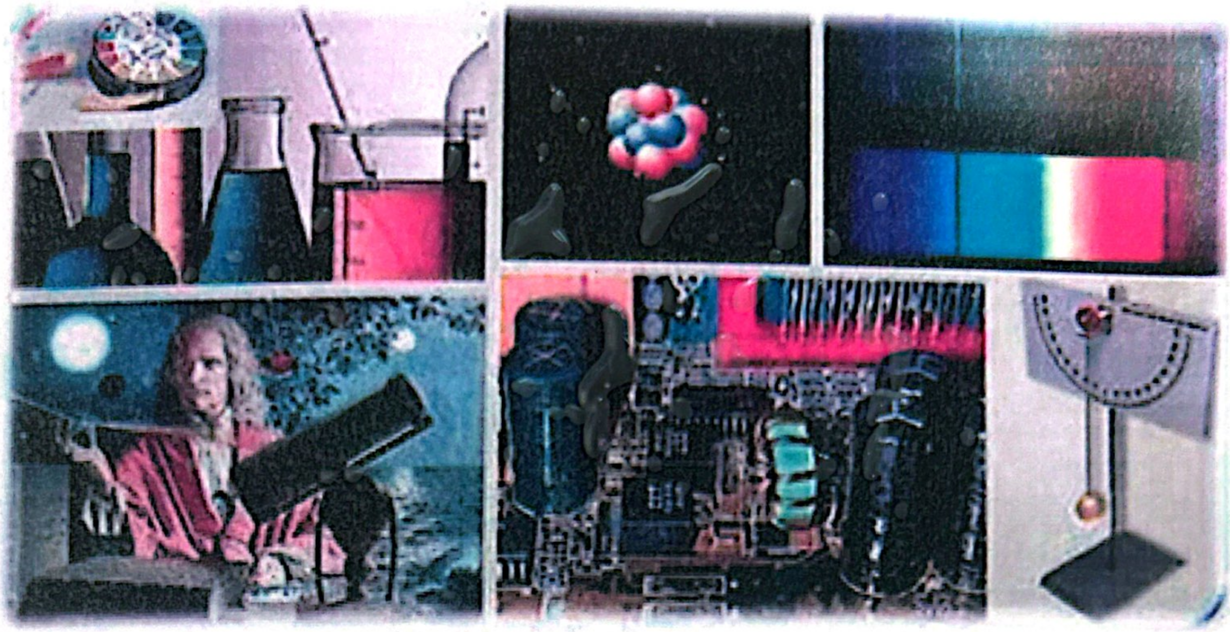


CAHIER D'ELEVE
2 BAC BIOF
COURS - ACTIVITES - EXERCICES
PHYSIQUE-CHIMIE

Semestre 2

Réalisé par :

Le Professeur Nidal NACEIRI MRABTI

EDITIONS ABOUDA PRINT

CAHIER D'ELEVE

BAC BIOF

COURS – ACTIVITES – EXERCICES

PHYSIQUE - CHIMIE

SEMESTRE 2

EDITION: EDITION ABOUDA PRINT

FEVRIER 2024

DEPOT LEGAL:2024MO0325

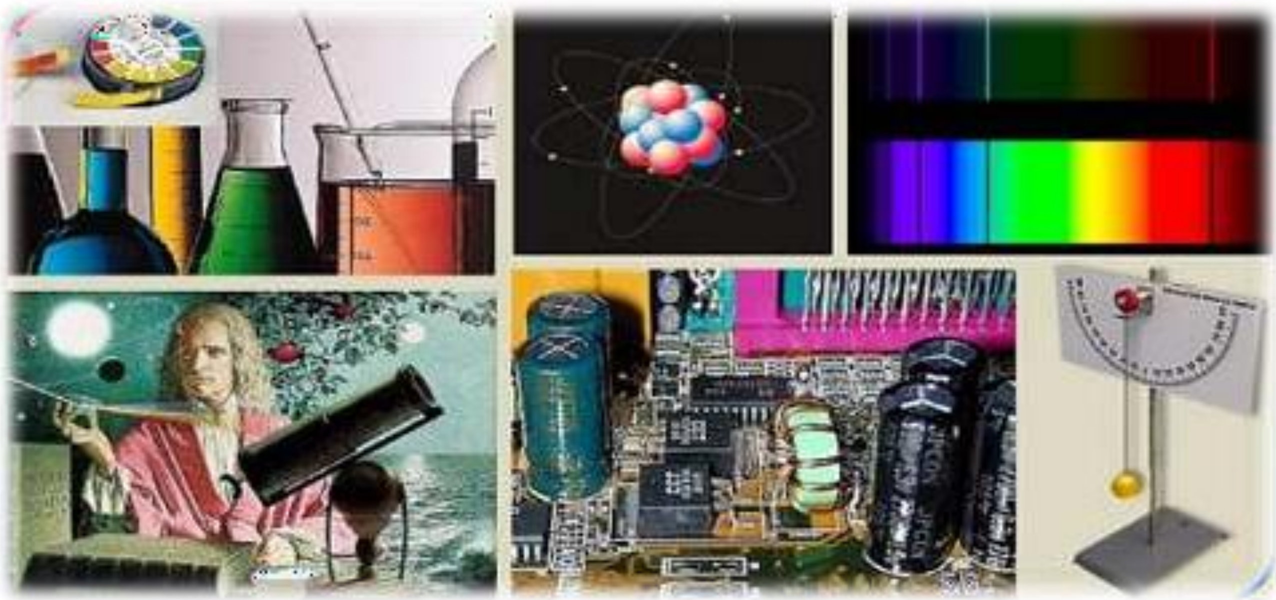
ISBN :978-9920-31-057-4

المملكة المغربية
ⵜⴰⴳⵍⴷⵉⵜ ⵏ ⵍⵎⵖⵔⵉⴱ

وزارة التربية الوطنية
والتعليم الأولي
والرياضة

CAHIER D'ELEVE
2 BAC BIOF
COURS - ACTIVITES – EXERCICES
PHYSIQUE-CHIMIE

TOM 2



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 :

ELECTRICITE

MECANIQUE

JE SUIS RECONNAISSANT A TOUS CEUX QUI M'ONT DIT NON. C'EST A GRACE A EUX QUE JE SUIS MOI-MEME.

Albert Einstein

Cours N°PE 4: *Les oscillations forcées dans un circuit RLC série:*

Introduction : **On a vu précédemment que le circuit (R,L,C) en série forme un oscillateur électrique amorti. Lorsqu'on ajoute , en série , un générateur électrique au circuit qui l'alimente d'une tension alternative sinusoïdale , c'est à dire qu'il impose un régime alternatif sinusoïdal à l'oscillateur ; on obtient un régime sinusoïdal forcé .**

Qu'est-ce que un régime sinusoïdal forcé ? Quelles sont les grandeurs qui le caractérise ? et comment le réalise-t-on ?

I. Le régime alternatif sinusoïdal

1- Intensité du courant alternatif sinusoïdal

L'intensité du courant alternatif sinusoïdal est une fonction du temps qui s'écrit sous la forme suivante :

....

I_m : L'amplitude ou l'intensité maximale du courant, son unité dans S.I est ampère (A)

ω : La pulsation du courant .... Son unité est ....

φ_i : La phase à l'origine des temps (t=0) et on la détermine à partir des conditions initiales.

❖ Intensité efficace du courant I :

On note l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal par I et on l'exprime par la relation suivante :

L'ampèremètre indique la valeur de l'intensité efficace.

....

2-La tension alternative sinusoïdale

La tension alternative sinusoïdale est une fonction du temps, qui s'écrit sous la forme suivante :

....

U_m : L'amplitude de **u(t)** ou la tension maximale de **u(t)** son unité dans SI est le volts (V).

ω : La pulsation de **u(t)** , son unité est rad/s,

φ_u **:** La phase à l'origine des temps (t=0) et on la détermine à partir des conditions initiales.

❖ La tension efficace U :

On note **la tension efficace** d'une tension alternative sinusoïdale par U et on l'exprime par la relation suivante :

Le voltmètre indique la valeur efficace de la tension.

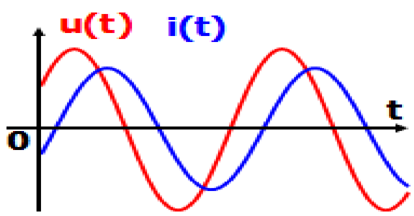
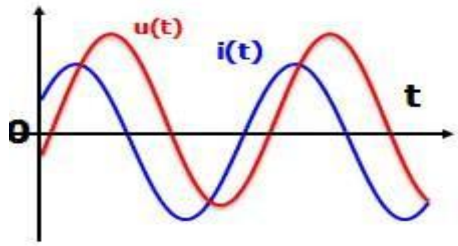
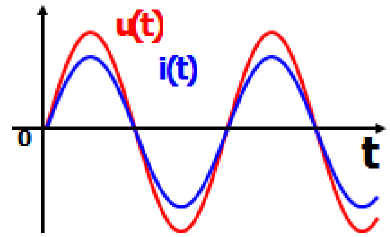
....

3-Notion de la phase

On considère deux grandeurs alternatives sinusoïdales :

$u(t)$ = ... et $i(t)$ = ...

On appelle **la phase** de $u(t)$ par rapport à $i(t)$: ....

Si	Si	Si ....
on dit que.....................................	**on dit que**.................................	**on dit que**................................ ....
		

La valeur absolue de la phase $\varphi_{u/i}$: ....

4) Comment déterminer le déphasage φ ?

En considérant les conditions initiales

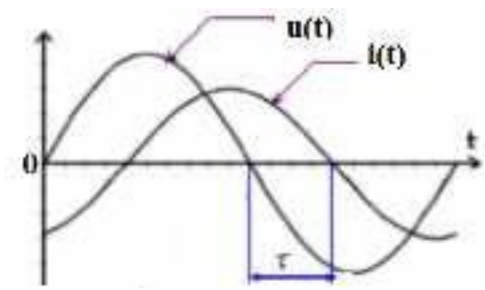
....

....

....

....

Le retard temporel (ou le décalage horaire) $\tau = \frac{\varphi}{\omega}$ entre les deux courbes $i(t)$ et $u(t)$ correspond au déphasage φ entre $i(t)$ et $u(t)$



La détermination de τ sur l'écran de l'oscilloscope permet de connaitre la valeur absolue de déphasage

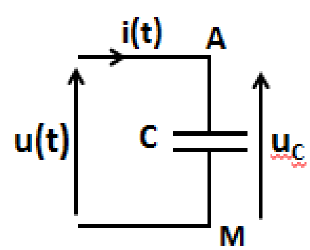
....

....

Application 1 :

1. Déterminer l'expression de l'intensité du courant alternatif sinusoïdal qui traverse un condensateur de capacité C, sachant que la tension appliquée à ces bornes est :
2. Déduire l'expression du courant efficace.
3. Déduire le déphasage $\varphi_{u/i}$

$$u(t) = U_C.\sqrt{2}.\cos(\omega.t)$$



....

....

....

....

....

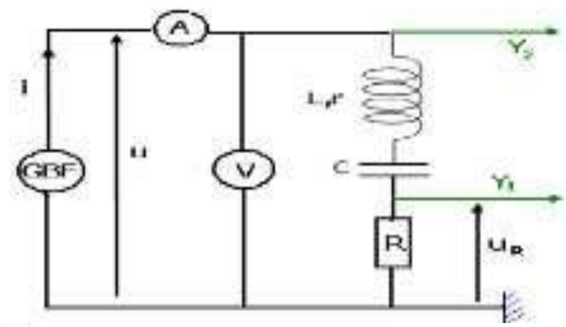
....

....

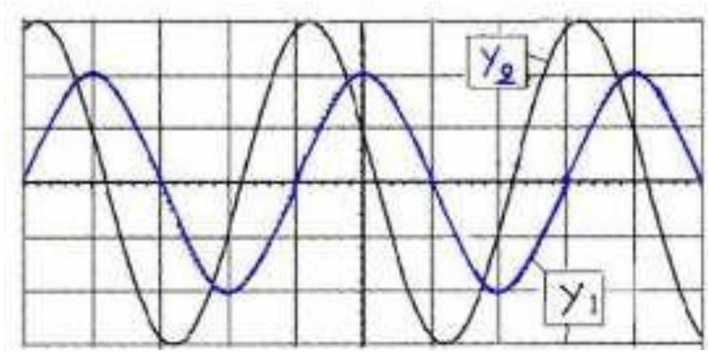
II- Étude expérimentale du circuit (R,L,C) série en régime - alternatif sinusoïdal

1. Montage expérimentale : activité

On réalise le montage électrique ci-contre . Le générateur GBF délivre au circuit (R,L,C) en série une tension alternative sinusoïdale : $u(t) = U_m\,(cos\,\boldsymbol{\omega} t + \boldsymbol{\varphi}_{u/i})$. Il apparaît dans le circuit un courant électrique d'intensité $i(t) = I_m cos(\boldsymbol{\omega} t)$.



On visualise sur l'écran de l'oscilloscope dans l'entrée **Y₂** la tension u(t) entre les bornes de RLC et dans l'entrée **Y₁** la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique .On obtient l'oscillogramme de la figure suivante:



$R = 100\Omega$

Sensibilité verticale de l'entrée Y_1 : 2V/div

Sensibilité verticale de l'entrée Y_2 : 1V/div

balayage horizontal : 1ms/div

On obtient des oscillations forcées car le générateur GBF impose sur circuit RLC sa fréquence et il l'oblige d'osciller avec cette fréquence c'est le régime d'oscillations forcées (voir la courbe ci-dessus).Le générateur GBF s'appelle **excitateur** alors que le circuit RLC s'appelle **résonateur.**

1- **Que représente la courbe visualisée dans l'entrée Y_1 et celle visualisée dans Y_2.**

....

....

2- **Déterminer la période T et la pulsation ω.**

....

....

3- **Déterminer la valeur de l'intensité maximale I_m du courant électrique qui traverse le circuit puis donner l'expression de l'intensité instantanée $i(t)$.**

....

....

....

4- **Déterminer la valeur de la tension maximale U_m entre les bornes du dipole RLC.**

....

5- **Déterminer la valeur la valeur absolue du déphasage entre la tension et le courant puis déterminer son signe et en déduire l'expression de la tension instantanée de la tension aux bornes de RLC.**

....

....

....

2- Impédance d'un circuit RLC .

On garde dans le montage précédent la fréquence constante et on mesure la variation de **la tension efficace** en fonction **de l'intensité efficace**.

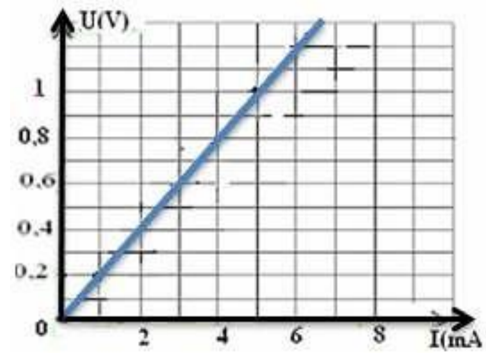


Tableau des mesures:

U(V)	0	0,4	0,8	1,2	1,6
I(mA)	0	2	4	6	8

....

....

....

Remaque :.. ....

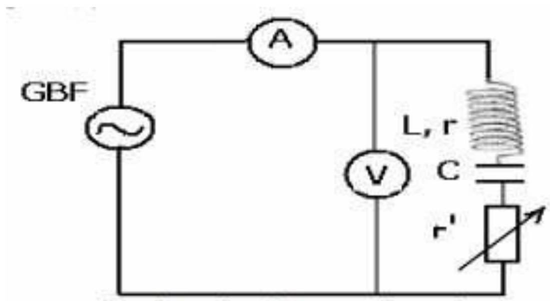
....

L'impédance du circuit RLC est:

....

III-Phénomène de résonance:

1)Etude expérimental:



On réalise le montage suivant dans lequel la fréquence du générateur GBF est variable ainsi que la résistance r' , l'inductance de la bobine est $L = 1,1H$ .La capacité du condensateur est $C = 0,9\mu F$

On garde la tension efficace constante $U = 2V$.

On mesure la variation de l'intensité efficace dans le circuit avec la variation de la fréquence puis on change la valeur de la résistance totale du circuit.

Tableau des mesures:

N(Hz)	100	120	130	140	150	155	158	160	166	170	180	200
$R = 40\,\Omega$: I(mA)	2	3,12	4,37	6,25	11,25	16,6	22,5	25	23,12	16	9,37	5,37
$R = 100\,\Omega$: I(mA)	2	3,75	4,37	6,25	10	12,5	14,5	14,75	14,5	12,5	8,21	4,75

Remarque

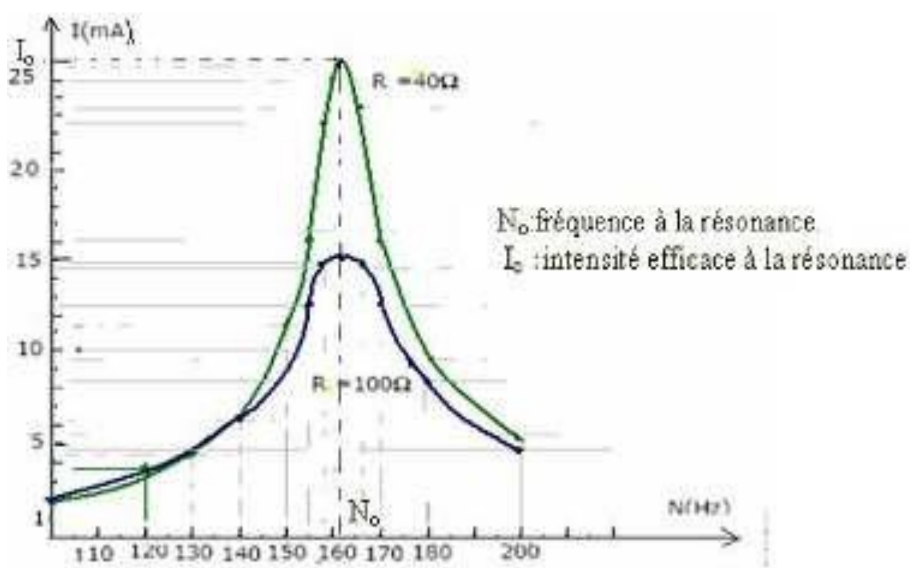
-A **la résonance l'intensité efficace** est **maximale** dans le circuit.

- Si **la résistance** du circuit est **faible**,

  la résonance est aigue.

- Si **la résistance** du circuit est **grande**,

  la résonance est floue.



