL}$ d'eau distillée et on ajoute $V = 1 \text{ mL}$ d'acide éthanoïque CH_3COOH . Puis on immerge l'électrode de pH -mètre dans cette solution et on trouve que : $\text{pH} = 3,10$.

1. Écrire l'équation de réaction acido-basique entre l'acide éthanoïque et l'eau.

On donne : $(aq) / \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)}$; $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} / \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

2. Calculer la quantité de matière initiale d'acide éthanoïque.

3. Complétez le tableau d'avancement suivant.

Equation de la réaction							
Etat du système	avancement	Quantité de matière (mol)					
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_{max}

4. Déterminer l'avancement maximal x_{max} .

5. Déterminer la concentration final en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_f$, et déduire la valeur de l'avancement final x_f .

6. Comparer x_{max} avec . Que peut-on conclure ?

Conclusion :

3. Le taux d'avancement final d'une réaction chimique ;

Le taux d'avancement final τ d'une réaction chimique est égal au quotient de l'avancement final par l'avancement final de cette réaction :

τ est une grandeur sans unité et $0 < \tau \leq 1$ et peut être exprimée en pourcentage.

- Si $\tau = 1 = 100\%$ \rightarrow la transformation est
- Si $0 < \tau < 1$ \rightarrow la transformation est

Pour la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau (activité 2), on a :

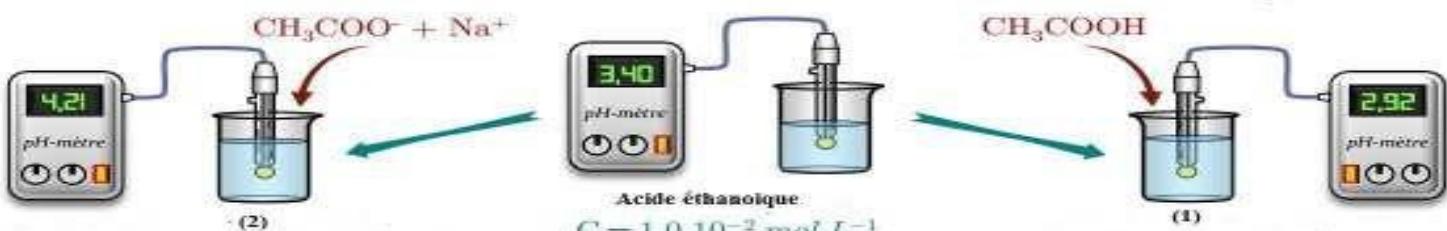
4. Sens de l'évolution d'une transformation chimique :

Activité 3:

On verse dans les deux bêchers le même volume de solution d'acide éthanoïque de concentration $C=1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Une mesure du pH dans chaque bêcher donne $\text{pH}=3,4$.

On ajoute dans le bêcher (1) d'acide éthanoïque pur, le pH devient $\text{pH}_1 = 2,91$.

- Dans le bêcher (2), des cristaux d'éthanoate de sodium, le pH devient $\text{pH}_2 = 4,21$



Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui se fait pendant la préparation de la solution (S).

Observation

Dans le bêcher (1): Le pH (il passe de à) : Ce qui signifie que la réaction s'effectue dans le sens de des ions selon l'équation :

Dans le bêcher (2) : Le pH (il passe de à ...) : Ce qui signifie que la réaction précédente s'effectue dans le sens des ions selon l'équation :

Conclusion

La réaction entre l'acide éthanoïque et l'eau s'effectue dans les deux sens, donc on utilise le double flèche(.....) au lieu d'une seule flèche (.....) dans l'équation de la réaction :

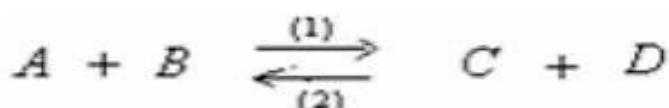
En générale

Au cours de chaque transformation chimique limitée (:non totale), une réaction se produit dans les deux sens (le **sens direct** et le **sens indirect** ou **sens inverse**). On l'exprime par l'équation de la réaction suivante :

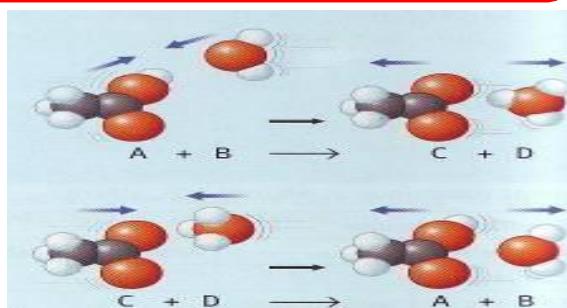
5. L'état d'équilibre d'un système chimique :

Interprétation microscopique :

On considère le système chimique suivant :



A l'état initial le système contient les espèces chimiques A et B, la réaction se produit dans le sens (1) avec la vitesse v_1 .



- Les quantités des espèces A et B ainsi que les chocs entre elles diminuent donc diminution de v_1 .

- Les espèces C et D apparaissent et la réaction se produit dans le sens (2) avec la vitesse v_2 , leurs quantités ainsi que les chocs entre elles augmentent donc augmentation de vitesse v_2 .

Lorsque les deux vitesses v_1 et v_2 s'égalisent: le système n'évolue plus. C'est l'**état d'équilibre dynamique**.

Au niveau macroscopique le système ne semble pas évoluer

Série N°C3 : Réactions s'effectuant dans les deux sens

Exercice 1 : Pour préparer une solution d'acide propanoïque de volume $V = 400 \text{ mL}$, On fait dissoudre une masse $m=1,48 \text{ g}$ d'acide propénoïque $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ dans l'eau distillée. puis on immerge l'électrode de **pH**- mètre dans cette solution et on trouve que : $\text{pH} = 3,09$.

On donne : la masse molaire d'acide propénoïque : $M = 74 \text{ g.mol}^{-1}$

1. Écrire l'équation bilan de la réaction.
2. Calculer la quantité de matière initiale d'acide propanoïque.
3. Déduire C la concentration initiale d'acide propénoïque.
4. Dresser le tableau d'avancement suivant.
5. Trouver l'expression du taux d'avancement final τ en fonction de C et pH .
6. Calculer la valeur de τ . La transformation est-elle totale ou limitée ?

Exercice 2 : Une solution aqueuse de volume $V=2,0 \text{ L}$ est obtenue en apportant $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ d'acide lactique de formule brute $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, noté AH, dans le volume d'eau nécessaire.

À 25°C , la concentration à l'équilibre en acide AH est de $8,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

- 1- Écrire l'équation de la réaction entre l'acide et l'eau.
- 2- Calculer les concentrations molaires effectives des espèces ioniques en solution.
- 3- Calculer la valeur du taux d'avancement final τ conclure.