2) Grandeurs caractérisant la résonance:

2-1 La fréquence à la résonance:

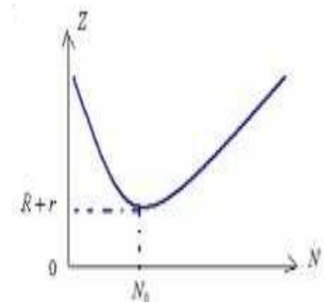
A la résonance la fréquence du générateur (**excitateur**) est égale à la fréquence propre du circuit : ....

2-2 impédance du circuit à la résonance:

A la résonance I est maximale donc l'impédance **Z est minimale,** elle égale à la résistance totale du circuit RLC

Donc **à la résonance** : … … … … … … … … … … … … … … … … … …

On donne l'allure de la courbe qui représente la variation de Z en fonction de N:

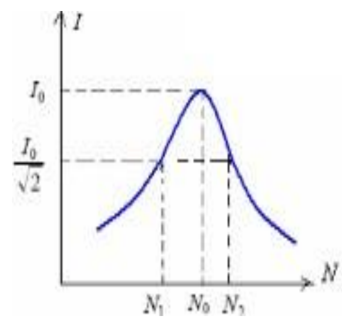


Remarque : **L'intensité efficace** du courant **à la résonance** est : . ...

Déphasage à la résonance :..

1-1 Largeur de la bande passante à -3décibels:

On appelle bande passante à -3 décibels d'un circuit RLC l'intervalle de fréquence $[N_2 , N_1]$ du générateur pour (**I**: est l'intensité maximale efficace à la résonance) lequel l'intensité efficace du courant $I \geq \frac{I0}{\sqrt{2}}$.



La **largeur de la bande** passante est : … … … … … … … … … … … …

1-2 Le facteur de qualité:

Le **facteur de qualité Q** est le rapport la **fréquence propre** à la largeur de la bande passante.

Le facteur de qualité est un nombre sans unité.

$\boldsymbol{Q} =$ … . … … … …

IV-La puissance en régime alternatif sinusoidal:

1) Puissance instantanée:

On considère un dipôle **AB** dans lequel passe un courant électrique : $i(t) = I.\sqrt{2}.\cos(\boldsymbol{\omega} t)$)et aux bornes duquel est appliquée une tension $u(t) = U.\sqrt{2}.\cos(\boldsymbol{\omega} t + \boldsymbol{\varphi})$.

La puissance électrique instantanée est : $P(t) = u(t)i(t) = 2UI\ cos(\boldsymbol{\omega} t +)\ cos\ \boldsymbol{\omega} t$

en appliquant la relation $cos\ a\ cos\ b = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)$ elle devient

$$\boxed{\boldsymbol{P(t) = UI[\cos(\omega t) + cos(2\omega t + \varphi)]}}$$

2) Puissance moyenne:

L'énergie électrique E reçue par un dipôle au cours d'une période **T** est : $P = \frac{dE}{dt} \Rightarrow dE = P.dt$

....

....

....

La puissance moyenne est : $P_m = \frac{E}{T}$ $\Rightarrow$ ....

Avec $\cos(\varphi)$ représente le facteur de puissance de puissance.

Remarque : La puissance moyenne se dissipe au niveau du circuit par effet joule : $P_m = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

Série d'exercices : Oscillations forcées dans un circuit RLC série

Exercice 1 On monte en série le conducteur ohmique(D) , la bobine (B) et le condensateur (C).On applique entre les bornes du dipôle obtenu une tension sinusoïdale

$u(t) = 20\sqrt{2}\,(2\pi N t)$ en Volt. On garde la tension efficace de la tension u(t) constante et on fait varier la fréquence N. On mesure l'intensité efficace I du courant pour chaque valeur de N. On visualise à l'aide d'un dispositif approprié l'évolution de l'intensité I en fonction de N ,on obtient ;alors les deux courbes (a) et (b) représentées dans la figure (3) pour deux valeurs R_1 et R_2 de la résistance R ; $(R_2 > R_1)$

A partir du graphe de la **figure (1)** .

3.1- Déterminer la valeur de la résistance R_1

3.2- Calculer le coefficient de qualité Q du circuit dans le cas où $R = R_2$

Exercice 2 On monte en série, avec le condensateur précédent et la bobine précédente, un conducteur ohmique (D) de résistance R réglable et un générateur de basse fréquence GBF. Le générateur applique une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace U variable et de fréquence N variable également (**figure 1**),

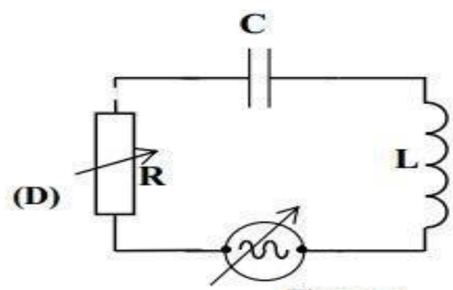


Figure 1

La courbe (a), sur la **figure 2**, représente la variation de l'intensité efficace I du courant parcouru dans le circuit en fonction de la fréquence N quand la tension efficace du générateur est réglée sur la valeur $U_1 = 10V$, et la courbe (b) sur la **figure 5** représente les variations de I en fonction de N et ce, quand on change la valeur de l'une des deux grandeurs R ou U .

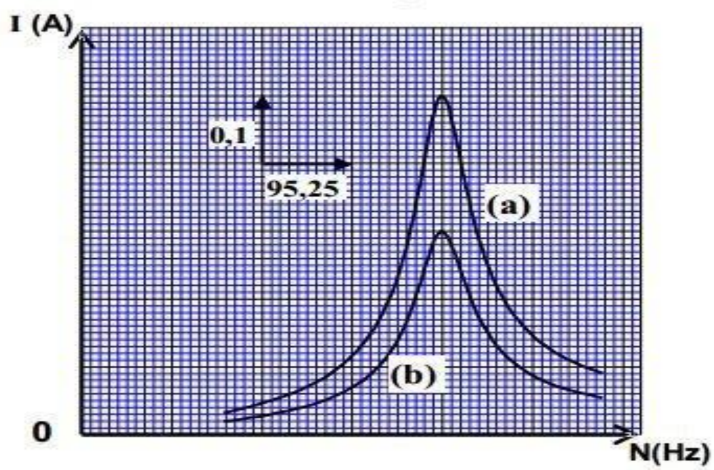


Figure 2

1- Calculer la valeur de la résistance R du conducteur ohmique (D) correspondante à la courbe (a).

2- Trouver l'expression de l'impédance Z du dipôle RLC en fonction de R quand la valeur de l'intensité efficace du courant vaut $I = \frac{I0}{\sqrt{2}}$ avec I_0 l' intensité efficace du courant à la résonance.

3- Calculer le facteur de qualité du circuit pour chacune des deux courbes.

4- Indiquer parmi les deux grandeurs R et U, celui qui a été modifié pour obtenir la courbe (b). Justifier la réponse.

Exercice 3

On réalise le montage schématisé sur la figure 3 comportant :

-un générateur de basse fréquence (GBF) ,

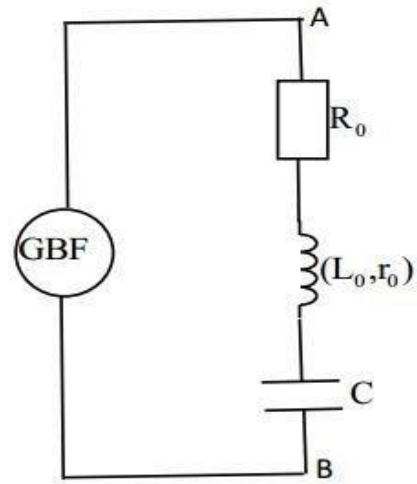
-une bobine d'inductance L_0 et de résistance r_0 ,

-le conducteur ohmique de résistance $R_0 = 30\,\Omega$,

-le condensateur de capacité $C = 2,5\,\mu F$.

Le générateur délivre une tension alternative sinusoïdale $u(t)=U_m\cos(2\pi Nt)$ de fréquence N réglable. Un courant d'intensité $i(t)=I_m\cos(2\pi Nt+\varphi)$ circule alors dans le circuit.

On fait varier la fréquence N de la tension $u(t)$ en gardant sa tension maximale U_m constante. L'étude expérimentale a permis de tracer les deux courbes représentées sur les figures **1** et **2** où Z est l'impédance du circuit et I_m est l'intensité maximale du courant.



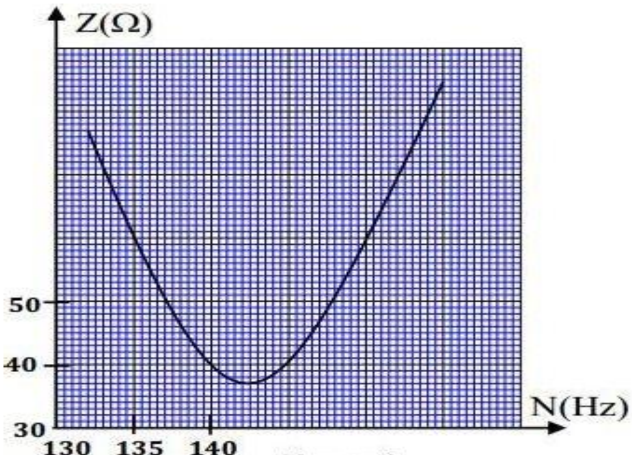


Figure 1

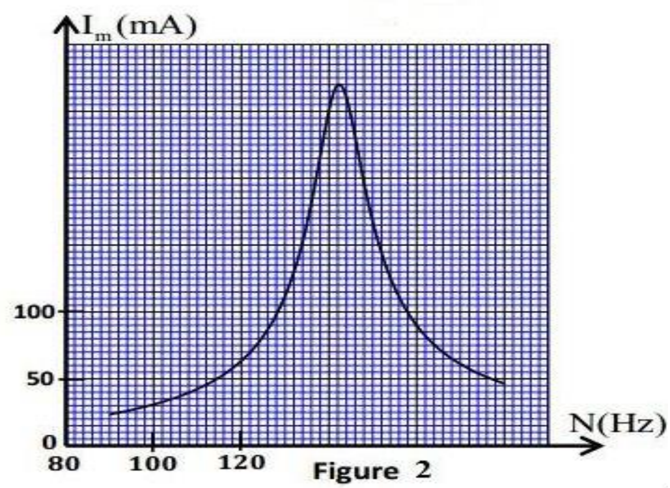


Figure 2

1-Choisir l'affirmation juste parmi les propositions suivantes :

a-Le générateur (GBF) joue le rôle du résonateur.

b-Les oscillations du circuit sont libres.

c- φ représente le coefficient de puissance.

d-L'expression du coefficient de qualité est $Q = \dfrac{N_0}{\Delta N}$.

2-Déterminer la valeur de U_m , de L_0 et celle de r_0 .

3- Déterminer la valeur de la puissance électrique moyenne consommée dans le circuit à la résonance.

******************************CORRECTION**************************

....

....

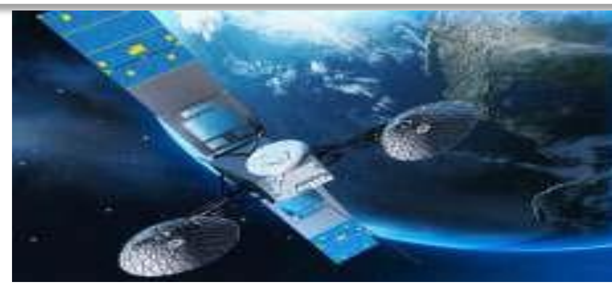
....

....

....

....

Cours N°PE 5 : Ondes électromagnétiques - Transmission d'information



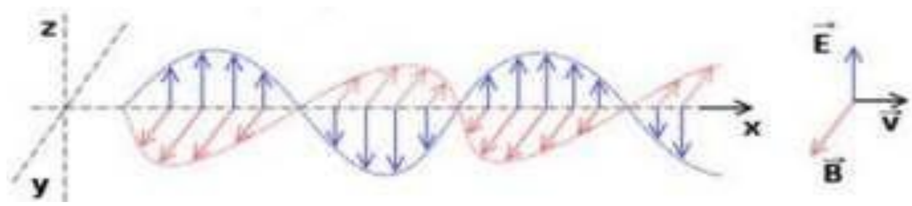
Introduction **La transmission des informations par le biais de satellites artificiels se fait à l'aide des ondes électromagnétiques de très hautes fréquences. Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ? Comment est-elle exploitée pour transporter des informations ?**

I- Les caractéristiques ondes électromagnétiques :

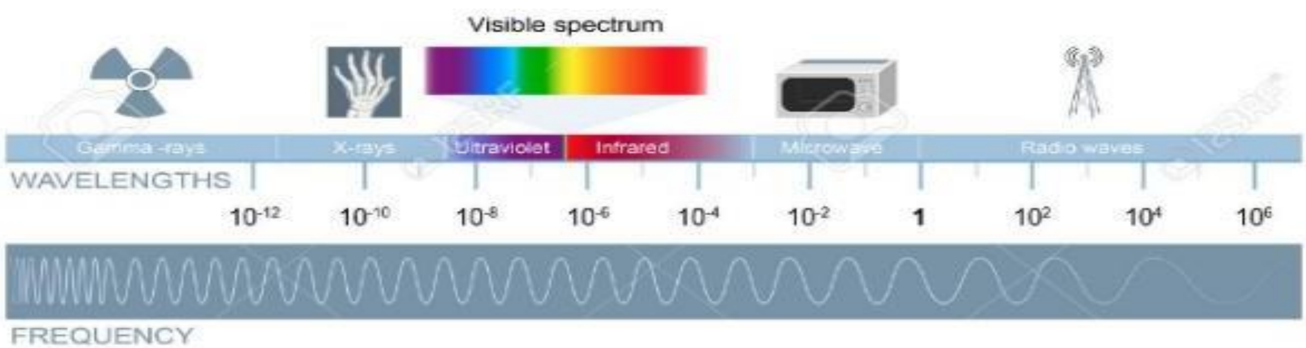
Les ondes électromagnétiques sont constituées de champ électrique $\vec{E}$ et champ magnétique $\vec{B}$. Elles se propagent dans toutes les directions dans un milieu homogène et isolant, y compris le vide. Leur vitesse de propagation dans le vide, appelée célérité vaut : $\mathbf{c = 3{,}0.10^8\ m.s^{-1}}$. Elles sont caractérisées par leur fréquence **f** .

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f}$$

λ : longueur d'onde en (**m**) ; **T** : période en (s), et **f** : fréquence en **Hz**



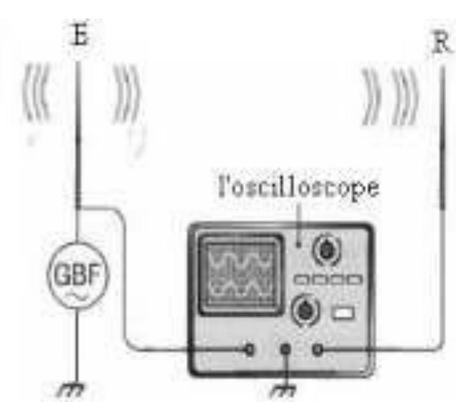
Les domaines des ondes électromagnétiques



II -Utilisation des ondes électromagnétique:

1- Emission-réception d'une onde électromagnétique :

Dans le montage suivant **E** et **R** sont deux fils électriques conducteurs qui jouent le rôle d'émetteur et de récepteur. On visualise sur l'entrée Y_A de l'oscilloscope un signal sinusoïdal émis par le générateur GBF et on obtient sur l'entrée Y_B un signal reçu par le récepteur R.



Observation

L'expérience montre que **le signal reçu** par le récepteur R qui la même fréquence et la même forme que le signal émis par **E**.

L'antenne émettrice **E** émet une onde électromagnétique de même fréquence que le signal électrique du circuit .Cette onde se propage dans tout l'espace et provoque dans l'antenne réceptrice R un signal de même fréquence.

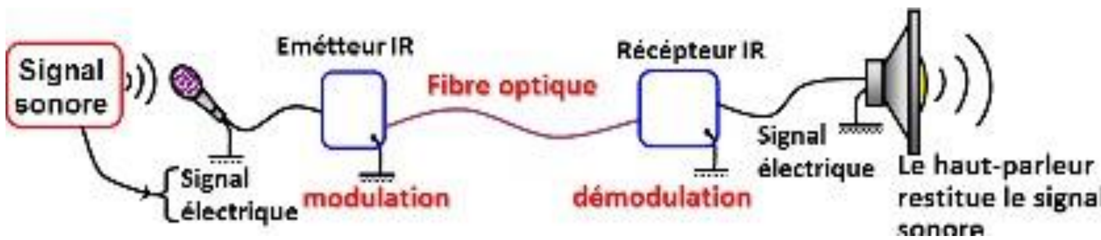
Conclusion

L'onde électromagnétique peut transporter **le signal** qui contient l'information à des grandes distances sans aucun **transport de matière** et avec une vitesse égale à la **célérité de lumière dans le vide**.

2- Transmission d'une information par une onde lumineuse

Comment transmettre un signal sonore par une onde lumineuse ?.

On capte le **signal sonore émis** par un microphone qui le transforme en **signal électrique** qui est transporté par un faisceau lumineux dans une fibre optique. Un hautparleur restitue le signal sonore à partir du **signal électrique reçu**.



- Le signal sonore représente l'information ou le **signal modulant**.
- Le faisceau lumineux est **la porteuse**, c'est-à-dire support qui transporte le signal électrique.

❖ **Principe de transmission d'une information par une onde électomagnétique.**

Pour transmettre **une information (images, vidéos, audio .... etc)**, on a besoin d'une **onde porteuse** de haute fréquence **HF** , **la porteuse** est une onde qui se modifie par le signal qu'on veut transmettre. On dit qu'elle **est modulée** et le signal transmis est un **signal modulant** de basse fréquence **BF** .Cette opération **s'appelle la modulation**. **À la réception**, il faut séparer le signal modulant (:l'information) de l'onde porteuse, cette opération **s'appelle la démodulation.**

2- Pourquoi doit -t'on faire la modulation ?

Activité 2 **:Pour capter un signal de réception, on utilise en générale des antennes de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde du signal de réception** $l = \frac{}{2}$

1- **Quelle est la longueur de l'antenne qui peut capter un signal de basse fréquence BF de f = 200 Hz?**

....

....

2- **Quelle est la longueur de l'antenne qui peut capter un signal de haute fréquence HF de 100 MHz?**

....

....

3- **A votre avis, quel est le signal qui est possible à utiliser ?**

....

....

4- **Comment résoudre le problème de la transmission des signaux de basse fréquence BF?**

....

....