Exercice 3 : I- Dans une fiole jaugée de volume $V_0=100\text{mL}$, on introduit une masse m d'acide éthanoïque CH_3COOH , puis on complète cette fiole avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on l'homogénéise; On obtient une solution S_0 d'acide éthanoïque de concentration molaire $C_0 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. $M(\text{CH}_3\text{COOH})=60\text{g/mol}$

- 1- Calculer la masse m .
- 2- Ecrire l'équation de la réaction associée à la transformation de l'acide éthanoïque avec l'eau.
- 3- Construire le tableau d'avancement, en fonction de C_0 , V_0 , $x_{\text{éq}}$
- 4- Exprimer le taux d'avancement final τ_0 en fonction de $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ et C_0 .
- II- La mesure de la conductivité de la solution S_0 donne $\sigma_0 = 34,3 \text{ mS.m}^{-1}$ à 25°C .
Exprimer la conductivité σ de la solution d'acide éthanoïque à l'état d'équilibre en fonction des conductivités molaires ioniques des ions et de la concentration en ions oxonium à l'équilibre $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$.
- 1- Calculer le pH de la solution.
- 2- Calculer τ_0 le taux d'avancement de la réaction.
- 3- On réalise la même étude, en utilisant une solution S_1 d'acide éthanoïque de concentration $C_1=5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
- 4- En déduire l'influence de la concentration de la solution sur le taux d'avancement. Conductivités molaires ioniques à condition de l'expérience en $\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$: $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+)=35,0$; $\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-)=4,09$.

Exercice 4 : On détermine la conductivité de solutions d'acide fluorhydrique de diverses concentrations C . Les

$c (\text{mmol.L}^{-1})$	10	1,0	0,10
$\sigma (\text{mS.m}^{-1})$	90,0	21,85	3,567

Résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

- 1- Écrire l'équation de la réaction du fluorure d'hydrogène HF sur l'eau.
- 2- Exprimer la conductivité σ en fonction de l'avancement $x_{\text{éq}}$. En déduire la valeur $x_{\text{éq}}$.
- 3- Déterminer les concentrations effectives des ions $\text{H}_3\text{O}^{+}_{(\text{aq})}$ et $\text{F}^{-}_{(\text{aq})}$ dans ces trois solutions.
- 4- Calculer le taux d'avancement de la réaction pour chacune des solutions.
- 5- Comment varie ce taux d'avancement avec la dilution de la solution ?

Données : Conductivités molaires ioniques à 25°C :

$$\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 3,50 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda(\text{F}^-) = 5,54 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

CORRECTION

Cours N°C4 : Etat d'équilibre d'un système chimique

Introduction : Lors d'efforts intenses, la régulation du pH du sang met en jeu divers équilibres chimiques.

- Quelle grandeur caractérise un équilibre chimique ?



I – Quotient de réaction Qr ;

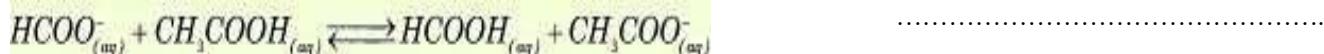
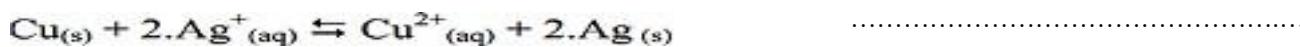
1- Définition :

Soit une transformation chimique limitée d'équation : $a A_{(aq)} + b B_{(aq)} \rightleftharpoons c C_{(aq)} + d D_{(aq)}$ où A, B, C et D sont les espèces chimiques (réactifs et produits), et **a**, **b**, **c** et **d** leurs coefficients stoechiométriques.

Le quotient de réaction associé à cette équation est donné par la relation :

- Q_r : grandeur sans dimension
- $[A]$, $[B]$, $[C]$, $[D]$: sont des concentrations effectives en mol.L^{-1}
- $[X_i] = 1$ si X_i est un solide non dissous ;
- $[H_2O] = 1$ dans le cas d'une solution aqueuse (H_2O solvant).

Exemples



Remarque : On remarque que , donc l'expression de **Qr** dépend du sens d'écriture de l'équation de la réaction.

II- Quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,\text{éq}}$

1-Définition

On appelle quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,\text{éq}}$ la valeur que prend le quotient de réaction lorsque l'état d'équilibre du système chimique considéré est atteint. Son expression est :

Afin de déterminer $Q_{r,\text{éq}}$, on utilise différentes techniques expérimentales pour mesurer les concentrations à l'équilibre :

- la conductimétrie pour les systèmes faisant intervenir des ions.
- le pH-mètre pour les systèmes faisant intervenir des réactions acido-basiques.

2- Détermination de $Q_{r,\text{éq}}$ par conductimétrie :

1- Activité 1

On prépare trois solutions aqueuses, d'acide éthanoïque CH_3COOH , de volume V et de différentes concentrations molaires en soluté apporté C_i

On mesure la conductivité des solutions d'éthanoïque précédentes à température 25°C . On note les résultats obtenus dans le tableau suivant

Données

$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad ; \quad \lambda_{H_3O^+} = 35 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

$1,0.10^{-3}$	$5,0.10^{-3}$	$5,0.10^{-2}$	$C_i (\text{mol.L}^{-1})$
5,2	11,4	37,2	$\sigma_{eq} (\text{mS.m}^{-1})$

❖ Exploitations

1. Ecrire l'équation de la réaction se produisant entre l'acide éthanoïque et l'eau.

.....
2. Compléter le tableau d'avancement de la réaction.

Equation de la réaction				
Etat du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Etat initial	$x = 0$
Etat intermédiaire	x
Etat final	x_f

3. En exploitant le tableau d'avancement, montrer que l'expression des concentrations molaires à l'état final est :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} = \frac{\sigma_{\text{éq}}}{\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}} \quad \text{et} \quad [\text{H}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} = C_i - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$$

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Déterminer l'expression du quotient de réaction à l'équilibre $Qr_{\text{éq}}$ en fonction de la concentration molaire en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ et de la concentration molaire C_i en soluté apporté.

.....
.....
.....
.....

5. A partir de l'expression de la conductivité de la solution, calculer la concentration molaire en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ de la solution et le quotient de réaction à l'équilibre $Qr_{\text{éq}}$ dans chaque cas.

$C_i(\text{mol. L}^{-1})$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
$\sigma_i(\text{mS. m}^{-1})$	37,2	11,4	4,9
$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} (\text{mol. L}^{-1})$
$Qr_{\text{éq}}$

Que peut-on Conclure ?

.....
.....

III- Constante d'équilibre K ;

1-Définition

On associe à chaque réaction d'équation : $a A_{(aq)} + b B_{(aq)} \rightleftharpoons c C_{(aq)} + d D_{(aq)}$, une constante **K** appelée constante d'équilibre telle que : $Q_{r,\text{eq}} = K$.

- La valeur de **K** ne dépend pas de l'état initial du système, elle dépend uniquement de la température.
- A chaque équation de réaction on associe une constante d'équilibre **K**.

Exemple : Chaque acide est caractérisé par sa constante d'équilibre.

Solutions	Acide méthanoïque	Acide éthanoïque	Acide benzoïque
La constante d'équilibre K à 25°C	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$

IV- Facteurs agissants sur le taux d'avancement final

1- Influence de l'état initial du système sur le taux d'avancement final.

Le tableau ci-dessous représente les valeurs du **taux d'avancement final τ** des trois solutions d'acide méthanoïque de concentrations différentes.

Acide méthanoïque	$C_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$	$C_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$	$C_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$
Le taux d'avancement τ	2%	6%	17%

- Que concluez-vous ?

2- Influence de la constante d'équilibre sur τ .

Le tableau ci-dessous représente les valeurs du **taux d'avancement final τ** des trois solutions d'acide différentes mais elles ont mêmes concentration initiale $5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Solutions de concentrations	Acide méthanoïque	Acide éthanoïque	Acide benzoïque
$C = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$			
La constante d'équilibre K à 25°C	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$
Le taux d'avancement τ	6%	3%	2%

Que concluez-vous?

Remarque :

Une réaction peut être considérée comme quasi-totale si son taux d'avancement final est supérieur à 99 %. Comme τ dépend de K mais aussi des conditions initiales, il n'est pas possible de donner un critère universel portant seulement sur K et prédisant qu'une réaction sera totale. Toutefois, dans la plupart des cas abordés dans notre étude, une réaction dont la constante d'équilibre est supérieure à 10^4 peut être considérée comme totale.

Série N°C4 : Equilibre chimique

Exercice 1: L'acide formique (ou acide méthanoïque) soluble dans l'eau a pour formule semi-développée HCOOH. On se propose d'étudier quelques propriétés d'une solution aqueuse de cet acide. Dans une fiole jaugée de volume $V_0 = 100 \text{ mL}$, on introduit une masse m d'acide formique, puis on complète cette fiole avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on l'homogénéise. On dispose d'une solution S_0 d'acide formique de concentration molaire $C_0 = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$.

Données : Masses molaires atomiques : $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

- Conductivités molaires ioniques à conditions de l'expérience :

$$\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35,0 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} \quad \lambda(\text{HCOO}^-) = 5,46 \times 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

1- Calculer la masse m .

2- Ecrire l'équation de la réaction associée à la transformation de l'acide formique avec l'eau.

3- Dresser le tableau d'avancement correspondant à cette transformation chimique, en fonction de C_0, V_0 , et $x_{\text{éq}}$.

4- Exprimer le taux d'avancement final τ en fonction de la concentration $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ et de C_0 .

5- Trouver l'expression du quotient de réaction à l'état d'équilibre $Q_{r,\text{éq}}$ en fonction de $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ et de C_0 .

6- Exprimer la conductivité σ de la solution d'acide formique à l'état d'équilibre en fonction des conductivités molaires ioniques des ions présents et de la concentration en ions oxonium à l'équilibre $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$.

7- La mesure de la conductivité de la solution S_0 donne $\sigma = 0,050 \text{ S.m}^{-1}$ à 25°C . En utilisant les relations obtenues précédemment, calculer la valeur de la constante d'équilibre $Q_{r,\text{éq}}$.

8- On réalise la même étude, en utilisant une solution S d'acide formique de concentration $C = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau.

$C_i (\text{mol.L}^{-1})$	$\sigma (\text{S.m}^{-1})$	$\tau (\%)$	$Q_{r,\text{éq}}$
0,10	0,17	?	$1,8 \cdot 10^{-4}$

a- En déduire le taux d'avancement de la réaction ;

b- Quelle est l'influence de la concentration de la solution sur le taux d'avancement de la réaction.

Exercice 2: On dissout une masse $m=0,44\text{g}$ d'acide ascorbique (vitamine C), de formule $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ dans un volume d'eau $V=500\text{mL}$. Le pH de la solution obtenue est $\text{pH}=3,2$.

1. Calculer la concentration molaire en soluté apporté de la solution d'acide ascorbique.

2. Donner l'équation de la réaction de l'acide ascorbique avec l'eau.

3. Dresser le tableau d'avancement de cette réaction et déterminer l'avancement maximal.

4. En déduire si la réaction considérée correspond à une transformation totale ou à un équilibre et déterminer le taux d'avancement final.

5. Trouver l'expression de constante d'équilibre K en fonction de τ et c ; puis calculer sa valeur.

Données : Masses molaires atomiques : C : 12 g / mol ; H : 1 g / mol ; O : 16 g / mol

Exercice 3: On prépare dans un laboratoire de chimie, une solution aqueuse d'acide butanoïque de volume V et de concentration molaire $C=1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Le pH de cette solution est: $\text{pH} = 3,41$. On modélise la transformation produite par l'équation chimique suivante :

1- Ecrire l'équation de la réaction associée à la transformation de l'acide butanoïque avec l'eau

2- Dresser le tableau d'avancement correspondant à cette transformation chimique, en fonction de C , et V .

3- Déterminer le taux d'avancement final de la réaction. En déduire..

4- Trouver, en fonction de C et pH , l'expression du quotient de réaction $Q_{r,\text{éq}}$ à l'équilibre, puis sa valeur.

5- On réalise la même étude, en utilisant une solution S' d'acide formique de concentration $c' = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$

5-1 Trouver l'expression la constante d'équilibre K en fonction de pH' et de c'

5-2 Démontrer que l'expression de pH' s'écrit sous la forme : $\text{pH}' = -\log[K(\sqrt{\frac{1}{4}} + \frac{c'}{K} - \frac{1}{2})]$.

Puis calculer sa valeur.

*******CORRECTION*******

Cours N°C5 : Transformations associées aux réactions acide-base en solution aqueuse -Titrages acido-basiques

Introduction : Le pH de l'eau d'un aquarium doit être maintenu entre 6,5 et 7,5 ; car la diminution du pH favorise la multiplication du nombre de quelques bactéries qui consomme le dioxygène dissout dans l'eau et l'augmentation du pH favorise la sédimentation du carbonate de calcium sur les feuilles des plantes qui existent dans l'aquarium.

- Comment ces valeurs peuvent-elles être ajustées ?



I. Autoprotolyse de l'eau

Activité 1 : Mesurons la conductivité d'une solution d'eau distillée (qui à priori ne contient pas d'ions). La mesure de conductivité obtenue n'est pas nulle, à 25°C, la conductivité de l'eau distillée est de $5,5 \cdot 10^{-6}$ S/m.

L'eau H_2O : une base pour le couple $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$ et acide pour le couple $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$. L'eau, espèce amphotère, joue donc un double rôle d'acide et de base, selon l'équation :



Exemple : On considère 1,0 L d'eau, on donne la masse volumique de l'eau $\rho_0 = 10^3 \text{ g/L}$

Equation de la réaction		$2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^{\text{(aq)}} + \text{OH}^{\text{(aq)}}$			
Etat	Avancement	Quantités de matières en mol			
Etat initial	0	n		0	0
Etat en cours de transformation	x	n - 2x		x	x
Etat final	x_f	$n - 2x_f$		x_f	x_f

Quantité de matière initiale n :	Détermination de x_{\max} :	Détermination de x_f :
.....
.....
.....
.....
.....

Détermination de τ :

La réaction d'autoprotolyse de l'eau est une transformation

2- Le produit ionique de l'eau :

Le produit ionique de l'eau : c'est la constante d'équilibre associée à l'équation d'autoprotolyse de l'eau. Cette constante est notée K_e .

K_e s'exprime sans unité et les concentrations sont exprimées en mol.L⁻¹.

- La constante d'équilibre est indépendante de l'état initial (de la concentration initiale) et ne dépend que de la température.
- Pour toute solution aqueuse à 25°C, $K_e = 1,0 \cdot 10^{-14}$. (K_e croît lorsque la température augmente).

Exemples

On note :

.....

Température (°C)	0	25	50
K_e	$1,0 \cdot 10^{-14}$	$5,5 \cdot 10^{-14}$
$pK_e = -\log K_e$	15	14

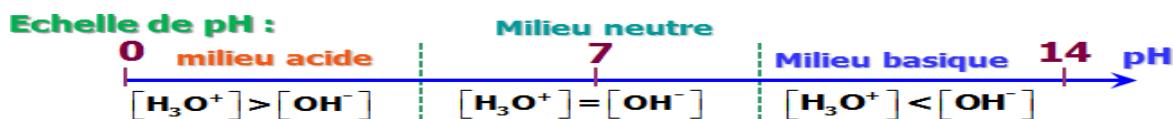
3- Relation entre pH et $[H_3O^+]$

On prend le logarithme de la relation $K_e = [H_3O^+][OH^-] \Rightarrow \log K_e = \log[H_3O^+] + \log[OH^-]$

4- pH des solutions aqueuses :

Le pH des solutions aqueuses usuelles s'étend de 0 à 14.