Conclusion

Pour **transmettre** **..**, on doit utiliser une technique **s'appelle la** **..................................La modulation** est un processus qui consiste à **transmettre le signal de sa forme original** en **une forme adaptée** au **canal de transmission** en faisant **varier son** **..............................** ou **sa** **............................** ou bien **sa** **................**

3- Modulation d'une tension sinusoïdale :

La tension sinusoïdale est un signal électrique

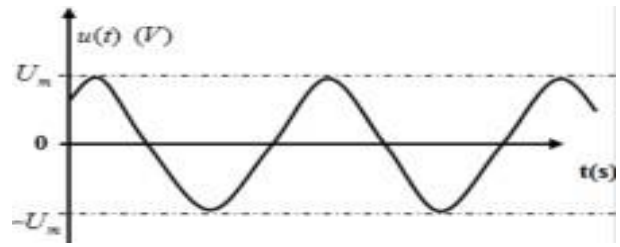
Tension $u(t) = U_m.\cos(2\pi f.t + \varphi)$

Um : amplitude en volts (V)

f : fréquence en hertz (Hz)

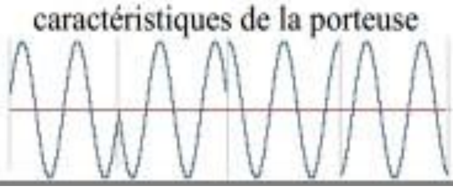
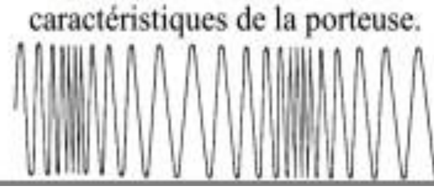
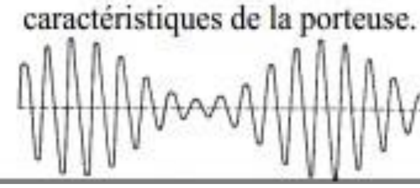
t : temps en seconde (s)

φ : phase à l'origine en radian (rad)

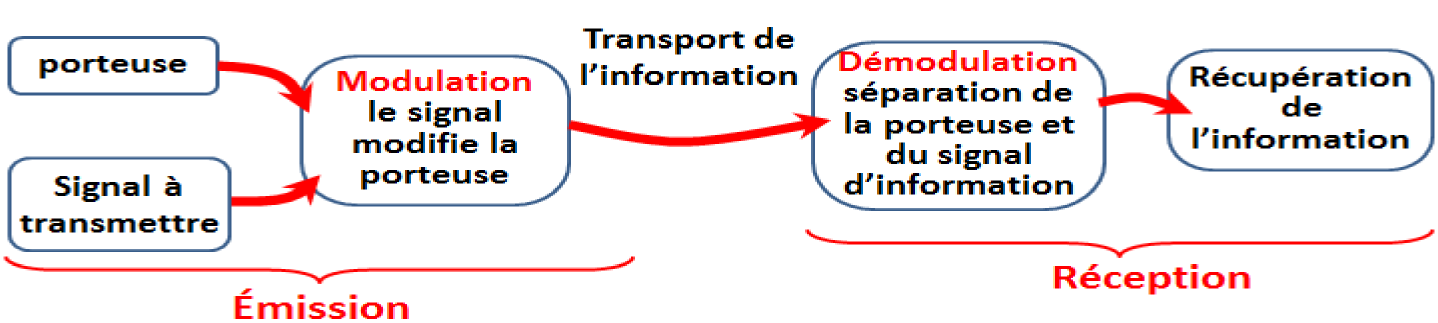


4- Les différents types de modulations :

On peut moduler une onde porteuse, $u(t) = U_m.\cos(2\pi f.t + \varphi)$ en modifiant une des caractéristiques : amplitude U_m, fréquence f ou phase à l'origine φ.

Modulation de phase	Modulation de fréquence :	Modulation d'amplitude
La phase φ varie en fonction du signal modulant. $u(t) = U_m.\cos(2\pi f(t).t + \varphi(t))$ f et U_m sont des constantes caractéristiques de la porteuse 	Ici, la fréquence varie en fonction du signal modulant $u(t) = U_m.\cos(2\pi f(t).t + \varphi)$ U_m et φ sont des constantes caractéristiques de la porteuse. 	Dans ce cas, l'amplitude U_m varie en fonction du signal modulant. $u(t) = U_m(t).\cos(2\pi f.t + \varphi)$ f et φ sont des constantes caractéristiques de la porteuse. 

L'organigramme d'émission - réception d'une information



Cours N°PE6 : Modulation et démodulation d'amplitude

Introduction **Le fonctionnement d'un récepteur radio se base dans la réception des émissions radiophoniques sur le principe de la (modulation - démodulation) d'amplitude ou de la (modulation - démodulation) de fréquence. Quel est le principe de la modulation d'amplitude ? Quel est le principe de la démodulation d'amplitude ? Comment exploiter ce dernier pour réaliser un récepteur radio ?**

I- La modulation d'amplitude

1- Principe de la modulation d'amplitude

L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique **s(t)** de basse fréquence BF. Pour le transporter, on utilise une « **onde porteuse** » de haute fréquence HF. **L'amplitude** de l'onde porteuse est modulée par le signal électrique de basse fréquence BF. Ceci est effectué par un **modulateur.**

2- Le modulateur d'amplitude

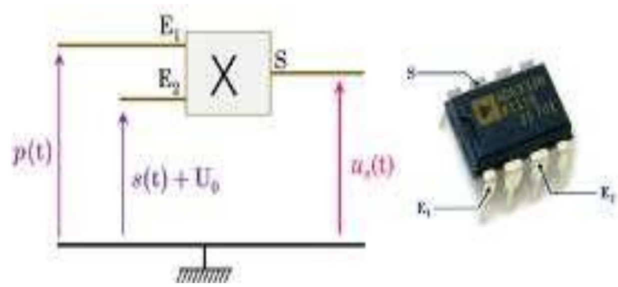
Pour moduler l'amplitude de l'onde porteuse on utilise un multiplieur (symbole : X) qui réalise le produit du signal informatif décalé $[s(t)+U_0]$ par le signal porteur P(t).

La tension de sortie us(t) du multiplieur, modulée en Amplitude s'écrit alors :

$$u_s(t) = \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

avec **k** : constante du multiplieur en (V^{-1})

Circuit intégré AD633

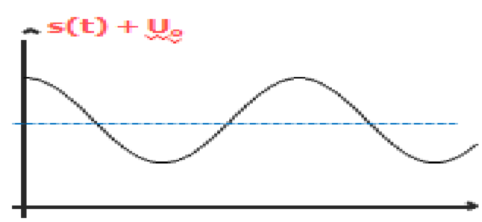


3- Application à la modulation d'amplitude :

On applique une tension $s(t) + U_0$ à l'entrée E_2

-Le signal sinusoïdal contenant l'information à transmettre, signal **modulant** :

$$s(t) = \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$



U_0 : Tension continue de décalage ajoutée à **s(t)** :

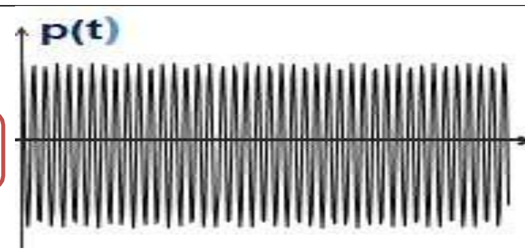
f_0 ou f_s : fréquence de signal modulant.

On applique une tension **p(t)** à l'entrée E_1

Le signal sinusoïdal de **porteur de haute fréquence** :

$$p(t) = \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

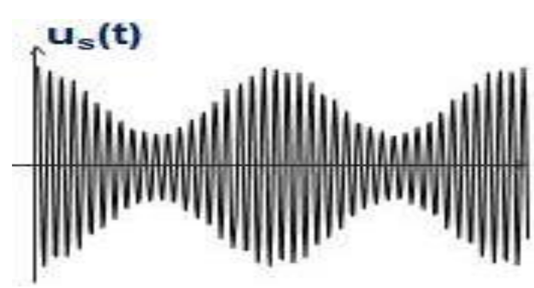
f_p : fréquence de signal porteur



-Le signal porteur est **modulé**, afin que son **amplitude varie** à l'image du signal BF (signal modulant).

À la sortie du multiplicateur, on récupère le signal **modulé** $u_s(t)$ tel que :

$$u_s(t) = \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$



4- Expression de la tension modulée en amplitude

On a : $u_s(t) =$ .... avec **p(t) =** ....

Donc $u_s(t) =$ ....

Une **tension modulée** en amplitude a pour expression générale : **u_s(t) =** ....

Après identification on constate que : **U_m(t) =** ....

d'où $U_m(t) =$ .... avec **a** = ... et **b** =. ....

L'amplitude U_m(t) de la tension modulée est une fonction....................de la tension modulante **s(t)**. Elle en reproduit les variations de s(t) au cours du temps.

4-1- cas de d'une tension modulante sinusoïdale

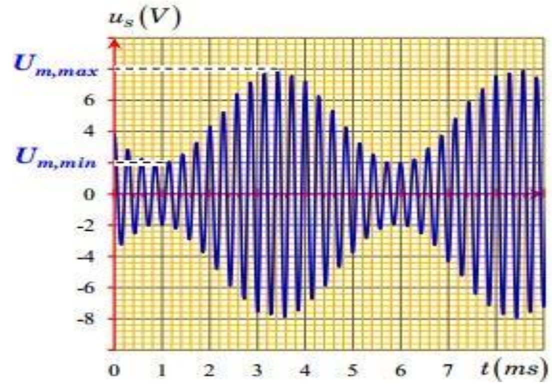
On a $u_s(t) =$ .... = ...

soit **s(t) =** ....

En posant : **A = ...** et $m =$ ………… **appelé taux de........................,**

d'où : $\boxed{u_s(t) \text{...}}$ $\boxed{U_m(t) = \text{...}}$

5- Autre expression de taux de modulation



On peut écrire **u_s(t)** sous la forme **$u_s(t)=U_m(t)\times\cos(2\pi.f_P.t)$**

où $U_m(t)$ est l'amplitude du signal modulé :

$U_m(t) = A . [1 + m \cos(2\pi.f_m.t)]$

- Si **$\cos(2\pi.f_m.t)$** = ... alors **$U_{m\,max}$** = ...
- Si **$\cos(2\pi.f_m.t)$** = ... alors **$U_{m\,min}$** = ...

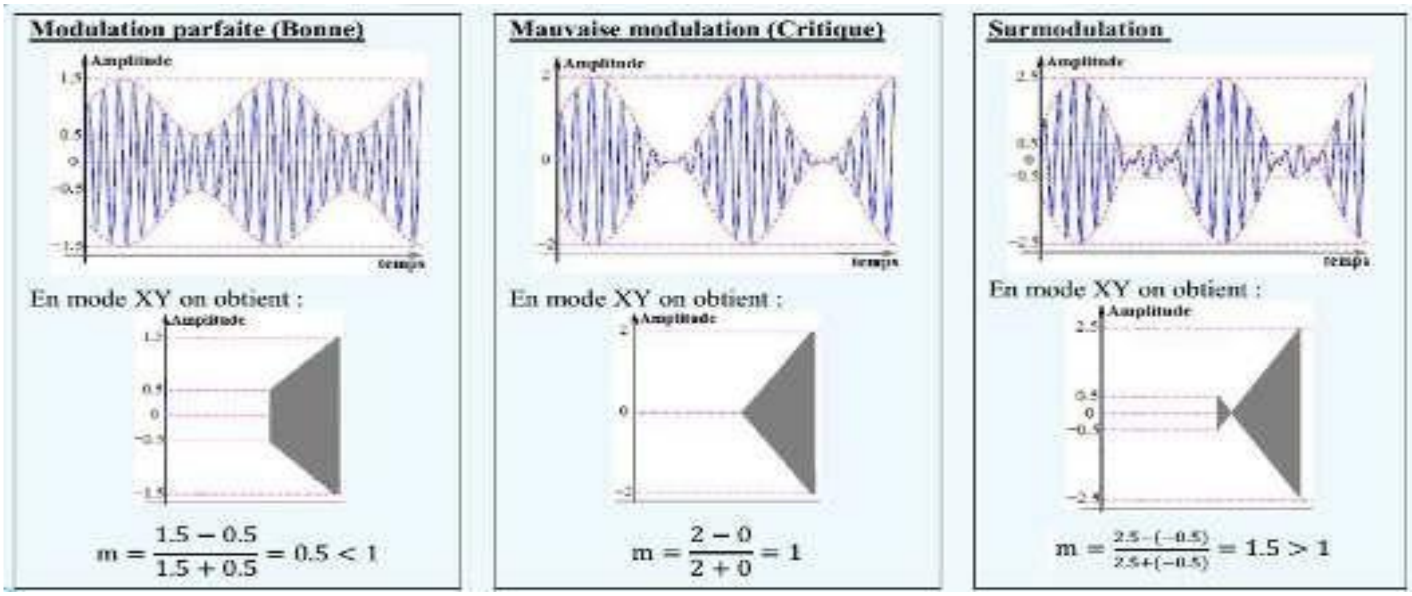
D'où **$U_{m,\,max}$ - $U_{m\,min}$ = ...** et **$U_{m\,,max}$ + $U_{m,\,min}$ = ...**

En faisant **le rapport** des deux dernières égalités, on obtient finalement : $\boxed{m = \text{… … … … … … … ..}}$

6- Qualité de la modulation

Pour obtenir une modulation d'amplitude de bonne qualité il faut que :

- La tension de décalage U_0 doit être plus grande à l'amplitude **S_m** de la tension modulante : **$U_0>S_m$** donc **m<1**.
- La fréquence **F_p** de la tension porteuse doit être supérieure à la fréquence **f_s** de la tension modulante. (**$F_p >> f_s$**).



Application 1

La figure ci-contre représente une tension de signale modulé

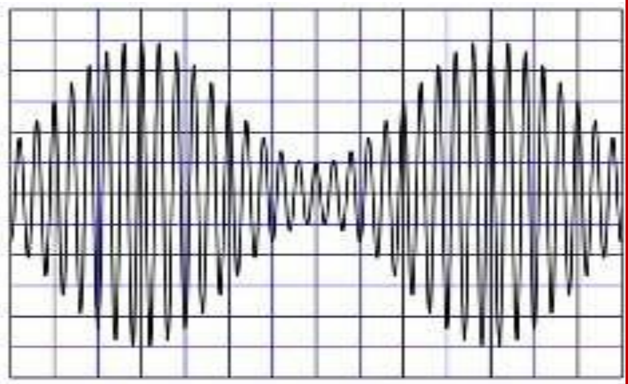
1- Calculer la fréquence de l'onde porteuse F_p et celle de l'onde modulante f_0

....

....

....

2- Calculer le taux de modulation **m**, **et** Déduire la qualité de modulation.



Sensibilité verticale : 1V/div
Sensibilité horizontale : 0,25 ms/div

....

....

....

7) Analyse fréquentielle

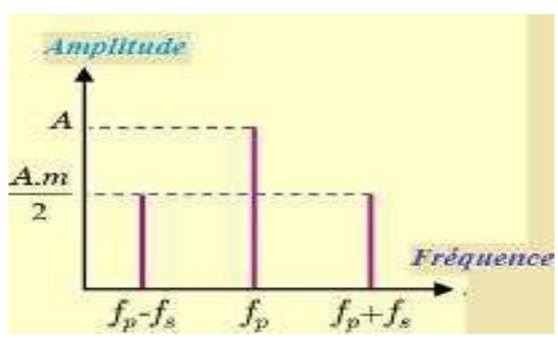
En développant l'expression de la tension modulée : $u_s(t) = \; A[m.\cos(2\pi f_s t) + 1]\cos(2\pi f_p t)$

En utilisant la relation : $\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

On obtient : $u_s(t) = \; A.\cos(2\pi f_p t) + \frac{A.m}{2}\cos(2\pi(f_p + f_s)t) \; + \frac{A.m}{2}\cos(2\pi(f_p - f_s)t)$

L'analyse de spectre modulé montre qu'il contient trois fréquences :

f_p ; $f_p + f_s$; **et** $f_p - f_s$



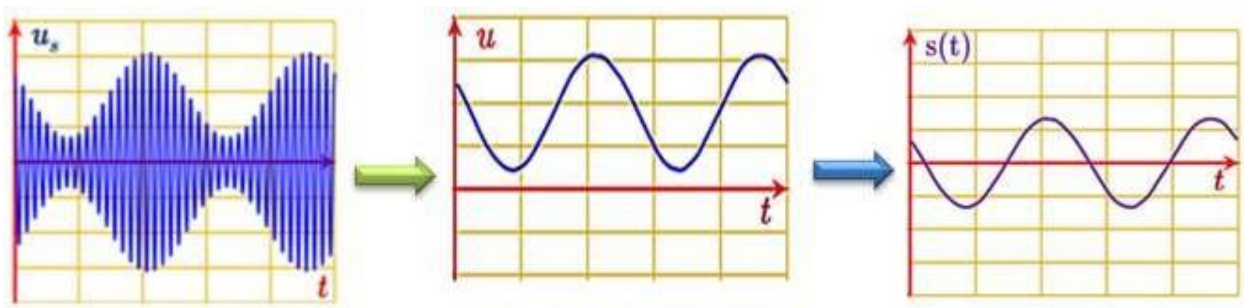
II- Démodulation d'amplitude :

1) Définition

La démodulation consiste à récupérer le **signal informatif** modulant qui est contenu dans la partie supérieure de l'enveloppe du signal modulé en amplitude

Elle s'opère en deux étapes:

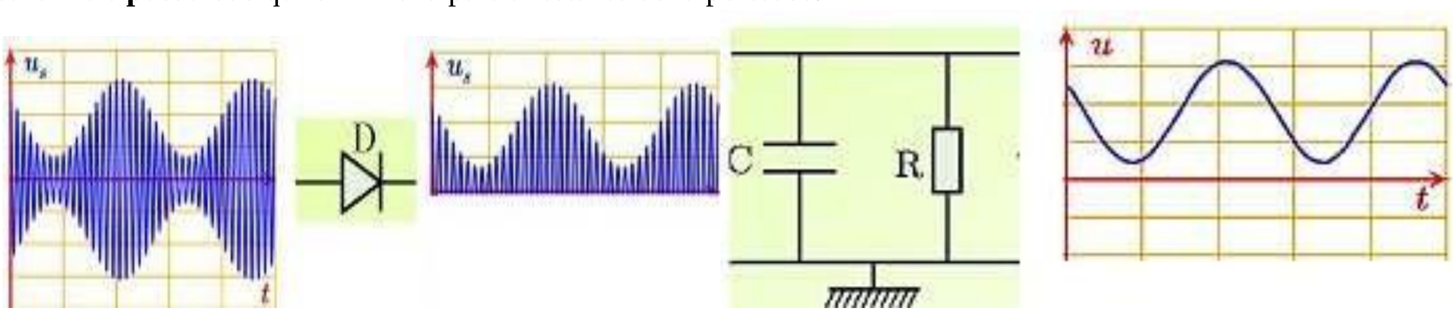
- **La détection d'enveloppe.**
- **L'élimination de la tension continue par filtrage**.