Solution aqueuse acide	Solution aqueuse neutre	Solution aqueuse basique
$[H_3O^+] > [OH^-]$ $[H_3O^+][H_3O^+] > [OH^-][H_3O^+]$ $[H_3O^+] > K_e$ $-\log[H_3O^+]^2 < -\log K_e$ $pH < \frac{pK_e}{2}$	$[H_3O^+] < [OH^-]$ $[H_3O^+][H_3O^+] < [OH^-][H_3O^+]$ $[H_3O^+]^2 < K_e$ $-\log[H_3O^+]^2 > -\log K_e$ $pH > \frac{pK_e}{2}$
A 25°C ; pH<7	A 25°C ; pH>7



II. Constante d'acidité K_A

1) Constante d'acidité K_A

La constante d'acidité K_A est la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction d'un acide avec l'eau
équation : $AH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

Constante d'acidité : En générale :

Le pK_A est défini par la relation : ou

Exemple

Couple	p K_A	K_A
H_3O^+/H_2O	1
$CH_3COOH_{(aq)}/CH_3COO^-_{(aq)}$	4,8
$NH_4^+_{(aq)}/NH_3_{(aq)}$	9,2
H_2O/HO^-	10^{-14}	14

2- Relation entre pH et p K_A

Pour tout couple acide/base $AH_{(aq)}/A^-_{(aq)}$, on peut écrire : $K_A = \frac{[A^-]_{eq} \cdot [H_3O^+]_{eq}}{[HA]_{eq}}$

3-Comparaison le comportement d'acide et base en solution

3-1-Comparaison des solutions acides.

Activité 2 : On considère deux solutions acides (S_1) et (S_2) de même concentrations $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à température 25°C

(S_1) : solution d'acide éthanoïque $\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)}$ de $\text{pk}_{A1} = 4,8$ et $\text{pH}_1 = 3,4$

(S_2) : solution d'acide méthanoïque $\text{HCOOH}_{(aq)}$ de $\text{pk}_{A2} = 3,8$ et $\text{pH}_2 = 2,6$

1. Calculer le taux d'avancement final τ de chaque solution. Quel est l'acide le plus soluble dans l'eau ?

Le tableau d'avancement d'un acide AH avec l'eau est :

Equation de la réaction		$\text{HA}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{A}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$			
Etat du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Etat initial	$x = 0$	C.V	En excès	0	0
Etat final	$x \neq 0$	$\text{C.V} - x \neq 0$	En excès	$x \neq 0$	$x \neq 0$

- L'acide le plus soluble dans l'eau est

Pour des solutions d'acides de mêmes concentrations, l'acide le plus fort (: qui dissocie rapidement dans l'eau) est celui dont le taux d'avancement final donc c'est celui pour lequel le pH est ou de celui de pK_A (c-à-d la constante d'acidité K_A est.....) .

Exemple : L'acide est plus fort que l'acide

3-2-Comparaison des solutions basiques.

Activité 3

On considère deux solutions basiques (S_1) et (S_2) de même concentration $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à température 25°C .

- (S_1) : solution d'ammoniac $\text{NH}_3{}_{(aq)}$ de $\text{pk}_{A1} = 9,2$ et $\text{pH}_1 = 10,6$
- (S_2) : solution de méthyle-amine $\text{CH}_3\text{NH}_2{}_{(aq)}$ de $\text{pk}_{A2} = 10,7$ et $\text{pH}_2 = 11,4$

Données : $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]_{eq} \cdot [\text{HO}^-]_{eq}$ $\text{pK}_e = 14$

1.Calculer le taux d'avancement final τ de chaque solution. Quelle est la base le plus soluble dans l'eau ?

Le tableau d'avancement d'une base B avec l'eau est :

Equation de la réaction		$\text{B}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{BH}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$			
Etat du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Etat initial	$x = 0$	C.V	En excès	0	0
Etat final	$x \neq 0$	$\text{C.V} - x \neq 0$	En excès	$x \neq 0$	$x \neq 0$

- La base le plus soluble dans l'eau, est.....

Pour des solutions basiques de mêmes concentrations, la base le plus fort (qui dissocie rapidement dans l'eau) est celle dont le **taux d'avancement final est** donc c'est celle pour lequel le **pH** est ou de celle de **pK_A** est (c-à-d la constante d'acidité **K_A** est).

Exemple : La base est plus forte que la base

La base	τ	pH	C(mol/L)	pKa	Ka
B ₁ : CH ₃ NH ₂	25%	11,4	10 ⁻²	10,7	2.10 ⁻¹¹
B ₂ : NH ₃	4%	10,6	10 ⁻²	9,20	6,3.10 ⁻¹⁰

III. Diagramme de prédominance des espèces acido-basiques:

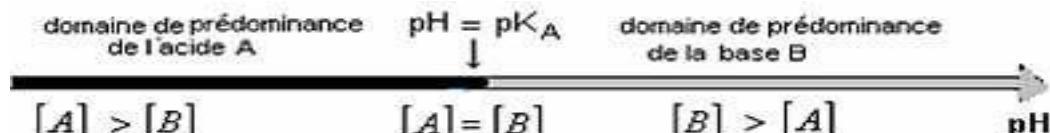
1. Diagramme de prédominance :

1. Diagramme de predominance :
 Relation liant le pH et le pK_A est $pH = pK_A + \log \frac{[B]_{eq}}{[A]_{eq}}$

- Si $pH = pK_A$, $\log \frac{[B]}{[A]} = 0 \Rightarrow \frac{[B]}{[A]} = 1 \Rightarrow [B] = [A]$ aucune des espèces A et B ne prédomine.

$-Si$ pH < pK_A

- Si $pH > pK_A$, la disociation est favorisée.



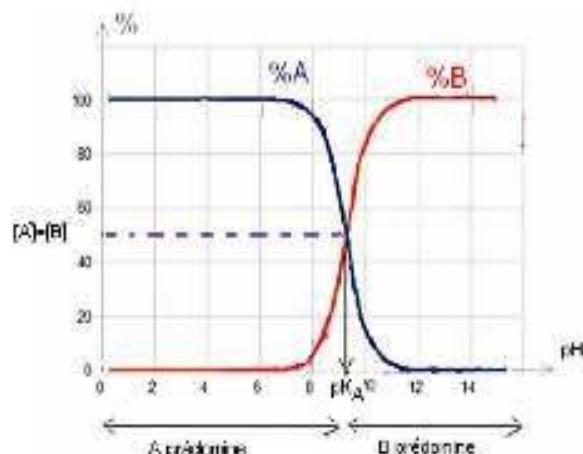
Exemple : Quelle est l'espèce prédominant dans la solution d'acide méthanoïque :

On donne : $pK_A(\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-) = 3,75$; $\text{pH} = 4,82$

2. Diagramme de répartition :

On considère une solution contenant l'acide A et sa base conjuguée B.

On appelle pourcentage de l'acide A dans la solution, la grandeur :

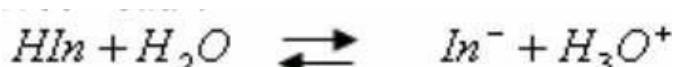


On appelle pourcentage de la base B dans la solution, la grandeur:

3. Application cas de l'indicateur coloré.

Les indicateurs colorés acido-basique sont constitués par des couples acide/base : HIn/In^- dont les espèces conjuguées ont des teintes différentes dans une solution aqueuse.

L'équation de la réaction de HIn avec l'eau est :



Elle se caractérise par une constante d'acidité :

- La solution prend la teinte de la forme basique In^-

Si

La solution prend la teinte de la forme acide HIn

Si

Dans le cas où $[\text{HIn}] = [\text{In}^-]$ aucune forme ne prédomine, la solution prendra une couleur appelée **teinte sensible** (mélange des couleurs dues à la forme acide et à la forme basique), si :

Remarque : On appelle cette zone $\text{pK}_{A,\text{Ind}} - 1 < \text{pH} < \text{pK}_{A,\text{Ind}} + 1$: zone de virage de l'indicateur coloré.

Exemple : Diagramme de prédominance pour l'hélianthine:



Exemples

Indicateur	Couleur		pK_{AInd}	Zone de virage
	Acide	Base		
Hélianthine	Jaune orangé	rouge	3,7	3,1 - 4,4
Vert de Bromocrésol	jaune	bleu	4,7	3,8 - 5,4
Rouge de Méthyle	jaune	rouge	5,1	4,8 - 6,0
Bleu de Bromothymol	jaune	bleu	7,0	6,0 - 7,6
phénolphthaléine	incolore	rose-violet	9,4	8,2 - 10,0

IV- Constante d'acidité associée à une réaction acido-basique.

Soit une réaction acido-basique entre l'acide A_1H d'un couple $\text{A}_1\text{H}/\text{A}_1^-$ de constante d'acidité $\text{K}_{\text{A}1}$ et la base A_2^- d'un couple $\text{A}_2\text{H}/\text{A}_2^-$ de constante d'acidité $\text{K}_{\text{A}2}$

Equation de la réaction : $\text{A}_1\text{H} + \text{A}_2^- = \text{A}_1^- + \text{A}_2\text{H}$

Déterminons la constante d'équilibre de cette réaction :

.....

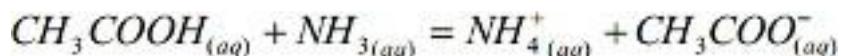
.....

.....

.....

.....

Exercice d'application Soit une équation de réactions entre l'acide éthanoïque et l'ammoniac est :



Déterminer la constante d'équilibre associée à la réaction

.....
.....
.....
.....

La valeur de la constante : $\frac{NH_4^+}{NH_3} ; pK_{ac} = 9,2 ; \frac{CH_3COOH}{CH_3COO} ; pK_{al} = 4,7$ donc $K = 3,1 \cdot 10^4$

V-Titrages acido-basiques :

1-Qu'est-ce qu'un titrage acido-basique ?

Le dosage (ou titrage) consiste à déterminer la concentration d'une espèce chimique présente dans une solution dite solution titrée en faisant réagir cette solution avec une solution de concentration connue dite solution titrante.

La réaction du dosage doit être :

- Rapide : C'est à dire que l'état final du système doit être atteint dans une courte durée.
- Totale : C'est à dire que le réactif limitant est toujours entièrement consommé.
- Unique : la réaction entre l'espèce titrant et l'espèce titré,

VI- Titrage pH-métrique d'une réaction acido-basique:

1 -Dispositif d'un titrage acido-basique suivi par pH-métrie

Pour réaliser le titrage d'un acide par une méthode pH-métrique, on réalise un montage permettant, tout au long du titrage, de mesurer le pH de la solution contenue dans le bêcher ainsi que le volume de soude versé.

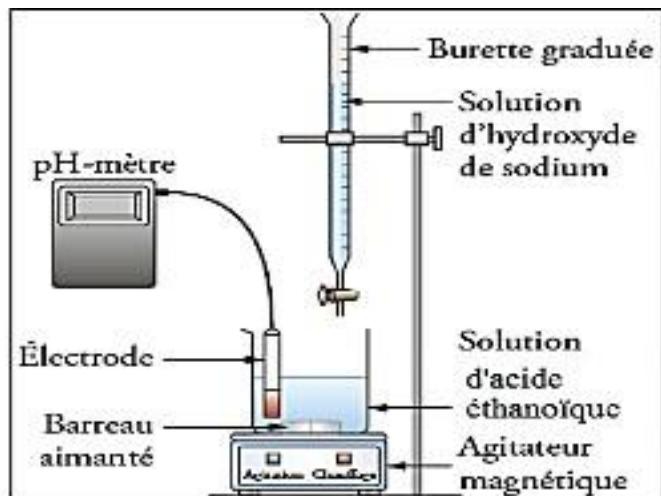
Activité 1

- On introduit dans un bêcher un volume $V_A = 20\text{cm}^3$, mesuré à la pipette jaugée, de solution d'acide éthanoïque CH_3COOH de concentration inconnue C_A

- La burette graduée contient de la soude de concentration $C_B = 0,020 \text{ mol / L}$.

- Un pH-mètre, préalablement étalonné, permet de suivre le pH de la solution après chaque ajout d'hydroxyde de sodium.

- Toutes les mesures sont faites à 25°C .



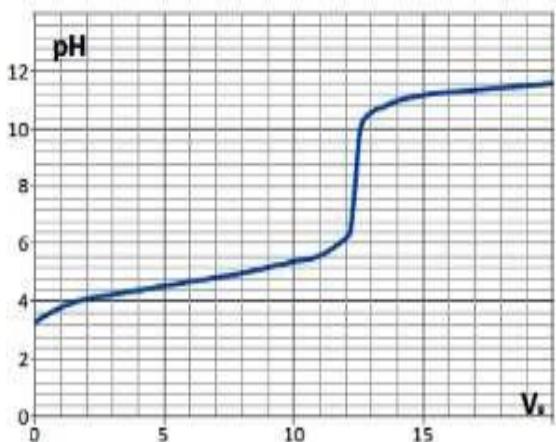
On verse progressivement la soude (Hydroxyde de sodium $(Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)})$) et, après chaque ajout, on mesure le pH de la solution. On obtient les résultats suivants :

pH	0	1	2	4	6	8	9	10	11	12	12,2	12,4	12,6	13	13,5	14	15	16
V_B (mL)	3,3	3,8	4,1	4,4	4,7	5	5,2	5,4	5,6	6,2	6,5	8,3	10,1	10,6	10,8	11	11,2	11,3

2- La courbe de titrage

La courbe de titrage pH-métrique est la courbe donnant les variations du pH en fonction du volume V_B de solution titrant versée. **La courbe présente 3 parties distinctes :**

- Pour V_B variant de 0 à 12mL, le pH varie peu, le réactif limitant est OH^- , le réactif en excès CH_3COOH impose un pH acide.
- Pour V_B variant de 12 à 13mL, on observe une importante variation de pH, la courbe change de concavité.
- Pour V_B supérieur à 16mL, le pH augmente lentement vers la valeur pH = 12 (correspondant au pH de la solution de soude ajoutée). Le réactif limitant est CH_3COOH , le réactif en excès est OH^- . Le milieu est de plus en plus basique.