2) Les étapes de démodulation:

1[ère]étape: Suppression des alternances négatives et élimination de l'enveloppe.

Le montage utilisé nommé **détecteur d'enveloppe** est constitué d'une diode qui bloque les alternances négatives et le filtre **passe-bas** qui élimine la partie restante de la porteuse.

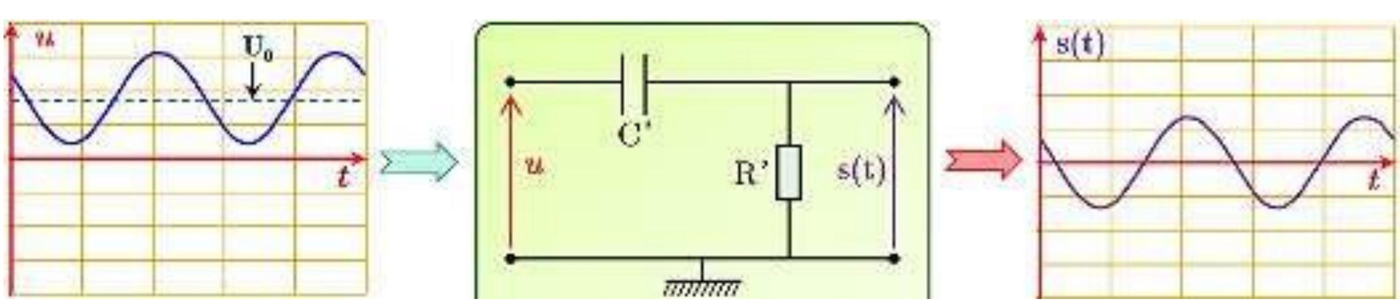


Remarque : Pour obtenir **une bonne détection d'enveloppe** il faut que la constante de temps du dipôle RC vérifie la condition suivante: $T_p \ll RC < T_s$ Avec : **T_s** : La période du signal modulant.

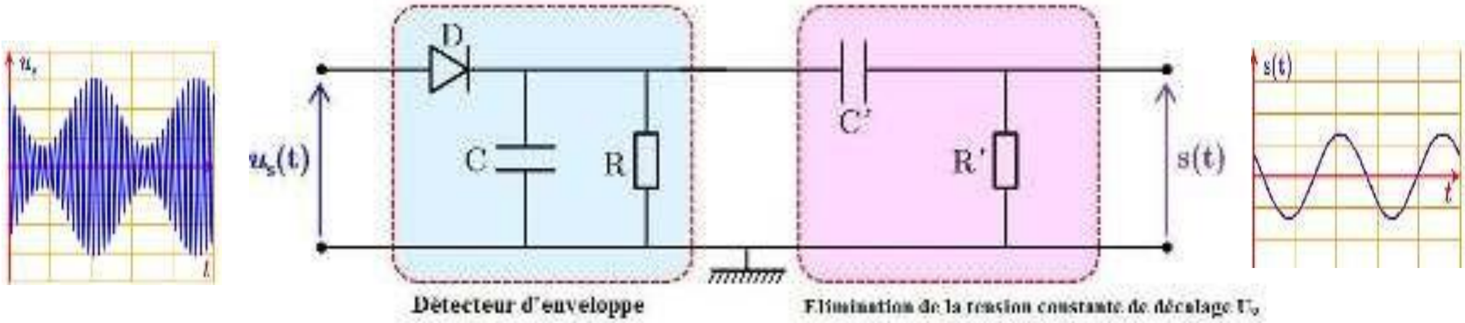
T_p : La période de l'onde porteuse.

2[ème]étape: Elimination de la tension constante de décalage U_0.

Le montage à utiliser comporte un **filtre passe – haut,** c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues.



Le montage final de la démodulation est :

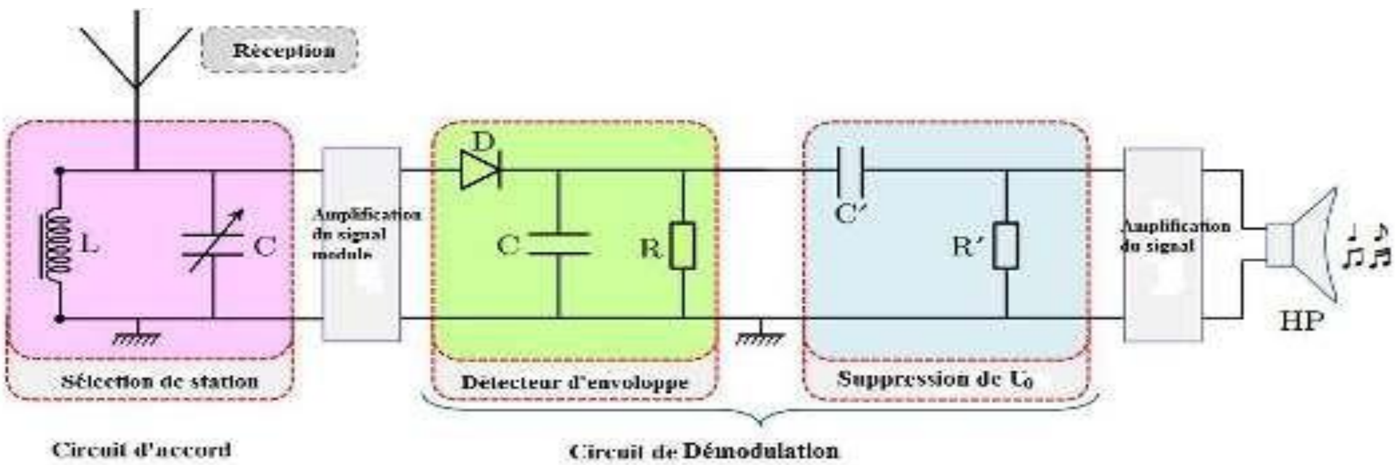


II-Les éléments d'un récepteur radio:

1) Définition

Un modèle de récepteur radio (AM) est représenté par le schéma simplifié ci-dessous dans lequel on distingue 5 parties:

- Une antenne réceptrice d'ondes radio qui capte les ondes électromagnétiques modulées en amplitude.
- Un dipôle LC parallèle qui sélectionne la station souhaitée en fonction de la fréquence de la porteuse.
- Un module d'amplification du signal modulé sélectionné.
- Un circuit démodulateur formé de : 'un dispositif de détection d'enveloppe et de suppression de composante continue.
- Un dispositif d'écoute (haut-parleur).



2- Sélection de la porteuse

Pour sélectionner un signal émet, il faut faire **un accord** entre la fréquence propre $\mathbf{f_0}$ du circuit LC parallèle et la fréquence porteuse $\mathbf{f_p}$ de la station $f_0 = \dfrac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$.

Cette sélection se fait en faisant varier le coefficient d'induction **L** de la bobine ou la capacité **C** du ondensateur

Exercice 1 :

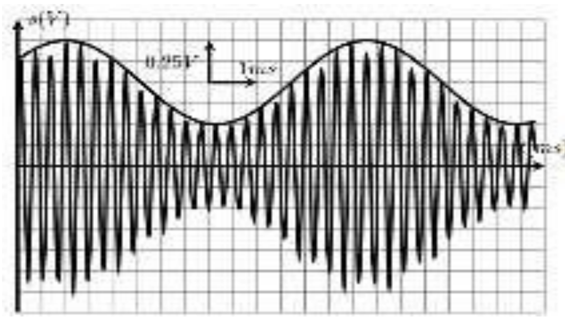
L'expression d'une tension modulée est : $u(t) = 4 \times \left[1 + 0,8cos\left(1,6.10^2.t\right)\right] cos\left(2,5.10^4.t\right)$

1. Cette tension est-elle modulée en amplitude, en fréquence ou en fréquence ?
2. Quelles sont les fréquences de porteuse F_p et du signal modulant f ?
3. En se basant sur l'amplitude de la tension modulé $U_m(t)$. Déterminer la valeur du taux de modulation. Conclusion.

Exercice 2 : Soit une tension modulé en amplitude :

$u_s(t) = A \times [1 + mcos(2.\pi.f.t)] cos(2.\pi.F_p.t)$ avec m le taux de modulation.

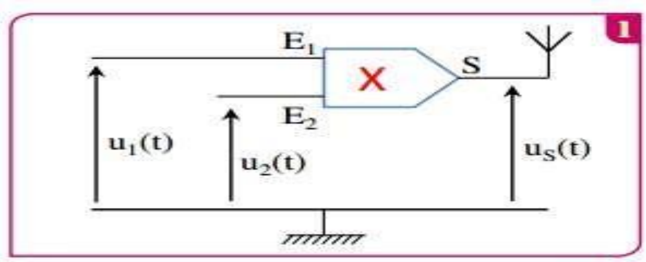
La figure ci-dessous représente les variations de $U_S(t)$ en fonction du temps .

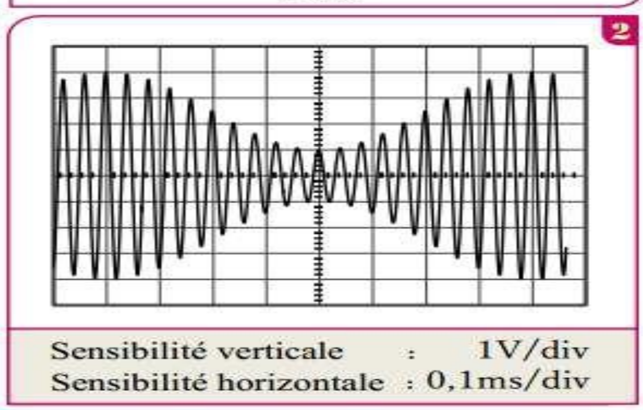


1. Déterminer la fréquence de la porteuse F_p et f la fréquence du signal modulant .
2. Que représente la courbe qui représente les variations des maximums de la tension modulée ?
3. Calculer le taux de modulation ;
4. Rappeler les conditions d'une bonne modulation et vérifier qu'elles sont réalisées ;
5. Déterminer la valeur de la constante A.

Exercice 3 : **I-** Pour étudier **la modulation d'amplitude** et vérifier la qualité de la modulation , au cours d'une séance de TP , le professeur a utilisé avec ses élève ; un circuit intégré multiplieur (X) en appliquant une tension sinusoïdale $u_1(t) = P_m.\ cos(2\pi F_P.\ t)$ à son entrée E_1 et une tension $u_2(t) = U_o + s(t)$ à son entrée E_2, avec U_o la composante continue de la tension et $s(t) = S_m.cos(2\pi f_S.t)$ la tension modulante (**fig 1**).

La courbe de **la figure 2** représente la tension de sortie $u_S(t) = $ k. $u_1(t)$. $u_2(t)$ visualisée par les élèves sur l'écran d'un oscilloscope. k est une constante positive caractérisant le multiplieur X.





1- Montrer en précisant les expressions de A et m , que la tension $u_S(t)$ s'écrit sous la forme

$$u_S(t) = A[\ 1 + m.cos(2\pi f_S t)\ ].cos(2\pi F_P.t)$$

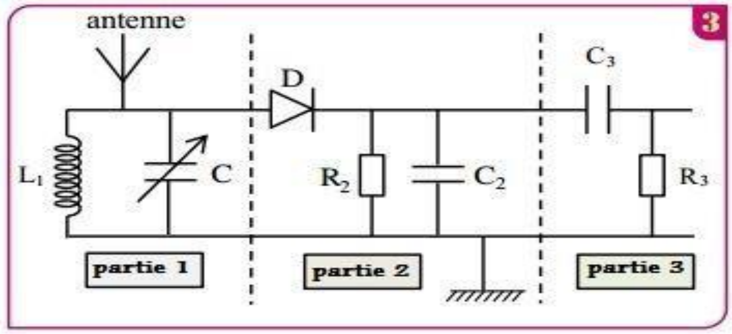
2- En exploitant la courbe de **la figure 2** :

2-1- Trouver la fréquence F_P de la porteuse et f_S la fréquence de la tension modulante.

2-2- Déterminer le taux de modulation et en déduire la qualité de la modulation

II- Démodulation

Pour recevoir une onde radio, modulée en amplitude de fréquence $f_0 = 594kHz$, on utilise le dispositif simplifié représenté par le schéma de **la figure 3**.



Parmi les réponses proposées préciser, sans aucune justification, la réponse juste:

1. La partie 3 du dispositif comporte une antenne et une bobine d'inductance $L_1 = 1,44\ mH$ et de résistance négligeable qui est montée en parallèle avec un condensateur de capacité C variable**.**

1.1. La partie 2 sert à :

■recevoir et sélectionner l'onde ■éliminer la porteuse ■éliminer la composante continue ■moduler l'onde

1.2. Pour capter l'onde radio de la fréquence f_0, la capacité **C** doit être fixée sur la valeur :

■ 499pF ■ 4,99pF ■ 49,9pF ■ 0,499pF

2. La partie 3 joue le rôle du détecteur d'enveloppe. La capacité du condensateur utilisé dans cette partie est $C_2 = 50nF$.

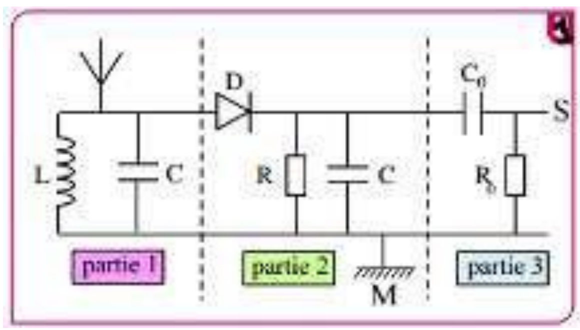
2.1. La dimension du produit R_2C_2 est

■ [L] ■ [T^{-1}] ■ [T] ■ [I]

2.2. La moyenne des fréquences des ondes sonores est 1 kHz. La valeur de la résistance $2R$ qui permet d'avoir une bonne démodulation de l'onde radio étudiée est :

■ 20 kΩ ■ 35 kΩ ■ 5 kΩ ■ 10 kΩ

Exercice 4 : La figure 1 représente le montage utilisé dans un dispositif de réception constitué de trois parties.



1. Préciser le rôle de la partie 3 dans ce montage.
2. Déterminer l'expression du produit LC en fonction de F_p pour que la sélection de l'onde soient bonne.
3. Montrer que l'intervalle auquel doit appartenir la valeur de la résistance R pour une bonne détection de l'enveloppe de la tension modulante dans ce montage est : $4\pi^2 L.\ F_p \ll R < \frac{4\pi^2 L.F_p{}^2}{f_s}$

******************************CORRECTION**************************

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

Introduction **Lors du démarrage, la vitesse d'une voiture de course atteint des centaines de kilomètres au bout de quelques secondes ; le mouvement du véhicule est dit très accéléré. Qu'est-ce que l'accélération ? Quelle relation la relie-t-elle aux forces exercées sur la voiture ? Quelles sont les lois de Newton ?**

I- Notions générales sur le mouvement:

1- Référentiel

Nous savons vu dans l'année précédente, que le mouvement d'un corps est **relatif** au référentiel choisi, c'est-à-dire que les corps ne se déplacent que par rapport à d'autres corps. Donc pour étudier le mouvement d'un corps on doit choisir un **solide de référence fixe** appelé **référentiel** puis **un repère d'espace** et **un repère de temps** liés à ce référentiel.

Remarque:

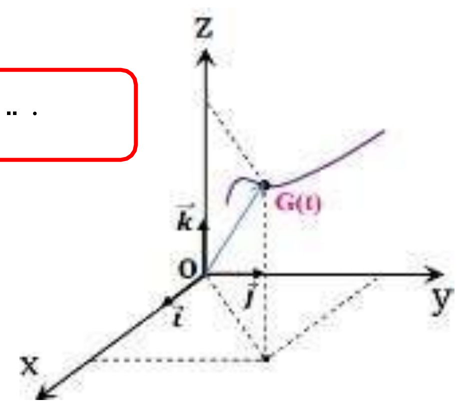
- La plupart des temps, on choisit comme référentiel d'étude le référentiel terrestre. Pour repérer la position d'un corps mobile, on utilise un repère d'espace $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ d'origine **O** et dont les vecteurs unitaires: $\vec{i},\ \vec{j}\ et\ \vec{k}$.
- Pour l'étude du mouvement d'un objet ou d'un ensemble d'objet, on choisira le **centre d'inertie** ou centre de gravité de l'objet.

2- Vecteur de position

Tout objet ponctuel **G** dans l'espace, est repéré par trois coordonnées **x**, **y**, **z**, dans le repère $R(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ associé au référentiel. **On définit alors le vecteur position $\overrightarrow{OG}$ et la distance OG par :**

$\overrightarrow{OG}$ = ...

$OG =$ ....

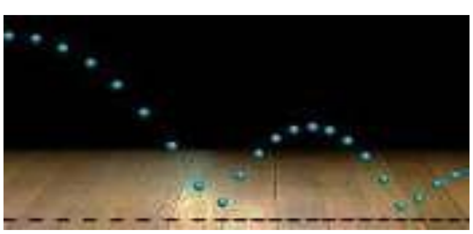


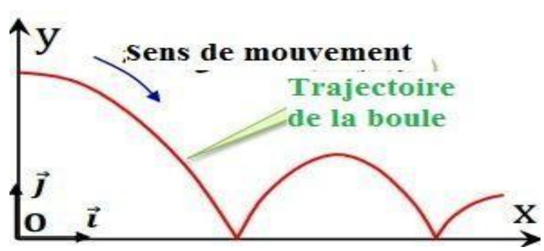
G: Centre d'inertie du corps

Remarque:

- Si le corps est en mouvement, ses coordonnées x, $y\ et\ z$ variant en fonction du temps.
- Les fonctions : $x = x(t)$, $y = y(t)$ et $z = z(t)$ sont appelées les équations horaires du mouvement.
- La courbe décrite par G en fonction du temps est appelée **trajectoire** du point **G.**

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





II- Vecteur vitesse -Vecteur accélération

1- Vecteur-vitesse

On définit le **vecteur vitesse** $\vec{V}_G$ de centre d'inertie d'un solide comme la dérivée du **vecteur de position** en fonction du temps.

....

Les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{V}_G$:

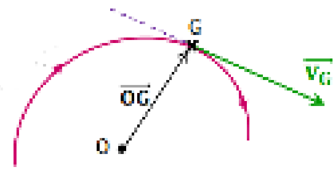
....

....

....

....

....