3- L'équivalence

Définition :

- A l'équivalence, les réactifs (réactif titrant et le réactif titré) sont intégralement consommés.

- L'équivalence est atteinte lorsque le mélange devient **stœchiométrique**.

- Avant l'équivalence, c'est le **réactif titrant** qui est limitant.

- Après l'équivalence, c'est le **réactifs titré** qui est limitant

La suite d'activité 1 : Titrage l'acide éthanoïque $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ par l'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$)

1. Ecrire l'équation de la réaction du titrage.

.....

2. Compléter le tableau d'avancement ci-dessous :

Equation de la réaction		$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$			
Etat	Avancement	Quantités de matières en (mol)			
Etat initial	0
Etat en cours de transformation	x
Etat d'équivalence	X_E

3. Déterminer la relation d'équivalence, et en déduire l'expression concentration de C_A .

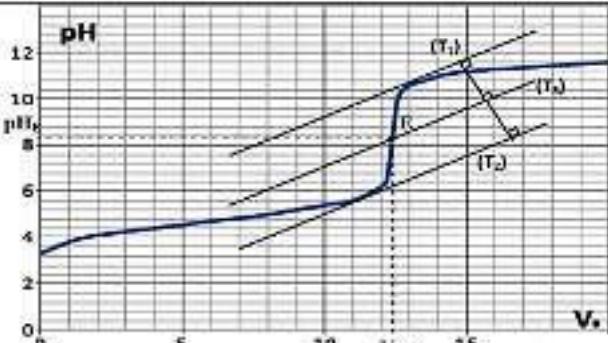
.....
.....
.....
.....

4. Détermination du point équivalent.

Le point E d'équivalence est un point d'inflexion pour la courbe $\text{pH}=f(V)$ autour duquel la courbe est symétrique

A partir de la courbe $\text{pH} = f(V_B)$, (ci-dessous). Déterminer le points d'équivalence (V_{BE} ; pH_E). Puis calculer la concentration C_A .

.....
.....

La méthode des tangentes	La variation $\frac{dpH}{dV_B}$
<p>la méthode des tangentes parallèles (schéma ci-dessous) :</p> <p>Les droites T_1 et T_2, parallèles, sont tangentes à la courbe. La droite T_3 est équidistante de T_1 et T_2. Le point d'équivalence E est le point d'intersection de la courbe et de la droite T_3</p> 	<p>Au point d'équivalent la courbure change (point d'inflexion en mathématiques).</p> <p>En ce point, le coefficient directeur de la tangente passe par un maximum.</p> <p>Au point équivalent E : la courbe $\frac{dpH}{dV_B} = f(V_E)$ passe par un maximum</p> 

VIII- Suivi colorimétrique d'un titrage acido-basique :

1- Principe

- S'il s'agit uniquement de repérer V_E , on peut utiliser un indicateur coloré acido-basique convenablement choisi. Cela évitera de mesurer le pH tout au long du titrage.
- Dans un titrage colorimétrique, l'équivalence est repérée par le changement de couleur d'un indicateur coloré ajouté dans la solution titrée.

2- Choix de l'indicateur

On choisit un indicateur coloré tel que le point équivalent se situe dans sa zone de virage de couleur (la zone de virage contient le pH_E du point équivalent). **La zone de virage** de l'indicateur coloré qui contient la valeur du pH de l'équivalence est l'indicateur convenable pour le titrage colorimétrique.

Exemple : D'après l'Activité 1 et le tableau suivant. Choisir, en justifiant la réponse, l'indicateur coloré convenable pour le repérer l'équivalence dans le titrage colorimétrique.

Indicateur coloré	Rouge de crésol	BET	phénolphthaleïne
zone de virage	7,2 - 8,8	7,6 - 6,0	10,0 - 8,2

3- Taux d'avancement final des réactions de titrage

On met dans un bécher un volume $V_A=20,0 \text{ mL}$ de solution d'acide éthanoïque de concentration $C_A=10,0 \text{ mmol.l}^{-1}$. On y ajoute un volume $V_B=5,0 \text{ mL}$ de solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B=20,0 \text{ mmol.l}^{-1}$.

L'équation de la réaction de titrage est : $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{OH}_{(\text{aq})}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}_{(\text{aq})}^- + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

1. A partir de la courbe $\text{pH} = f(V_B)$ d'activité 1, déterminer la valeur de pH à volume $V_B=5,0 \text{ mL}$.

2. En comparant le volume V_B avec V_{BE} , et précisé le réactif limitant dans ce cas.

3. Compléter Le tableau d'avancement ci-dessous :

Equation de la réaction		$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{OH}_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}_{(\text{aq})}^- + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$				
Etat	Avancement	Quantités de matières en (mol)				
Etat initial	0
Etat intermédiaire
Etat

4. A l'aide du tableau d'avancement montrer que $\tau = 1 - \frac{(VA+VB)}{C_B VB} \cdot 10^{(pH-pK_e)}$

En général :

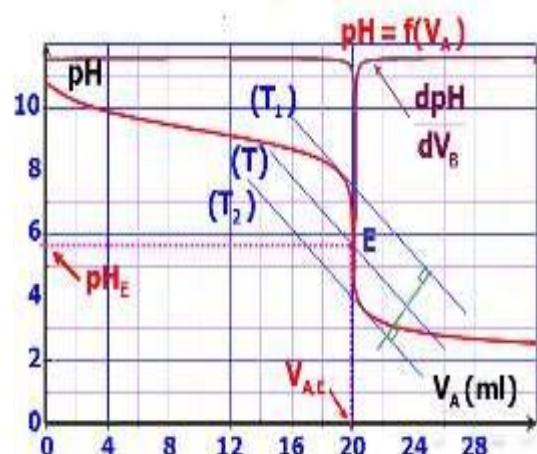
Le taux d'avancement final de la réaction de titrage pour des différentes volumes $V_B < V_{BE}$ on obtient $\tau = 1$ c'est à dire que la transformation associée à la réaction de titrage acido-basique est toujours totale

2- Dosage d'une base par acide

Activité : Dosage d'une solution d'ammoniac $\text{NH}_3\text{(aq)}$ de concentration C_b et de volume $V_b=10\text{ml}$, par une solution d'acide chlorhydrique, de concentration $C_a=10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Et on trace le graphe $\text{pH}=f(V_A)$ (voir la figure ci-dessous)

1-Écrire l'équation de la réaction de titrage:

2- Déterminer la concentration C_b



Remarque pH à l'équivalence :

Titrage d'une solution d'acide faible AH par une solution de base forte avec l'ion HO⁻:

L'équation de la réaction est : $AH_{(aq)} + HO^{-}_{(aq)} \rightarrow A^{-}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

La réaction étant totale, à l'équivalence les espèces AH et HO⁻ ont totalement disparu.

La solution ne contient alors que la base A⁻ et H₂O . pH > 7.

Titrage d'une solution de base faible A⁻ par une solution d'acide fort avec l'ion H₃O⁺:

L'équation de la réaction est : $A^{-}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \rightarrow AH_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

La réaction étant totale, à l'équivalence les espèces A⁻ et H₃O⁺ ont totalement disparu.

La solution ne contient alors que l'acide AH et H₂O . pH < 7.

Titrage d'une solution d'acide fort (ou base forte) par une solution de base forte (ou acide fort)

L'équation de la réaction est : $HO^{-}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \rightarrow 2 H_2O_{(l)}$

La réaction étant totale, à l'équivalence les espèces HO⁻ et H₃O⁺ ont totalement disparu.