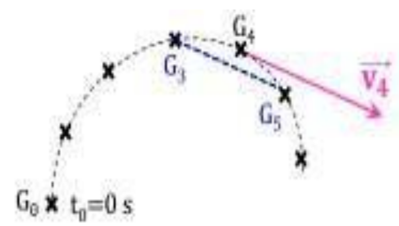


Remarque :

- **Le vecteur vitesse** $\vec{V}_G$ est toujours tangent à la trajectoire.
- **La vitesse instantanée** V_i est donnée par la relation : ....

Vecteur vitesse instantanée : ....

Exemple : ....



2- Le vecteur accélération

On définit **le vecteur accélération** $\vec{a}_G$ de centre d'inertie d'un solide comme la dérivée du vecteur vitesse en fonction du temps :

....

Les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}_G$:

....

....

....

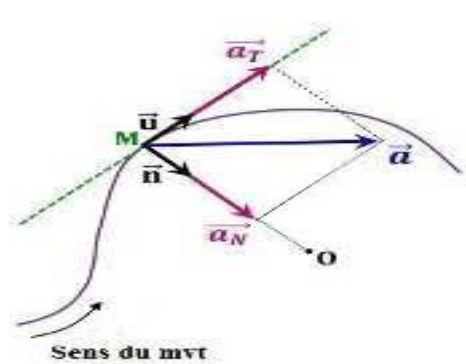
....

Remarque : Si on revient au vecteur position, le vecteur accélération est donc la dérivée seconde du vecteur $\vec{OG}$ en fonction du temps.

....

3- Les coordonnées du vecteur accélération dans un repère de Frenet

Le repère de Frenet est un repère local orthonormé lié au **mobile** que l'on note $(M, \vec{u}, \vec{n})$, **le vecteur unitaire $\vec{u}$ est tangent** à la trajectoire au point M et orienté dans le sens du mouvement, **le vecteur unitaire $\vec{n}$ est normal**, et dirigé vers le centre de courbure de la trajectoire, il est perpendiculaire à $\vec{u}$.



L'expression du **vecteur accélération** $\vec{a}_G$ dans le repère de **Frenet** est :

....

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

Application 1 **Les coordonnées du centre d'inertie d'un mobile dans un repère cartésienne** $(o, \vec{i}, \vec{j})$ **sont :**

$$x(t) = 9t + 3 \qquad ; \qquad y(t) = 6t^2 + 4t - 3$$

1. Déterminer le vecteur vitesse dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ **et calculer son module à l'instant t = 2s.**

………
………
………
……

2. Déterminée les coordonnées du vecteur accélération dans le repère $(o, \vec{i}, \vec{j})$ **et calculer sa valeur à t = 2s**

………
………
……
………

III- Les lois de Newton

1- Les forces intérieures et les forces extérieures:

Après avoir précisé le système étudié :

- F**orces intérieures**, sont des forces qui s'exercent sur **le système** par des corps qui **appartiennent au système**.
- **Forces extérieures**, sont des forces qui s'exercent sur **le système** par des corps qui **n'appartiennent pas au système**.

Remarque: Un système est dit **isolé** s'il n'est soumis à aucune force extérieure.
Un système est dit **pseudo-isolé** si les forces extérieures auquel il est soumis se compensent.

2- Première loi de Newton ou principe d'inertie

« **Dans un référentiel Galiléen, si la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un solide est nulle** $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ **, le vecteur vitesse de son centre inertie ne varie pas (: reste constant)** ».

Réciproquement, si le vecteur vitesse $\vec{V}_G$ **de centre d'inertie d'un solide ne varie pas, la somme des forces qui s'exercent sur le solide est nulle**.

....

Remarque:

Le repère de Copernic est le meilleur **repère galiléen** (son origine est le soleil et ses trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes). **Tout repère en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport au repère de Copernic est considéré galiléen**, donc **tous les repères terrestres** peuvent être **considérés galiléens** pendant **des intervalles de temps courts**.

3- Deuxième loi de Newton

« Dans un référentiel Galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de la masse du solide par le vecteur accélération de son centre d'inertie.»

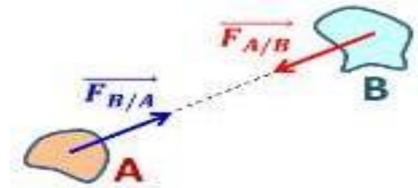
....

m est la masse du solide en **kg** et $\vec{a}_G$ est l'accélération en **N.kg ou m.s^{-2}**

4- Troisième loi de Newton ou principe d'action réaction :

Si un corps A exercé une force $\vec{F}_{A/B}$ sur un corps B, alors le corps B exerce une force $\vec{F}_{B/A}$ sur le corps A, telle que :

....



IV Le mouvement rectiligne uniformément – et uniformément varié

Généralement le repère utilisé pour étudier **les mouvements rectilignes** est un axe (O, x) confondu avec la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement,:

Vecteur de position : $\vec{OG} =$ … … … . . …, **sa vitesse** $\vec{V} =$..........................**son accélération** $\vec{a} =$ … … … …

1-Le mouvement uniformément

Le mouvement rectiligne uniformément est caractérisé par :

- **Une trajectoire** ....
- **Une accélération** ....
- **Une vitesse constante** ....
- **L'équation horaire du mouvement est :** .... **avec (x_0,: abscisse à l'origine)**

2-Le mouvement uniformément varié

Le mouvement rectiligne uniformément varié est caractérisé par :

- **Une trajectoire** ....
- **Une accélération** ....
- **L'équation de la vitesse** .... **avec (v_0,: vitesse initiale)**
- **L'équation horaire du mouvement est :** .... **avec (x_0,: abscisse à l'origine)**

Application 3:

En exploitant la courbe déterminer l'équation horaire $x(t)$ avec $x_0 = 0$

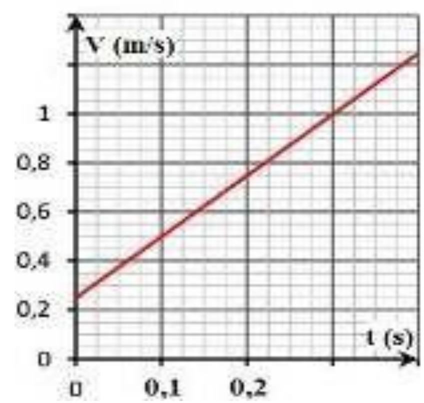
…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………



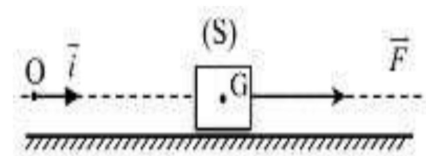
3- Applications de la deuxième loi de Newton

En général la 2ème loi de Newton sert à déterminer la nature du mouvement du centre d'inertie d'un mobile connaissant les forces qui s'appliquent sur lui. Pour résoudre un problème de dynamique en utilisant la deuxième loi de Newton, on doit toujours suivre les étapes suivantes:

1) Précise le système étudié.
2) Faire le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur ce système.
3) Représenter ses forces.
4) Ecrire la relation vectorielle de la **2ème** loi de Newton : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{O}$
5) Puis projeter cette relation après avoir choisi un repère orthonormé convenable lié à un référentiel Galiléen

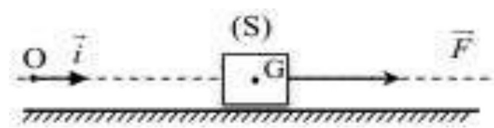
Série d''exercices : Lois de Newton

Exercice 1 On considère un corps solide **(S)** en mouvement sur un plan horizontal **sans frottement** sous l'action d'une force constante $\vec{F}$ comme l'indique la figure suivante:



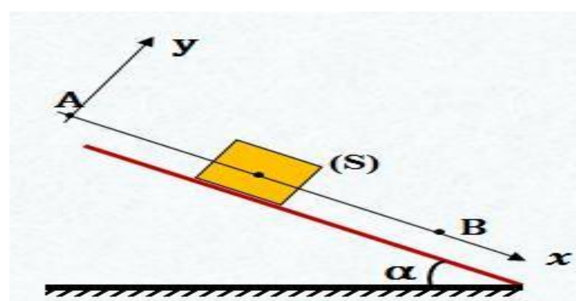
On donne : la masse du corps **m=500g** ; $g = 10\ m.s^{-2}$ **et** $F = 2N$.
1) En appliquant la deuxième loi de Newton déterminer l'accélération du corps S.
2) Sachant que le corps part du point d'abscisse $x = -5\ cm$ à $t = 0$ avec une vitesse égale à $3\ m/s$, donner l'équation horaire de son mouvement.

Exercice 2 On considère le corps solide (S) précédent en mouvement sur un plan horizontal (**avec frottement**) sous l'action d'une force $\vec{F}$ et son accélération devient $6\ m.s^{-2}$.



On donne : la masse du corps : **m = 500g** $g = 10\ m.s^{-2}$ **F = 5 N.**
1) En appliquant la deuxième loi de Newton déterminer R l'intensité de la réaction du plan
2) Déterminer le coefficient de frottement puis en déduire la valeur de l'angle de frottement.
3) Sachant que le corps part du point d'abscisse $x = 0$ à $t = 0$ avec une vitesse égale à $1\ m/s$, donner l'équation horaire de son mouvement.

Exercice 3 On libère un corps S de masse **m = 80 kg** sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à l'horizontale et il glisse sans frottement vers le bas (voir figure).



1) En appliquant la deuxième loi de Newton déterminer les coordonnées du vecteur accélération dans le repère (O, x, y) associé à un référentiel terrestre supposé Galiléen. puis déterminer l'intensité de la réaction du plan incliné.

2) Sachant que le corps S part à l'instant $t = 0$; du point A avec une vitesse $v_A = 5m/s$ (A est confondu avec l'origine O du repère de l'espace).

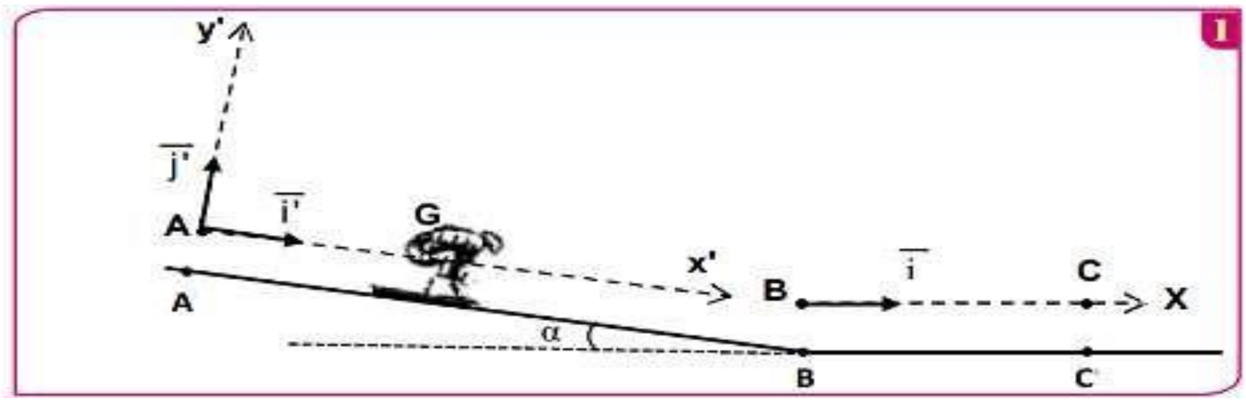
2-1- Donner l'équation horaire du mouvement de S selon l'axe (o, x) puis l'équation de sa vitesse.
2-2-Déterminer sa vitesse au point B. (on donne $AB = 2m$ et $g = 10m/s$).

Exercice 4 Un skieur de masse **m=70 kg**, décrit une piste formée par deux parties:

*AB, une pente inclinée de 30° avec le plan horizontal

*BC, une voie rectiligne et horizontale

Les forces de frottements sont supposées constantes sur les deux parties et valent $f = 10N$.Le skieur atteint le point **B** avec une vitesse $V_B = 40\ m/$**s** puis il s'arrête en **C**. **g=10 N/Kg**



Partie 1- Etude du mouvement sur le plan incliné AB:

1- Faire le bilan des actions agissant sur le skieur.

2- Determiner l'accélération du mouvement du skieur en déduire la nature du mouvement

3- On prend comme origine des abscisses le point **A** et comme instant de repère du temps l'instant de passage par **A**. Ecrire les équations horaires du mouvement du skieur.

4- Le skieur décrit la pente AB pendant **7** secondes

4-1- Calculer la vitesse V_A, la vitesse de passage par le point A

4-2- Déterminer la longueur de la pente **AB.**

Partie 2 : Etude du mouvement sur le plan horizontal BC

Le skieur continue son mouvement sur le plan horizontal **BC** puis il a utilisé son bâton pour freiner, la force de freinage est opposé de mouvement sa valeur est $F = 60\ N$

1- Faire le bilan des actions agissant sur le skieur.

2- Determiner l'accélération du mouvement du skieur en déduire la nature du mouvement

3- on prend comme origine des abscisses le point **B** et comme instant de repère du temps l'instant de passage par **B**. Ecrire les équations horaires du mouvement du skieur et de sa vitesse en fonction de V_B

4- Le skieur s'arrête au point **C**

4-1- Déterminer à quel instant le skieur s'arrête-t-il?

4-2- Calculer la distance **BC.**

****************************CORRECTION*****************************

………

………

………

………

………

………

………

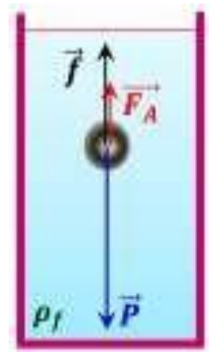
Cours N°M 2 : Mouvements de chutes verticales

Introduction **En appliquant la 2ème loi de Newton, et les outils mathématiques adaptés, déterminer les caractéristiques du mouvement d'un solide chutant verticalement dans un fluide si l'action exercée par ce dernier n'est pas négligeable.**

Chute verticale dans un fluide

I- Chute verticale dans un fluide

1- Forces exercées sur le solide dans un fluide



On considère un solide (**S**) en mouvement de chute verticale dans un fluide. Ce solide est soumis à trois forces :

- **Force de pesanteur :** $\vec{P}$
- **Force exercée par le fluide :** $\vec{F}_A$
- **Force de frottement exercé par le fluide** : $\vec{f}$

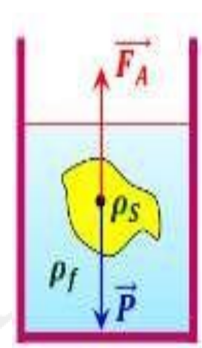
a- Force de pesanteur ou poids :

Un objet situé au voisinage de la Terre subit la force de gravitation $\vec{P}$ qui peut s'identifier à la force de pesanteur $\vec{P}$

Autrement dit : Un objet de masse m placé dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ subit une force :

....

b- Force exercée par le fluide : poussée d'Archimède



Un corps totalement ou partiellement immergé dans un fluide subit une force $\vec{F}_A$ appelée **poussée d'Archimède elle est caractérisée par :**

- **Direction** : .... , **Sens :** ....
- **Intensité ou module :** ....

....

F_A : Poussée d'Archimè (N)
ρ_f : La masse volumique du fluide ($kg.m^{-3}$)
V_s : Volume de la partie eimmergé du solide (m^3)
g : L'intensité du champ de pesanteur

c- Force de frottement exercée par le fluide

Soit un solide de vitesse $\vec{v}$, le fluide exerce sur ce solide une force de frottement. Dans le cas d'une chute verticale dans un fluide, la force de frottement s'écrit sous la forme $\vec{f} = -k.\vec{v}^n$, avec **k** est un facteur ; il dépend de tout ce qui peut faire varier $\vec{f}$, c'est à dire la forme de l'objet, sa taille, l'aspect de sa surface ou encore la nature du fluide.

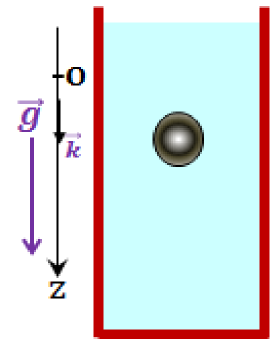
Remarque : La force $\vec{f}$ est colinéaire au vecteur vitesse $\vec{v}$ mais de sens opposé.

- Si la vitesse est faible alors la force a pour valeur $f = k.v$
- Si la vitesse est plus importante alors la force a pour valeur $f = k.v^2$

II- Etude de la chute verticale dans un fluide .

1-Etude expérimentale

On remplit un tube gradué avec un liquide visqueux et transparent de masse volumique ρ_f et on y fait tomber une bille homogène de masse **m** et de centre d'inertie **G sans vitesse initiale** à l'instant **t = 0**, puis on enregistre le mouvement de la bille par système d'acquisition et on trace la variation de la vitesse du centre d'inertie **G de la bille** en fonction de temps $v_G = f(t)$.



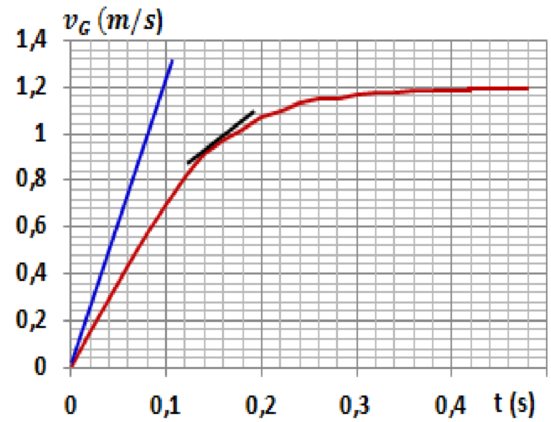
Exploitation de la courbe $v_G = f(t)$:

1) **Décrire la variation de la vitesse en fonction de temps ;**

....

....

....



2) **Déduire à partir de la courbe : Est-ce que la coordonnée a d'accélération du vecteur $\vec{a}_G = a\vec{k}$ augmente ou diminue ?**

....

....

....

3) **Représenter l'asymptote à la courbe puis déduire la valeur de vitesse limite v_L.**

....

4) **On appelle le temps caractéristique du mouvement τ : « c'est l'intersection de la tangente à t = 0 avec l'asymptote à la courbe $v_G = f(t)$ » Déterminer la valeur de τ.**

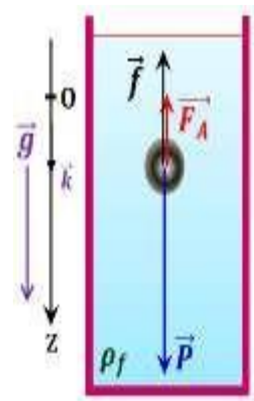
....

Remarque : **l'ordonné de τ est 0,63 v_L**

4- Etude théorique

4-1- L'équation différentielle du mouvement

- **système étudié** : {bille}
- **Référentiel terrestre** : référentiel considéré comme galiléen car la durée de la chute est faible devant la période de rotation de la Terre (24 h)
- **Bilan des forces extérieures :**



....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

4-2 Détermination la vitesse limite v_{lim} et l'accélération initiale a_0 à partir de l'éq diff

a - vitesse limite : v_{lim}

Lorsque le régime permanent est établit la vitesse de la bille devient ....

....

....

....

....

V : .Le volume de la bille ; ρ_f : La masse volumique de fluide ; ρ : La masse volumique de la bille.

b - Accélération initiale a_0

Méthode 1 à $t = 0$ on a $v = 0$ la bille tombe sans vitesse initiale ;

....

....

Méthode 2 : à $t = 0$ on a $\vec{f} = \vec{0}$ (la bille est en repos) donc $K.v^n = 0$ $\Rightarrow$

$$\boxed{a_0 = g\left(\frac{m-m_f}{m}\right)}$$

Méthode 3 Graphiquement la valeur de l'accélération initiale est égale au coefficient directeur de la tangente à la courbe $v_G = f(t)$, à l'instant $t = 0$: ....

Remarque 1: τ est appelé temps caractéristique et $5\,\tau$ correspond à l'ordre de grandeur de la durée du régime transitoire, temps au bout duquel la vitesse limite est en fait atteinte

III-Résolution de l'équation différentielle par la méthode d'Euler

1- Méthode d'Euler

La méthode d'Euler est une méthode numérique permettant de donner une solution approchée de l'équation différentielle du mouvement de G, lors d'une chute verticale avec frottement.

Il faut pour cela connaître :

- L'équation du mouvement est : $\frac{dv}{dt} = A - Bv^n$
- Les conditions initiales v_0
- Le pas de résolution Δt ; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$.

On peut déterminer les grandeurs cinétiques (vitesses et accélérations) par

- L'équation différentielle à l'instant t_i : $a_i = A - Bv_i^n$ (pour le même point : connaitre la vitesse d'un point c'est déterminer son accélération et réciproquement).
- L'expression de la vitesse : $V_{i+1} = V_i + a_i \Delta t$;

$t_0 = 0$	$V_0 = 0$	$\rightarrow a_0 = A - B.(V_0)^n = A$
$t_1 = t_0 + \Delta t$	$V_1 = V_0 + a_0 \Delta t$	$\rightarrow a_1 = A - B.(V_1)^n$
$t_2 = t_1 + \Delta t$	$V_2 = V_1 + a_1 \Delta t$	$\rightarrow a_2 = A - B.(V_2)^n$

Chute libre verticale

I- Chute libre verticale

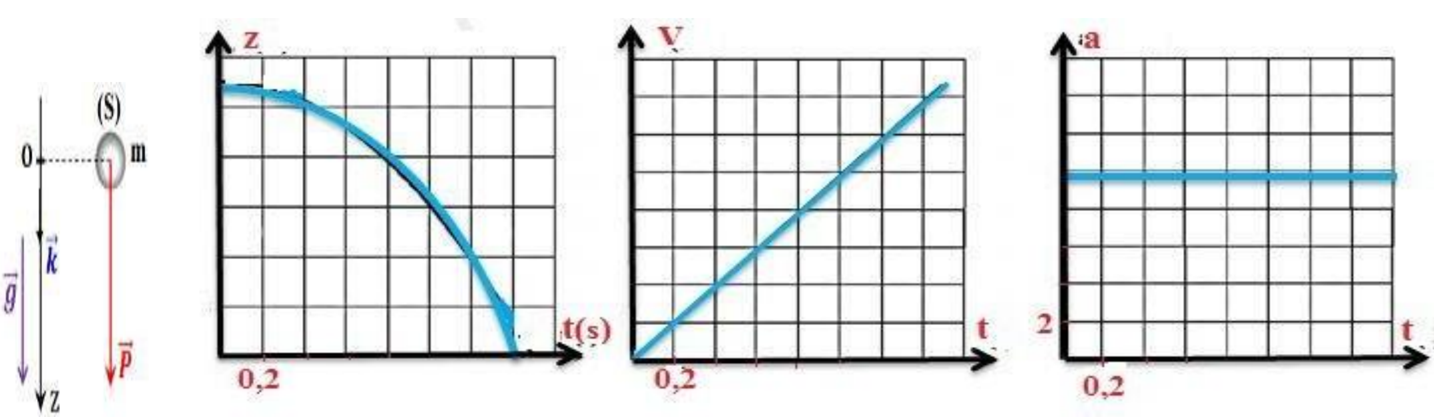
1- Définition de la chute libre

Un **solide** est dit en **chute libre** s'il est soumis uniquement à **son poids** (le fait qu'il n'existe pas de force de frottement impose que cette condition ne peut être réalisée que dans le vide).

2 - Etude expérimentale:

a- Activité

cAbandonnons en **O** une bille d'acier, de masse $m = 5,0\ g$ et de rayon $r = 0,5\ cm$, sans vitesse initiale dans l'air. Etudions la bille en chute verticale sur l'axe **[OZ]** dans le référentiel. En gardant la même hauteur, puis on recommence l'expérience avec une autre bille de masse différente



Commenter les graphes obtenus ci-dessus :

....

....

....

....

1- Comparer la valeur de l'accélération avec l'intensité de pesanteur,

....

....

2- Est –ce que l'accélération dépend-elle de la masse de la bille ?

....

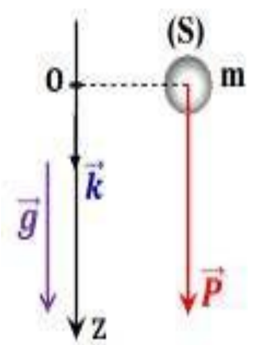
Conclusion

En générale un solide **en chute libre** lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids, l'accélération $\vec{a}_G$ **de son centre d'inértie est alors égale** ....

L'accélération est ....

2- Etude théorique

Activité : On considère une boule **(S)** de masse **m** d'acier en chute libre verticale. On considère le repère (O, z) orienté dans le sens du mouvement (voir la figure).



2-1 L'équation différentielle du mouvement

En appliquant la 2ème loi de Newton au centre d'inertie la boule ; déterminer l'équation différentielle du mouvement.

....

....

....

....

....

2-2 Résolution analytique de l'équation différentielle :

Conditions initiales : supposons que la position initiale à l'instant $(t = 0)$ du solide soit $z(t = 0) = z_0$ et sa vitesse initiale soit $v_z(t = 0) = v_0$.

- **Déterminer l'équation de la vitesse**

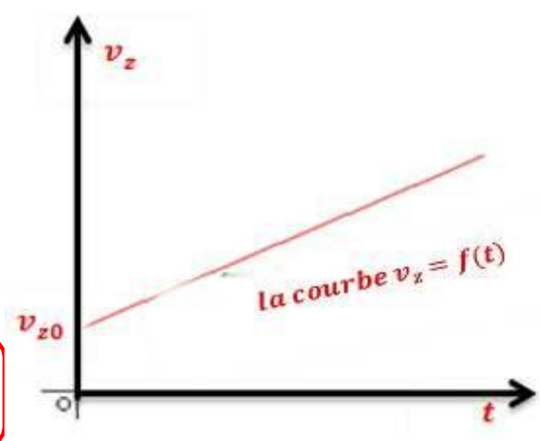
....

....

....

....

....



....

Remarque : si la vitesse initiale est nulle $v_0 = 0$; alors l'expression de la vitesse devient : ....

2-3 L'équation horaire du mouvement

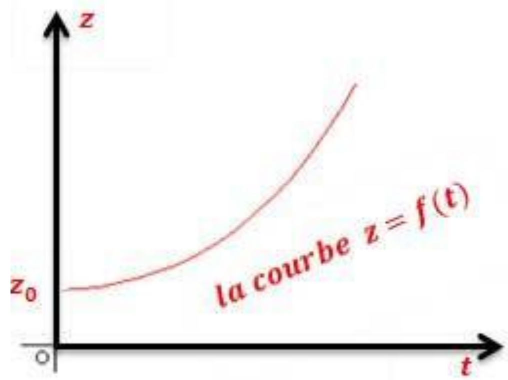
....

....

....

....

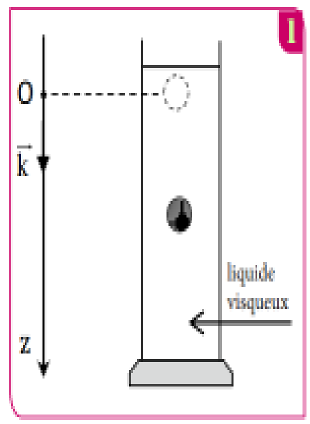
....



Remarque : si le solide est lâché du point O ($z_0 = 0$) si la vitesse initiale est nulle ($v_0 = 0$), alors l'expression de la position du mobile devient : ....

Série d'exercices : Mouvements de chutes verticales

Exercice 1 L'étude de la chute d'un corps solide homogène dans un liquide visqueux , permet de déterminer quelques grandeurs cinématiques et la viscosité du liquide utilisé .On remplit un tube gradué avec un liquide visqueux et transparent de masse volumique **ρ** et on y fait tomber une bille homogène de masse **m** et de centre d'inertie **G** sans vitesse initiale à l'instant $t = 0$. On étudie le mouvement de **G** par rapport à un référentiel terrestre supposé galiléen . On repère la position de **G** à l'instant t par la cote z sur l'axe **Oz** vertical orienté vers le bas .On considère que la position de **G** est confondue avec l'origine de l'axe **Oz** à l'origine des dates et que la poussée d'Archimède n'est pas négligeable par rapport aux autres forces exercées sur la bille. On modélise l'action du liquide sur la bille au cours du mouvement par la force de frottement $\vec{f} = -k\,\vec{v}_G$ avec $\vec{v}_G$ le vecteur vitesse de G à l'instant t et k un coefficient constant positif.



Données : - rayon de la bille : **r = 6.10⁻³ m** - masse de la bille : **m = 4,1.10⁻³ kg** .

On rappelle que l'intensité de la poussée d'Archimède est égale à l'intensité du poids du volume du liquide déplacé.

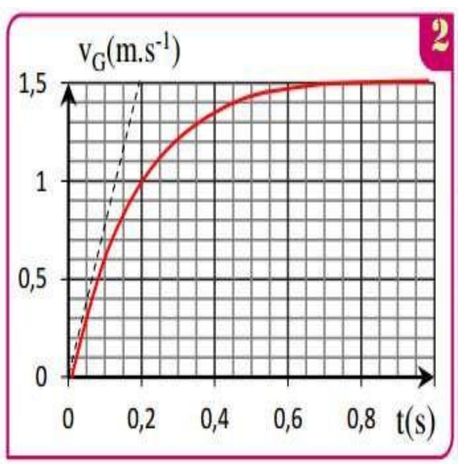
1- En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle du mouvement de **G** s'écrit sous la forme : $\frac{dV_G}{dt} + A.V_G = B$ en déterminant l'expression de **A** en fonction de k et **m** et l'expression de **B** en fonction de l'intensité de la pesanteur **g** , **ρ** et **V** le volume de la bille.

2- Vérifier que l'expression $V_G = \frac{B}{A}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ est solution de l'équation différentielle, avec $\tau = \frac{1}{A}$ le temps caractéristique du mouvement.

3- Écrire l'expression de la vitesse limite V_{lim} du centre d'inertie de la bille en fonction de A et B.

4- On obtient à l'aide d'un équipement informatique adéquat le graphe de la **figure 2** qui représente les variations de la vitesse V_G en fonction du temps, déterminer graphiquement les valeurs de V_{lim} et **τ**.

5- Déterminer la valeur du coefficient **k.**



t (s)	V_G ($m.s^{-1}$)	a ($m.s^{-2}$)
0	0	7,57
0,033	0,25	a_1
0,066	V_2	5,27

6- Le coefficient **k** varie avec le rayon de la bille et le coefficient de viscosité **η** selon la relation **k = 6πηr** , déterminer la valeur de **η** du liquide utilisé dans cette expérience.

7- L'équation différentielle du mouvement de **G** s'écrit : $\frac{dV}{dt} = 7,57 - 5V$ en utilisant la méthode d'Euler et les données du tableau , déterminer les valeurs $\mathbf{a_1}$ de et $\mathbf{v_2}$.

Exercice 2 On étudie le mouvement du centre d'inertie G d'un mobile en chute libre lancé avec une vitesse initiale verticale de valeur , $v = 3\ m.s^{-1}$

1. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le mobile.

2. En déduire l'accélération de son centre d'inertie G sachant que g= 9,8 m. s^{-2}.

3. En choisissant un axe (Oz) vertical orienté vers le bas, établir les équations horaires de la vitesse et de la position du centre d'inertie de ce solide dans les conditions initiales suivantes:

a - $z = 0$ et $\vec{v}$ est orienté vers le haut;

b- $z = 5\,m$ et $\vec{v}$ est orienté vers le bas.

Exercice 3 Un élève de Terminale veut étudier le mouvement de la fléchette d'un pistolet. D'une altitude de **1,75 m**, il lance la fléchette verticalement vers le haut avec une vitesse initiale de **5,0 m.s'**. On considère l'action de l'air négligeable.

1. Déterminer les caractéristiques de l'accélération **a** du centre d'inertie G de la fléchette.

2. On choisit un axe (Oz) vertical orienté vers le haut dont l'origine O est située au niveau du sol. Établir les expressions de la vitesse $v(t)$ et de l'abscisse **z (t)** du centre de gravité de la fléchette.

3 -1. Quelle est la valeur de la vitesse au sommet de la trajectoire?

3 -2. En déduire la date t, à laquelle la fléchette atteint le sommet de sa trajectoire.

3 -3. Quelle est la hauteur h, atteinte par la fléchette?

4. A quelle date la fléchette touchera-t-elle le sol?

****************************CORRECTION***********************

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

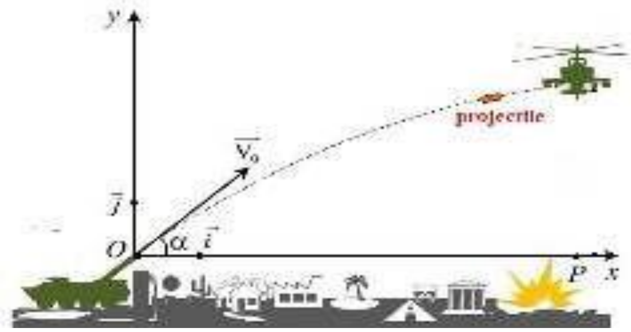
……

……

……

Cours N°PM 11 : Mouvements plans

Introduction **Lors d'une guerre, un soldat lance une bombe avec un certain angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale. La figure ci-contre représente la trajectoire de la bombe. La bombe est donc un projectile en mouvement dans un plan, en deux dimensions (l'horizontale et la verticale), soumis uniquement à son poids. Qu'est-ce qu'un mouvement plan ? Comment déterminer sa trajectoire ? Quelle est l'influence des conditions initiales sur ce type de mouvement ?**

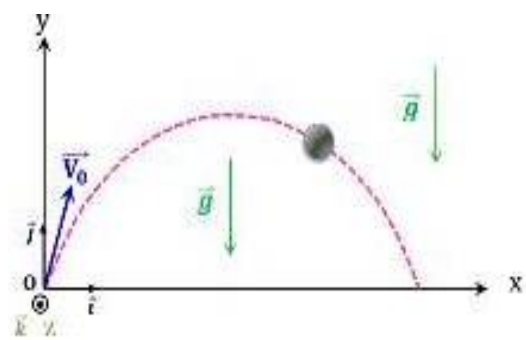


I-Mouvement d'un projectile dans un champ uniforme :

1- Etude expérimentale

Un projectile est lancé à l'instant $t = 0$ avec une vitesse $\vec{V}_0$ faisant un angle α par rapport à l'horizontale. On assimile le projectile à un **point matériel** ce qui nous permet de le réduire au mouvement de son centre d'inertie **G**. L'étude est réalisée avec les approximations suivantes

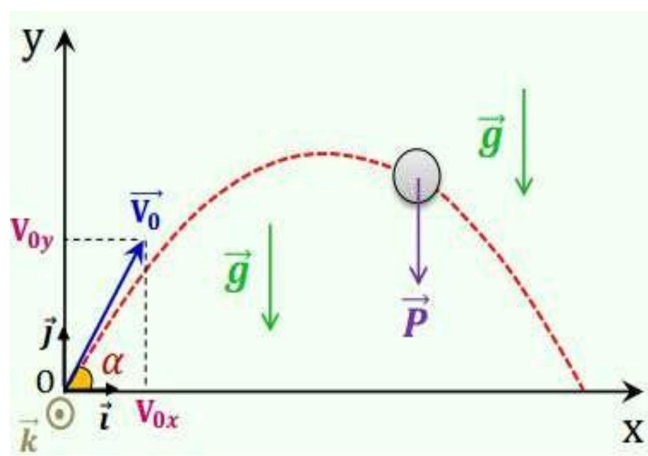
- On considère que le champ de pesanteur $\vec{g}$ est uniforme,
- On néglige la poussée d'Archimède et les frottements par rapport au poids du système.



On étudie le mouvement du projectile dans le référentiel terrestre qu'on suppose galiléen avec une bonne approximation, muni d'un repère cartésienne $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$**.** Le mouvement a lieu dans le plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$ qui contient les vecteurs $\vec{V}_0$, $\vec{g}$, et **O** la position initiale du projectile G.

2- Etude théorique : Etude du mouvement d'un projectile dans un champ uniforme.

Activité : Un projectile de masse **m** est lancé à l'instant $t = 0$ avec une vitesse $\vec{V}_0$ faisant un angle α par rapport à l'horizontale. On étudie le mouvement du projectile dans le référentiel terrestre qu'on suppose galiléen avec une bonne approximation, muni d'un repère cartésienne $R\ (O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$. Le mouvement a lieu dans le plan $(O, \vec{i}, \vec{j})$ qui contient les vecteurs $\vec{V}_0$ et $\vec{g}$, **O** est la position initiale du projectile G.



On considère le référentiel terrestre comme galiléen $R(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ car la durée de la chute est faible devant la période de rotation de la Terre (**24 h**).

Conditions initiales

- Le projectile a lancé de point O ……
……
……
- Les coordonnées du vecteur vitesse initiale $\vec{V}_0$

$\vec{V}_0$ { ……………………………………………… ……………………………………………… ……………………………………………

Le système étudié : ……………………………

Bilan des forces : ……

En appliquant le 2ème loi de Newton, déterminer les équations horaires des mouvements $x(t)$ et $y(t)$ **:**

....