La solution ne contient alors que H₂O . pH = 7.

Série N°C5 : Transformations associées aux réactions acide-base en solution aqueuse -Titrages acido-basiques

Exercice 1 : Une solution aqueuse d'acide méthanoïque HCO₂H de concentration apportée C = 3, 0 × 10⁻² mol/L a un pH égale à 2, 65 à 25°C .

1. Écrire l'équation de la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau.
2. Déterminer les concentrations des ions oxonium, des ions éthanoates et de l'acide méthanoïque.
3. En déduire les valeurs de la constante d'acidité K_A et du pK_A du couple considéré à 25°C.

Exercice 2 :

1. Écrire les équations de réaction entre :
 - (a) L'acide lactique CH₃CHOHCO₂H et l'ion nitrite NO²⁻ ;
 - (b) L'acide formique HCO₂H et l'ion hydroxyde HO⁻
2. Calculer la constante d'équilibre associée à chacune de ces réactions à 25°C.
3. En déduire les valeurs de la constante d'acidité K_A et du pK_A du couple considéré à 25°C.

Données à 25°C :

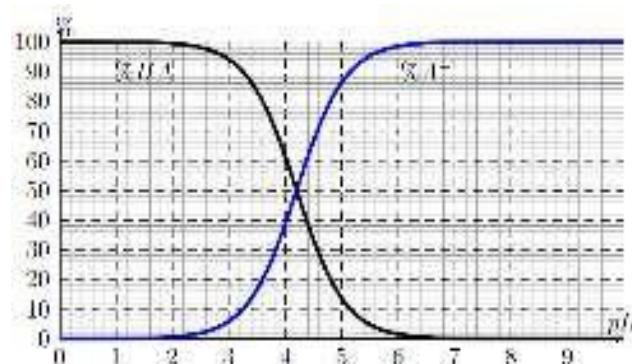
pK _a (CH ₃ CHOHCO ₂ H/CH ₃ CHOHCO ²⁻) = 3, 9	pK _a (HCO ₂ H/HCO ²⁻) = 3, 8
pK _a (HNO ₂ /NO ²⁻) = 3, 3	pK _a (H ₂ O/HO ⁻)= 14, 0 = pK _e

Exercice 3 : Acide acétylsalicylique, ou aspirine C₉H₈O₄, noté HA est l'acide conjugué de l'ion acétylsalicylate, C₉H₇O₄⁻ noté A⁻. Le pKa de ce couple vaut 3,5 à 37°C . À cette température, le pH est égal à environ 1, 5 dans l'estomac, 6, 0 au niveau de duodénum et 7, 4 dans le sang .

- 1- Quelle est l'espèce prédominante du couple HA/A⁻ dans l'estomac, le duodénum et le sang ?
- 2- Exprimer puis Calculer le rapport $\frac{[A^-]}{[HA]}$ dans l'estomac

Exercice 4 : Le document ci-dessous représente le diagramme de distribution d'un mélange d'acide benzoïque , C₆H₅COOH (aq) , noté HA et d'ion benzoate , C₆H₅COO⁻_(aq) noté A⁻ à 25°C. il indique les pourcentages d'acide benzoïque et d'ion benzoate en solution , en fonction du pH. La concentration molaire totale apportée en acide et base conjugué = 10 mmol/L . À partir du diagramme :

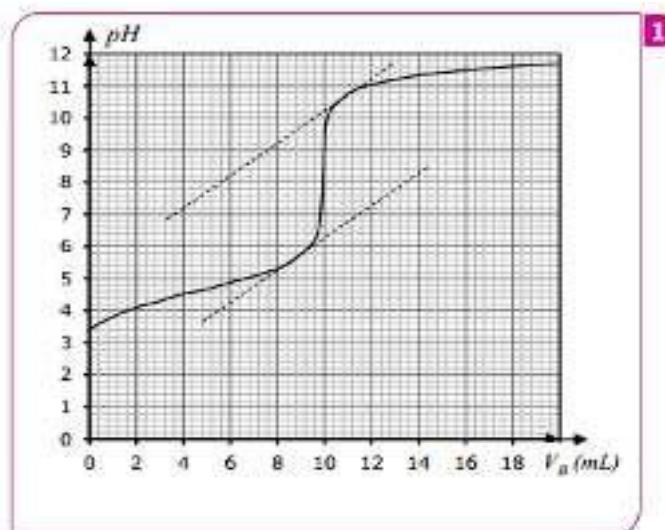
1. Déterminer la valeur du pKa du couple .
2. Déterminer les concentrations molaires en acide et base conjugués dans une solution de pH = 5,0.



Exercice 5 : On dispose au laboratoire d'un flacon contenant une solution aqueuse d'acide carboxylique, de nature et de concentration inconnues. L'acide carboxylique est noté R-COOH avec R représentant un atome d'hydrogène ou un groupe d'atomes. On se propose de déterminer la concentration de l'acide par titrage puis de l'identifier (c'est-à-dire de déterminer la nature de R).

I. Titrage de l'acide carboxylique

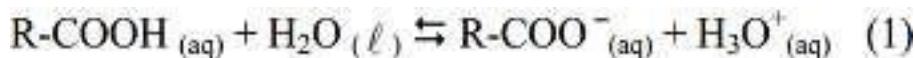
On titre un volume $V_a = 50,0 \text{ mL}$ d'acide carboxylique R-COOH de concentration molaire C_a par une solution aqueuse S_b d'hydroxyde de sodium notée $(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}))$ de concentration molaire $C_b = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On note V_b le volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé. Le suivi pH-métrique du titrage permet d'obtenir la courbe donnée ci-dessous.



1. Faire un schéma légendé du dispositif expérimental utilisé pour effectuer ce titrage.
2. Écrire l'équation de la réaction du titrage.
3. Dresser le tableau d'avancement, en utilisant les grandeurs C_a , C_b , V_a , et V_b
4. Définir l'équivalence du titrage.
5. Déterminer graphiquement le volume V_{bE} de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.
6. Écrire la relation existant entre C_a , V_a , C_b et V_{bE} à l'équivalence. En déduire la valeur de la concentration molaire C_a , de l'acide carboxylique titré.

II. Identification de l'acide carboxylique R-COOH

L'équation de mise en solution de l'acide carboxylique dans l'eau est :



1. Donner l'expression de la constante d'acidité K_A du couple $\text{R-COOH}_{(\text{aq})} / \text{R-COO}^-_{(\text{aq})}$.