En faisant la projection de la relation précédente sur le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$

L'expression du vecteur – accélération $\vec{a}_G$

$$\begin{cases} \text{.........} = \text{..............} \\ \text{.........} = \text{..............} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{..............} \\ \text{.........} = \text{..............} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{..............} \\ \text{.........} = \text{..............} \end{cases}$$

Alors $\vec{a}_G \left| \begin{array}{l} a_x = \text{.......} \\ a_y = \text{......} \\ a_z = \text{......} \end{array} \right.$

Remarque :

$a_x = \cdots$ ...: Mouvement ....

$a_y = \cdots$ ... ...: Mouvement ....

L'expression du vecteur – vitesse $\vec{V}_G$

$$\begin{cases} \dfrac{dv_x}{dt} = \text{.........} \\ \dfrac{dv_y}{dt} = \text{.........} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{...................................} \\ \text{.........} = \text{...................................} \end{cases}$$

On détermine les constantes ..... et ..... En utilisant les conditions initiales à $t = 0$:

....

....

D'où le vecteur - vitesse est

$\vec{V}_G \left| \begin{array}{l} V_x = \text{..............................} \\ V_y = \text{............................} \\ V_z = \text{............................} \end{array} \right.$

- **La vitesse horizontale est** ...., donc le mouvement horizontal est ....
- Le mouvement vertical, lui, est **uniformément accéléré** car l'accélération **verticale est constante**

Les équations horaires des mouvements $x(t)$ et $y(t)$:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \text{...................................} \\ \dfrac{dy}{dt} = \text{...................................} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{...................................} \\ \text{.........} = \text{...................................} \end{cases}$$

On détermine les constantes ...... et ...... En utilisant les conditions initiales à $t = 0$: .

....

D'où les équations horaires sont :

$\vec{OG} \left| \begin{array}{l} x(t) = \text{..} \\ y(t) = \text{..} \\ z(t) = \text{...............................} \end{array} \right.$

Equation de trajectoire $y = f(x)$

On établit l'équation de la trajectoire en éliminant le paramètre t des équations horaires.

$$\begin{cases} \dots\dots = \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots = \dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dots\dots = \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots = \dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{cases}$$

Caractéristiques de la trajectoire $y = f(x)$

a- La flèche :

La flèche c'est la **distance** entre **le sommet** de la trajectoire et **l'axe des abscisses**.

Au point **F (à l'instant t_F)** on a $\left(V_y = \frac{dy}{dt} = 0\right)$ ou $\frac{dy}{dx} = 0$

Déterminons les coordonnées du point $F\,(x_F\,;\ y_F)$.

$$\dots\dots\dots . - \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots .... - \ t_F = \ \dots\dots .\dots\dots\dots$$

$$x_F = \ \dots\dots\dots .\dots\dots\dots .\dots\dots\dots . = \ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$Avec$: $\sin(2\alpha) = 2\sin(\alpha)\cos(\alpha)$

b- La portée :

La portée c'est le **point du sol** sur lequel arrive **le projectile** après **sa chute**.

Au point **F (à l'instant t_p)** on a $(x_p = OP)$ **et** $(y_p = 0)$

Remarque : La plus grande **porté**e correspond à $\sin(2\alpha) = 1$ - .... — ....

En générale les équations horaires s'écrivent sous la forme :

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = (V_0 \cos\alpha).t + x_0 \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 \sin\alpha).t + y_0 \\ z = 0 \end{cases}$$

Telle que :
x_0 est l'abscisse à l'instant $t = 0$
et y_0 est l'ordonnée à $t = 0$

Par conséquences les expressions de la portée et la flèche sont :

$$x_P = \frac{V_0^2 \sin(2\alpha)}{g} + x_0 \qquad y_F = \frac{V_0^2 . \sin\alpha^2}{2g} + y_0 \qquad x_F = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g} + x_0$$

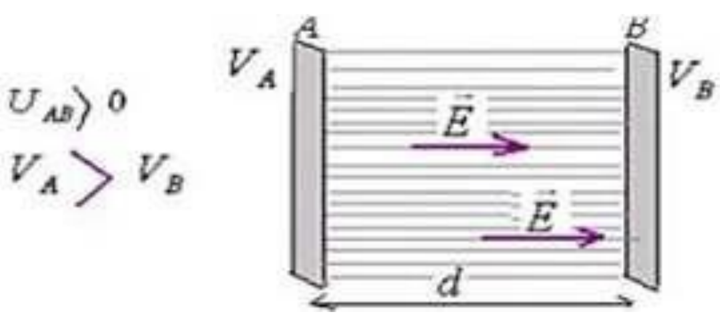
II- *Mouvement* d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme (SM)

1- Rappel :Champ électrique uniforme

- **Toute charge** q placé dans un champ électrique $\vec{E}$ est soumise à une force électrique: $\vec{F} = q.\vec{E}$. d'intensité: $F = |q|.E$ .L'unité de l'intensité du champ électrique est : **(**$C.N^{-1}$**) ou (** $V.m^{-1}$)

- Un champ électrique $\vec{E}$ est dit uniforme, s'il est constant en direction, en sens et en valeur.

Exemple : Entre deux plaques métalliques parallèles soumises à une différence de potentielle, il existe un champ électrique uniforme.



V_A : Potentiel de la plaque A;

V_B: Potentiel de la plaque B

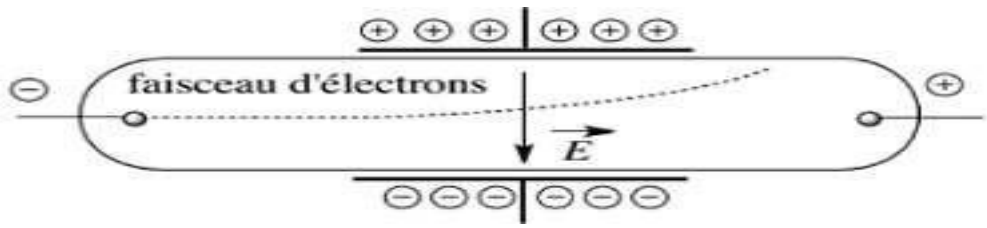
d : Distance entre les deux plaques

- Entre les deux plaques le champ électrique est uniforme ;
- Les lignes de champ sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux plans des plaques .
- Le vecteur champ électrique $\vec{E}$ a le sens des potentiels décroissants c'est-à-dire de la plaque ayant le plus grand potentiel vers celle ayant le plus petit potentiel.
- **La norme** du champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques : $E = \frac{U_{AB}}{d}$ en (V/m) avec : $U_{AB} = V_A - V_B$

2- Influence de champ électrique sur une particule chargée

On utilise un tube de **Crookes** qui contient un canon d'électrons qui permet d'obtenir un faisceau d'électrons ayant la même vitesse et à l'intérieur duquel il y'a un champ électrique uniforme, faisceau d'électrons. Les électrons entrent dans le champ électrique avec une vitesse $\vec{V}$, perpendiculaire à $\vec{E}$.

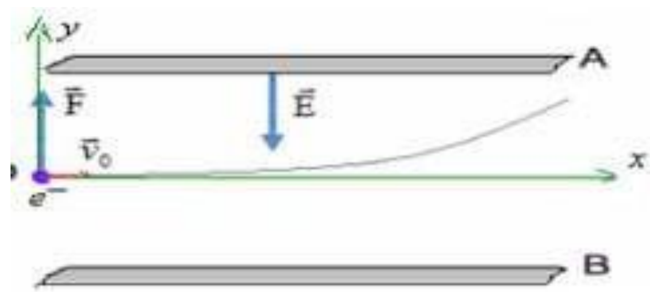
On constate expérimentalement que la trajectoire du faisceau d'électrons **est une portion de parabole**.



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

Etude théorique :

Le système étudié : {......................................}



On considère un repère orthonormé direct $(O, \vec{i}, \vec{j})$ confondu avec le plan du mouvement de la particule et qu'on suppose galiléen (voir la figure ci-contre) :

Condititions initiales :

- L'électron a lancé de point $O\ (x_0 = \cdots\ ;\ y_0 = \cdots.\ )$
- Les coordonnées du vecteur vitesse initiale $\vec{V}_0 \begin{cases} \text{.........} = \text{..................} \\ \text{.........} = \text{..................} \end{cases}$

Les coordonnées du vecteur champ électrique sont : $\vec{E} \left| \begin{array}{l} E_x = \text{.........} \\ E_y = \text{.........} \end{array} \right.$ **ou sous forme** $\vec{E} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

Bilan des forces : ....

En appliquant le 2ème loi de Newton, déterminer les équations horaires des mouvements $x(t)$ *et* $y(t)$ **:**

....

En faisant la projection de la relation précédente sur le repère $R(O, \vec{i}, \vec{j})$

$$\begin{cases} \text{.........} = \text{..................} \\ \text{.........} = \text{..................} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{..................} \\ \text{.........} = \text{..................} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \dfrac{dv_x}{dt} = \text{.........} \\ \dfrac{dv_y}{dt} = \text{.........} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \text{.........} = \text{..................} \\ \text{.........} = \text{..................} \end{cases}$$

Suivant l'axe (ox) le mouvement ....

Suivant l'axe (oy) le mouvement ....

Equations horaires $x(t)$ et $y(t)$

D'après les conditions initiales, les équations horaires deviennent :

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dy}{dt} = \ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases} \qquad \begin{cases} \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

Equation de trajectoire $y = f(x)$

On établit l'équation de la trajectoire en éliminant le paramètre t des équations horaires.

$$\begin{cases} \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

D'où l'équation de la trajectoire est :

$$y(x) = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Alors la trajectoire la particule chargée dans le champ électrique est : ....

Les coordonnées du point de sortie de l'électron du champ électrique :

Soit **S** point de sortie de l'électrons $x_s = \ldots\ldots$ En remplaçant dans y on trouve **:** ....

Vitesse de l'électron lorsque quitte le champ électrique :

On a $x = \ldots\ldots$ le temps mis par l'électron pour arriver au point S est $t_s = \ldots$ d'où : $\vec{V}_S$ $\begin{cases} \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots \end{cases}$

....

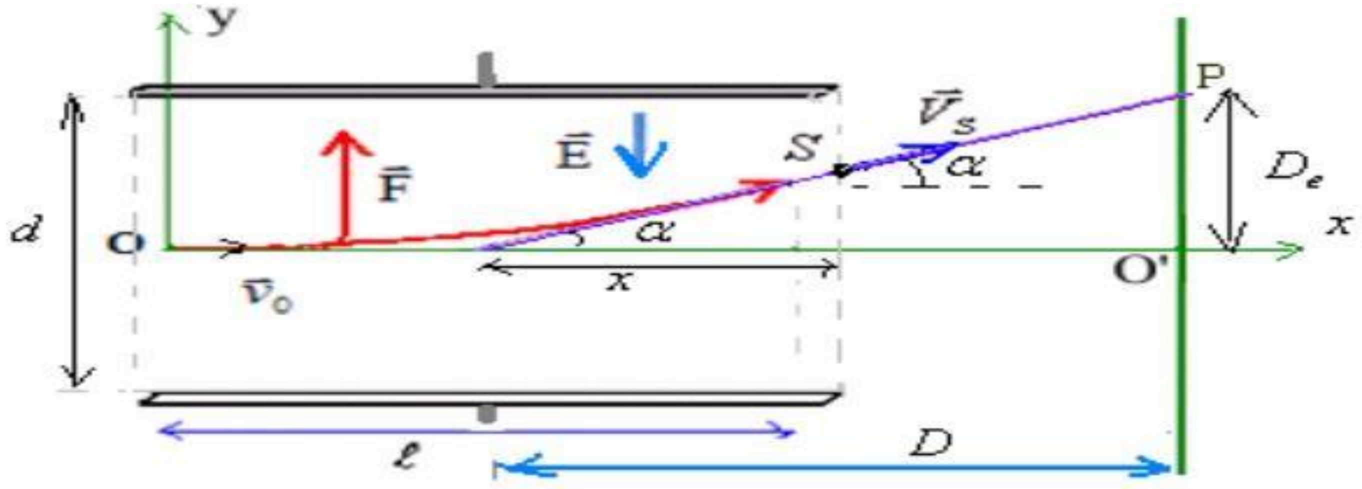
....

....

Déflexion électrique :

On appelle **déflexion électrique** la distance D_e entre **le point d'impact O'** de la particule chargée avec l'écran **en absence du champ électrique** et **le point d'impact P** de la particule chargée avec l'écran **en présence du champ électrique.** Apres sa sortie du champ électrique l'électron a un mouvement rectiligne uniforme jusqu'à ce qu'il rencontre l'écran au point P. (voir la figure)

Déterminer l'expression de D_e en fonction de e ; $P; D; m; d; V_0$ et U



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

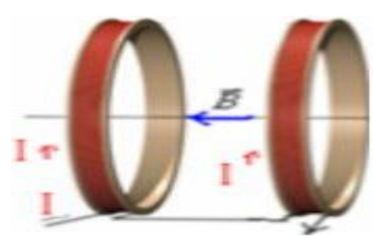
Conclusion

....
....

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

1- Rappel : Champ magnétique uniforme

Un champ magnétique est dit uniforme, s'il est constant en direction, en sens et en valeur. L'unité de l'intensité du champ magnétique est le tesla (T).



Exemple : Le champ magnétique est uniforme entre les bobines d'Helmholtz parcourues par un courant électrique.

Remarque

si le vecteur $\vec{B}$ est perpendiculaire au plan de la feuille et dirigée **vers l'avant** on le représente par : ....

si le vecteur $\vec{B}$ est perpendiculaire au plan de la feuille et dirigée **vers l'arrière** on le représente par : ....

2- Influence d'un champ magnétique sur une particule chargée

a- Etude expérimentale

On utilise **un tube de crookes** (qui contient un canon d'électrons permettant d'obtenir un faisceau d'électrons ayant la même vitesse) à l'intérieur duquel il y'a un champ magnétique uniforme entre deux bobines d'Helmholtz parcourues par un courant électrique.

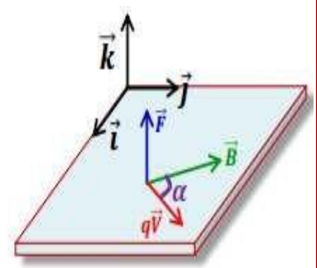
Appareil pour l'étude de la trajectoire des électrons dans un champ magnétique.

Dans le cas où $\vec{V}_0$ et $\vec{B}$ sont perpendiculaires la trajectoire des électrons est circulaire.

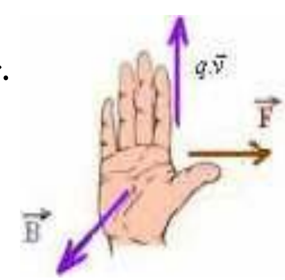
3- force de Lorentz.

« **Toute particule chargée de vitesse $\vec{V}$ est soumise dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ à une force magnétique appelée *force de Lorentz* donnée par la relation suivante:** $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ »

Les caractéristiques de la force de Lorentz



- **Point d'application** : La particule supposée ponctuelle ;
- **Direction :** La droite perpendiculaire au plan défini par $\vec{V}$ et $\vec{B}$.
- **Sens :** il est donné par le règle de la main droite suivante : En plaçant la main droite tendue de sorte les doigts soient dans le sens du produit $q.\vec{V}$ et la paume de la main soit dirigée dans le sens de $\vec{B}$, le puce tendu indique le sens de la force magnétique.



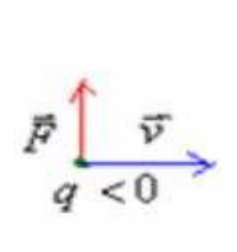
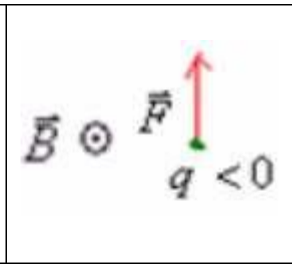
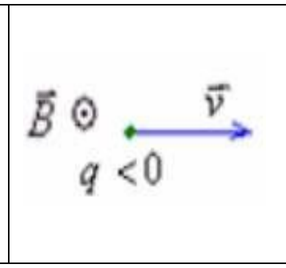
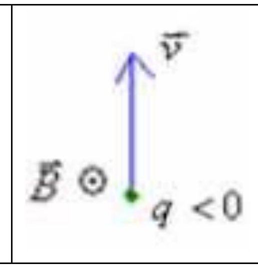
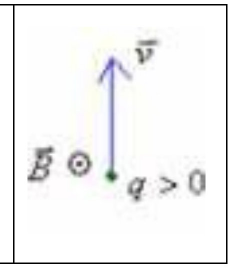
Remarque **si la charge $q > 0$ alors le produit $q.\vec{V}$ a le même sens que le vecteur vitesse $\vec{V}$.**
si la charge $q < 0$ alors le produit $q.\vec{V}$ a le sens contraire que de celui vecteur vitesse $\vec{V}$

- **Intensité o module :** $F = |q|V.B.\sin(\widehat{\vec{V},\vec{B}})$ **son unité en Newton** (N)

Conclusion :

La déviation du **faisceau d'électron** est dû à l'existence d'une .... qui s'exerce sur toute particule .... et en mouvement dans un **champ magnétique uniforme** qu'on appelle : ....

Application 1 : Compléter le tableau suivant :

3- L’énergie cinétique d’une particule chargée dans un champ magnétique uniforme

Une particule chargée, mobile dans un champ magnétique uniforme est soumise à la force de Lorentz $\vec{F}$ qui toujour est perpendiculaire au vecteur vitesse $\vec{V}$; donc le produit scalaire $\vec{F}.\vec{V}$ est nul. $(\vec{F}.\vec{V} = 0)$.

On a ... ... puisque ... ... $\Rightarrow$ ... ...

donc **puissance de la force de Lorentz** est ....

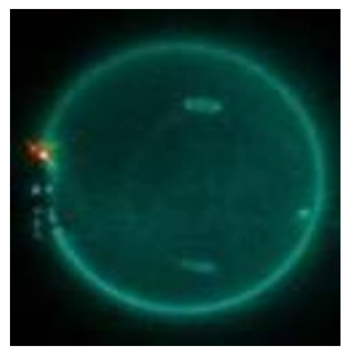
on a ... ... , puisque ... ... $\Rightarrow$ ... ... $\Rightarrow$ ... ...

Donc **l’énergie cinétique** est ....

Vitesse d’électron : on a ... ... $\Rightarrow$ ... ... alors **le mouvement** de de la particule **est** ....