2. Montrer qu'à partir de l'expression de la constante d'acidité K_A , on peut écrire :

$$pH = pK_A + \log \frac{[\text{RCOO}^-]}{[\text{RCOOH}]}$$

3. Quel est le réactif limitant lorsqu'on a versé un volume de solution S_b égal à $V_b = \frac{V_{bE}}{2}$?

4. En utilisant le tableau d'avancement, montrer que pour un volume de solution S_b égal à $V_b = \frac{V_{bE}}{2}$ on a :

$$x_f = \frac{C_b V_{bE}}{2}$$

5. Montrer que $[\text{RCOOH}_{(\text{aq})}]_{\text{éq}} = [\text{RCOO}^-_{(\text{aq})}]_{\text{éq}}$, lorsque $V_b = \frac{V_{bE}}{2}$

6. À l'aide de la relation établie à la question II.2. et de l'égalité $[[\text{RCOOH}_{(\text{aq})}]_{\text{éq}} = [\text{RCOO}^-_{(\text{aq})}]_{\text{éq}}$, déduire l'expression du **pH** pour $V_b = \frac{V_{bE}}{2}$

Couple acide / base	pK_A
$\text{HCl}_2\text{C-COOH} / \text{HCl}_2\text{C-COO}^-$	1,3
$\text{H}_2\text{ClC-COOH} / \text{H}_2\text{ClC-COO}^-$	2,9
$\text{H-COOH} / \text{H-COO}^-$	3,8
$\text{H}_3\text{C-COOH} / \text{H}_3\text{C-COO}^-$	4,8

Exercice 6 : L'objectif de cet exercice est l'étude de quelques propriétés de l'ammoniac et de l'hydroxylamine NH_2OH dissous dans l'eau et de déterminer la concentration de l'ammoniac dans un produit commercial à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration connue.

Données : toutes les mesures sont effectuées à 25°C.

La masse volumique de l'eau : $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$

La masse molaire du chlorure d'hydrogène : $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g.mol}^{-1}$

Le produit ionique de l'eau : $K_e = 10^{-14}$

La constante d'acidité du couple : $\frac{4}{\text{NH}_3} \text{ est } K_{A1}$ et $\frac{3}{\text{NH}_2\text{OH}} \text{ est } K_{A2}$

I. Préparation de la solution d'acide chlorhydrique

On prépare une solution S_A d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 0,015 \text{ mol.L}^{-1}$ en diluant une solution commerciale de concentration C_0 en cet acide et dont la densité par rapport à l'eau est $d = 1,15$. Le pourcentage massique de l'acide dans cette solution commerciale est $P = 37\%$.

1. Trouver l'expression de la quantité de matière d'acide $n(\text{HCl})$ contenue dans un volume V de la solution commerciale en fonction de P , d , ρ , V et $M(\text{HCl})$. Puis vérifier que $C_0 = 11,6 \text{ mol.L}^{-1}$.
2. Calculer le volume qu'il faut prélever de la solution commerciale pour préparer **1L** de la solution.

II. Etude de quelques propriétés d'une base dissoute dans l'eau.

On considère une solution aqueuse d'une base B de concentration C . On note K_A la constante d'acidité du couple BH^+/B et τ l'avancement final de sa réaction avec l'eau.

1. Montrer que : $K_A = \frac{K_e \cdot (1 - \tau)}{c \cdot \tau^2}$
2. On mesure le pH_1 d'une solution S_1 d'ammoniac NH_3 de concentration $C = 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et le pH_2 d'une solution S_2 d'hydroxylamine NH_2OH ayant la même concentration C ;
On trouve alors $\text{pH}_1 = 10,6$ et $\text{pH}_2 = 9,0$.
- 2-1 Calculer les taux d'avancement finaux τ_1 et τ_2 respectifs des réactions de NH_3 et de NH_2OH avec l'eau.
- 2-2 Calculer la valeur de chacune des constantes pK_{A1} et pK_{A2} .

III. Dosage acide-base d'une solution diluée d'ammoniac.

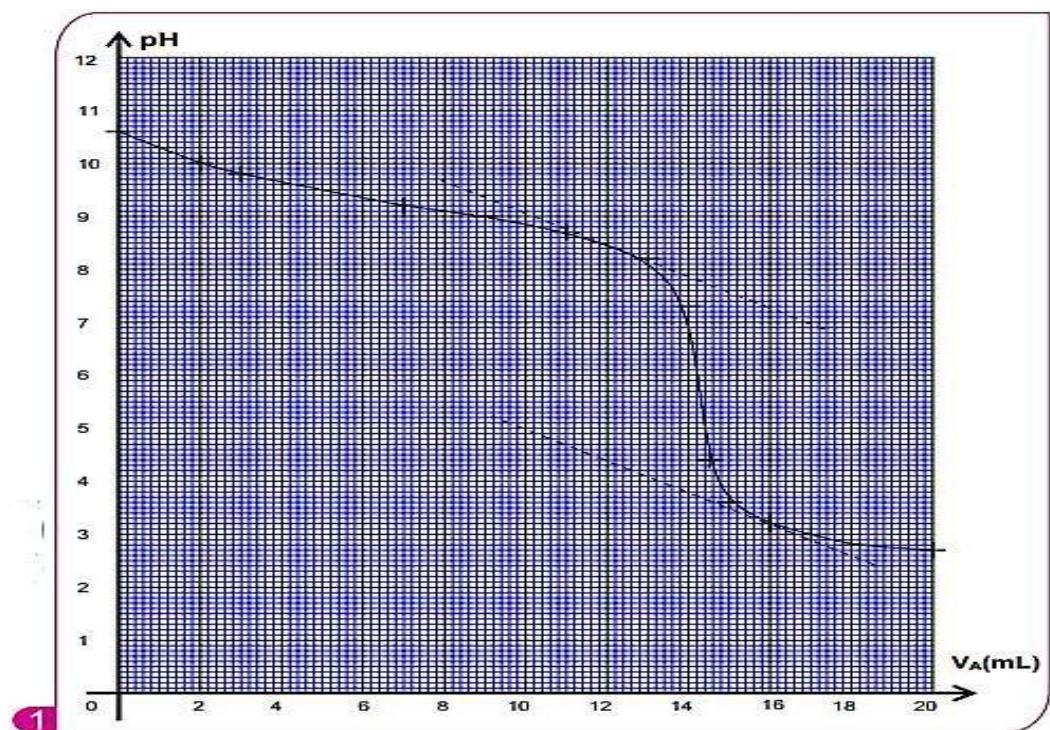
Pour déterminer la concentration C_B d'une solution commerciale concentrée d'ammoniac, on procède par dosage acido – basique. On prépare par dilution une solution S de concentration $C' = \frac{C_B}{1000}$

On réalise le dosage pH- métrique d'un volume $V = 20 \text{ mL}$ de la solution S à l'aide d'une solution S_A d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}_{(aq)}^+$ + $\text{Cl}_{(aq)}^-$) de concentration $C_A = 0,015 \text{ mol.L}^{-1}$.

On mesure le pH du mélange après chaque addition d'un volume d'acide ; Les résultats obtenus permettent de tracer la courbe de dosage $pH = (V_A)$ (fig 1). On atteint l'équivalence lorsqu'on ajoute le volume V_{AE} de la solution.

1. Ecrire l'équation de la réaction du dosage.
2. Déterminer le volume V_{AE} . En déduire C' et C_B .
3. Déterminer en justifiant votre réponse l'indicateur coloré convenable pour effectuer ce dosage en l'absence du ph-mètre.
4. Déterminer le volume V_{A1} de la solution d'acide chlorhydrique qu'il faut ajouter pour que la relation $[\text{NH}_4^+] = 15 \cdot [\text{NH}_3]$ soit vérifiée dans le mélange réactionnel.
5. En utilisant la valeur du **pH** correspondant à l'addition de **5 mL** d'acide chlorhydrique , calculer le taux d'avancement final de la réaction du dosage (pouvez d'utiliser le tableau d'avancement) . Conclure.

L'indicateur coloré	Zone de virage
phénolphthaleïne	8,2 - 10
Rouge de chlorophénol	5,2 - 6,8
Hélianthine	3,1 - 4,4



*****CORRECTION*****