4- Etude du mouvement d’une particule chargée dans un champs magnétique uniforme

Etude expérimentale

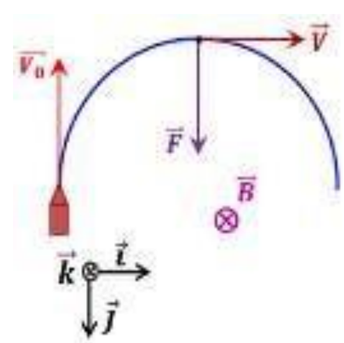


L’étude expérimentale montre que :

-Si la vitesse $\vec{V}$, des électrons est **perpendiculaire** à $\vec{B}$, le faisceau d'électrons dévie et sa trajectoire est devient **circulaire** et **son rayon** dépend de **la vitesse** et de **l’intensité du champ magnétique**.

-Si la vitesse des électrons $\vec{V}$, est **parallèle** à $\vec{B}$, le faisceau d'électrons ne subit pas de déviation.

Etude théorique :



On considère une particule chargé ($q < 0$) dans un champs magnétique uniforme $\vec{B}$, telle son vecteur vitesse $\vec{V}$ est perpendiculaire à $\vec{B}$. (Voir la figure).
on néglige le poids devant la force magnétique :
on considère le repère orthonormée $R(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ comme galiléen

a- L’expression du vecteur d’accélération $\vec{a}$

....

....

....

....

....

b- Montrons que le mouvement de la particule est plan :

……

……

……

c- L'expression d'accélération dans le repère du Frenet:

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

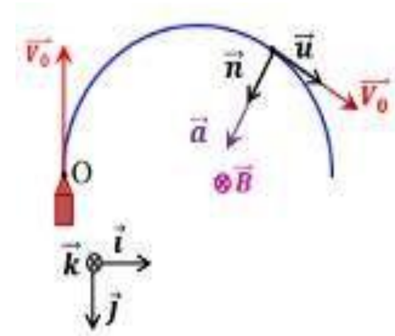
…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………

…………………………………………………………………………………………



d- Montrons que le mouvement de la particule est circulaire:

……

……

……

……

……

Conclusion

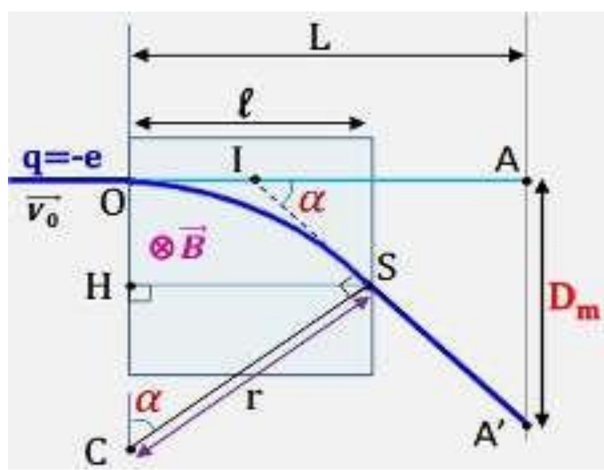
……

……

……

e- La déflexion magnétique

Un faisceau de particules identiques, de charge **q** et de masse **m**, pénétré en **O** dans une région de largeur P où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, est dirigé suivant **OA** (voir figure). Dans le champ magnétique, les particules décrivent un **arc de cercle** de rayon $r = \frac{m.V0}{|q|.B}$, et sortent du champ au point **S**. A partir de ce point leur mouvement est alors rectiligne uniforme selon la tangente **IS** à la trajectoire circulaire. Elles arrivent en **A'** sur l'écran **(E)** perpendiculaire à **OA** et situé à la distance **L** du point O. **On définit la déflexion magnétique c'est grandeur** $D_m = AA'$



Déterminer l'expression de D_m **en fonction de L ;** P ; q ; B; m **et** V_0 **. Sachant que** α **est très petite et** $L \gg P$

....

....

....

....

....

....

Conclusion

....

....

IV- Applications :

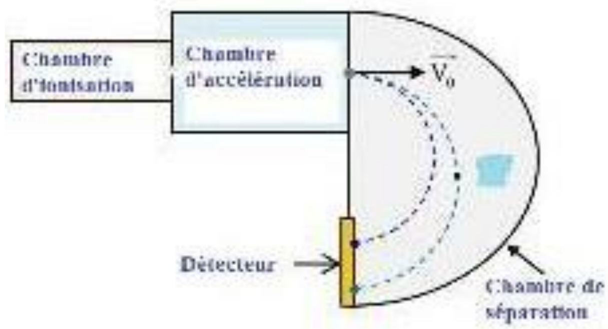
1- Le spectromètre de masse:

Le spectromètre de masse est un appareil qui permet de séparer des ions ayant des masses et des charges différentes (comme les isotopes)en utilisant les actions d'un **champ magnétique** et d'un **champ électrique**, il se compose de:

***Une chambre d'ionisation** à partir de laquelle partent les ions avec une vitesse nulle.

*__Une chambre d'accélération__: dans laquelle on accélère les ions par un champ électrique uniforme et les ions la quitte avec une vitesse $\vec{V_0}$.

***Une chambre de séparation** dans laquelle, on sépare les ions en utilisant un champ magnétique uniforme $\vec{B} \perp \vec{V_0}$ et dans laquelle les ions décrivent une trajectoire demi-circulaire.



Les ions sont accélérés par un champ électrique uniforme dans la chambre d'accélération :

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre A et B: $\Delta E_C = W_{A\to B}(\vec{F})$ avec $q > 0$

$$\frac{1}{2}mV^2 - 0 = qU_{AB} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2.q.U_{AB}}{m}}$$

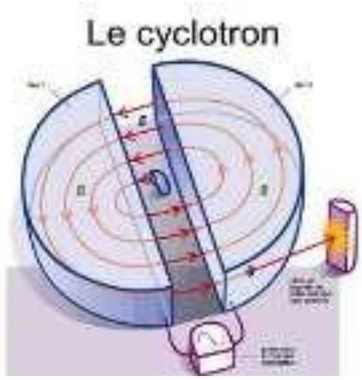
Or les ions ont des masses différentes, ils pénètrent dans la chambre de séparation par des vitesses différentes.

Lorsque l'ion qui pénètre dans la chambre de séparation avec une vitesse $\vec{V} \perp \vec{B}$ sera soumis à l'action de la force magnétique $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ et aura un mouvement circulaire de rayon : $R = \frac{m.V_0}{|q|.B}$.

Chaque ion décrira un **demi-cercle de diamètre** : :$D = 2R = 2\frac{m.V_0}{|q|.B}$ Or le rayon dépend de la masse, chaque isotope aura **un cercle différen**t de celui des autres, ce qui permettra de séparer les isotopes les uns des autres.

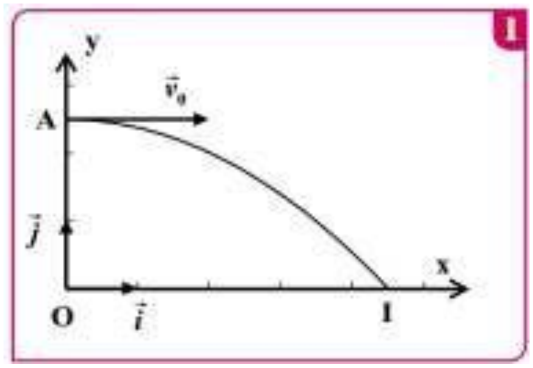
2- Le cyclotron

Le cyclotron est un accélérateur de particules ; il se compose de deux boites sous forme de demi cylindre appelées :des "**dées**" posées dans un champ magnétique uniforme et entre les boites existe un oscillateur qui produit un champ électrique uniforme et alternatif de période **T** égale à la demi période de rotation de la particule dans sa trajectoire circulaire et de cette façon la particule est accélérée chaque fois qu'elle pénètre dans le champ électrique et finalement la particule quitte le cyclotron avec une grande vitesse.



Série d'exercices : Mouvements Plans

Exercice 1 On lance, à un instant $t_0 = 0$ avec une vitesse initiale V_0 horizontale, un solide (S) de petites dimensions, de masse **m** , d'un point A qui se trouve à la hauteur h du sol. Le solide (S) tombe sur le sol au point d'impact I (**figure 1**). On étudie le mouvement du centre d'inertie G dans le repère $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ lié à la terre supposé galiléen. - Tous les frottements sont négligeables;



Données: $g = 9,8\, m.s^{-2}$; $h = OA = 1\, m$

1- En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les expressions littérales des équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de G .

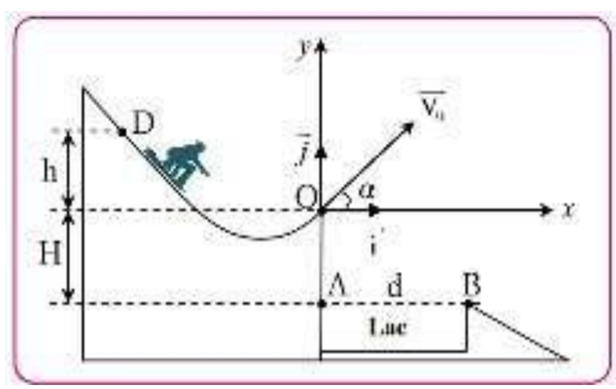
2- En déduire l'expression littérale de l'équation de la trajectoire du mouvement de **G.**

3- Calculer la valeur de t_I , l'instant d'arrivé de (S) au sol en **I.**

4- On lance de nouveau, à un instant $t_0 = 0$, le solide **(S)** du point **A** avec une vitesse initiale $\vec{v}' = 3.\vec{v}$
Recopier sur votre copie le numéro de la question et écrire la lettre correspondante à la seule proposition vraie la valeur de l'instant d'arrivé de (S) au sol vaut:

☐	$t' = 0,25\,s$	☐	$t' = 0,35\,s$	☐	$t' = 0,45\,s$	☐	$t' = 0,65\,s$

Exercice 2 Un skieur glisse sur une montagne recouverte de glace au pied de laquelle se trouve un lac d'eau . La figure suivante donne l'emplacement du lac d'eau par rapport au point O où le skieur sera obligé de quitter le sol de la montagne avec une vitesse $\vec{V}$ faisant un angle α avec l'horizontale skieur part d'un point D situé à la hauteur h par rapport au plan horizontal contenant le point O, (voir figure) .La vitesse v du skieur lors de son passage au point **O** s'exprime par la relation $V = \sqrt{g.h}$.



Dans un essai le skieur passe par le point O origine du repère $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ avec une certaine vitesse, alors il tombe dans le lac d'eau . On veut déterminer la hauteur minimale hm de la hauteur h du point D à partir duquel doit partir le skieur sans vitesse initiale pour qu'il ne tombe pas dans le lac .

Données : - Masse du skieur et ses accessoires : **m=60 kg** ; -La longueur du lac d'eau : AB = d = 10m .
- Accélération de la pesanteur : **g =10 m.s^{-2}**; - La hauteur **: H = 0,50 m** ; - L'angle : $\alpha = 30°$

Pour cet exercice, on assimile le skieur et ses accessoires à un point matériel G et on néglige tous les frottements et toutes les actions de l'air. Le skieur quitte le point O à l'instant $t = 0$ avec une vitesse $\vec{V_0}$ faisant un angle α avec l'horizontale.

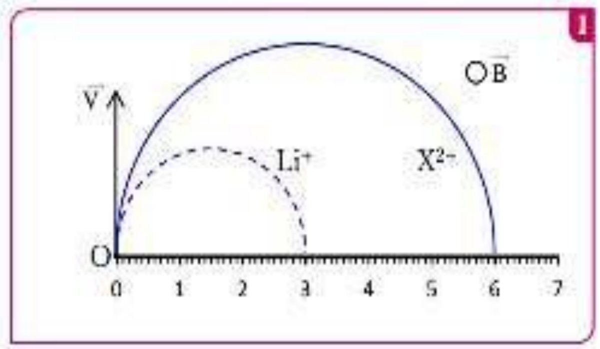
1- En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer l'équation différentielle que vérifie chacune des coordonnées du vecteur vitesse dans le repère $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$.

2- Montrer que l'équation de la trajectoire du skieur s'écrit dans le repère cartésien sous la forme

$$y(x) = -\frac{1}{2} g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 . \cos^2 \alpha} + x . \tan \alpha$$

3- Déterminer la valeur minimale h_m de la hauteur h pour que le skieur ne tombe pas dans le lac d'eau.

Exercice 3 Deux particules chargées Li^+ et X^{2+} sont introduites en un point **O**, avec la même vitesse initiale $\vec{V}$, dans un espace où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, perpendiculaire au vecteur $\vec{V}$ **q_X** et **m_X** sont respectivement la charge électrique et la masse de la particule X^{2+}. On considère que Li^+ et X^{2+} sont soumises seulement à la force de Lorentz.



Données : - La vitesse initiale **:** $V = 10^5\ m.s^{-1}$; L'intensité du champ magnétique : $B = 0{,}5T$;

- La charge élémentaire: $e = 1{,}6.\ 10^{-19}\ C$; - La masse de Li^+ : $m_{Li} = 6{,}015\ u$; $1u = 1{,}66.10^{-27}\ kg$;

- **La figure 1** représente les trajectoires des deux particules dans le champ $\vec{B}$

- on rappelle l'expression de la force de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$

1- Déterminer la direction, le sens et l'intensité du vecteur force $\vec{F}$ exercée sur la particule Li^+ au point **O.**

2- Préciser le sens du vecteur B en le représentant par ⊙ s'il est vers l'avant ou par s'il est vers l'arrière**.**

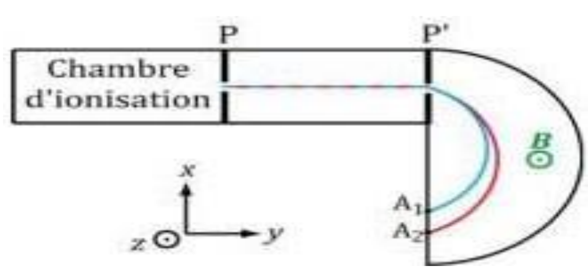
3- En appliquant la deuxième loi de Newton dans un référentiel galiléen, montrer que le mouvement de l'ion Li^+ est uniforme et de trajectoire circulaire de rayon $R_{Li} = \frac{mLi\ \ V}{e.B}$

4- En exploitant les données de **la figure 1**, déterminer le rapport $\frac{R_X}{R_{Li}}$; avec R_X le rayon de la trajectoire de la particule R_X de la particule X^{2+}**.**

5- Sachant que la particule X^{2+}**.** se trouve parmi les trois ions proposés avec leurs masses dans le tableau ci-dessous, identifier X^{2+}**.** en justifiant la réponse.

Ion	$^{24}_{12}Mg^{2+}$	$^{26}_{12}Mg^{2+}$	$^{40}_{20}Ca^{2+}$
Masse (u)	23,985	25,983	39,952

Exercice 4 Dans le spectromètre de Dempster, on produit des ions positifs = , qui sortent de la chambre d'ionisation par une fente avec une vitesse négligeable. On considère deux types d'ions $^{22}_{11}Na^+$ et $^{24}_{11}Na^+$ de même charge **q** et de masses différentes, notées respectivement m_1 et m_2. Ces ions sont accélérés par une tension U , appliquée entre les deux plaques P et P' : $V_P - V_{P'} = U > 0$



Donnée : $m_2=39,8.10^{-27}$ Kg ; $m_1=36,5.10^{-27}$ Kg $e=1,6.10^{-19}C$

$V_2=89700\ m.s^{-1}$; $V_1=93600 m.s^{-1}$ $B=0,2T$

Les ions traversent ensuite une zone de l'espace (appelée zone de déviation) où règne un champ magnétique transversal uniforme $\vec{B} = B\vec{K}$. Dans tout l'exercice, on considérera deux types d'ions, de même charge q et de masses respectives m_1 et m_2 ,arrivant dans la zone de déviation avec les vitesses respectives V_1 et V_2

1) Montrer que le mouvement des ions dans la zone de déviation est uniforme

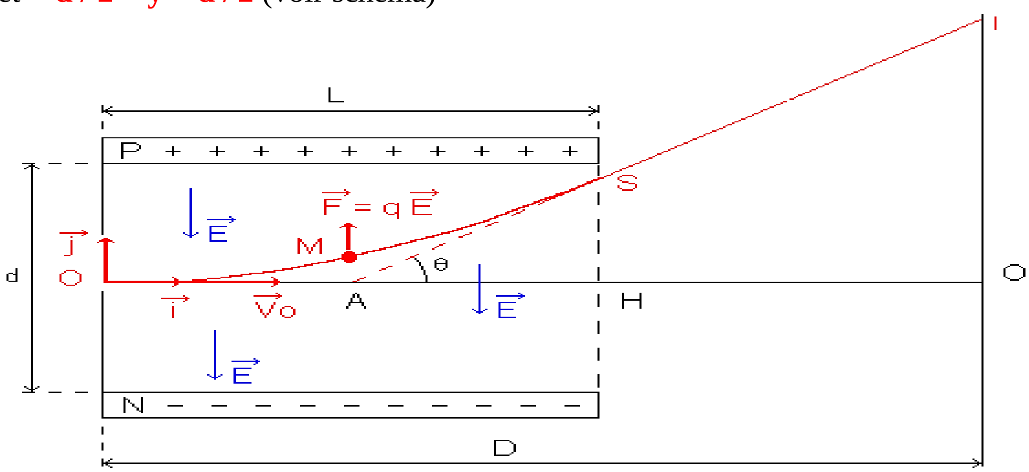
2) En supposant que le mouvement des ions dans la zone de champ magnétique est circulaire, exprimer le rapport des rayons R_1 et R_2 de ces trajectoires en fonction de V_1 , V_2 , m_1 et m_2.

3) En déduire la distance $d = A_1A_2$ entre les impacts des deux types d'ions.

Exercice 5 Un électron de charge $q = -e$, de masse **m**, arrive dans le vide, à l'instant t = 0 au point origine O d'un référentiel galiléen (voir schéma ci-dessous). Sa vitesse est $\vec{V}_0 = V_0\vec{i}$ ($V_0 > 0$) ; Cet électron est alors soumis à l'action d'un champ électrostatique uniforme : $\vec{E} = -\frac{U}{d}\vec{j}$ avec $U = U_P - U_N > 0$.

Ce champ électrostatique uniforme est créé entre deux plaques P et N dans la région d'espace définie par :

O < x < L et **- d / 2 < y < d / 2** (voir schéma)



1- Montrer qu'entre les plaques la trajectoire de l'électron est parabolique.

2- Donner la condition sur la tension U pour que la particule sorte du champ sans heurter les plaques.

3- Cette condition réalisée, la particule frappe un écran situé dans un plan $x = D > L$. Exprimer la déviation D_e du point d'impact I et montrer qu'elle est fonction linéaire de la tension $U = U_P - U_N$ appliquée entre les plaques P et N.

****************************** **CORRECTION** ******************************

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

Cours N°PM 4: Satellites et planètes

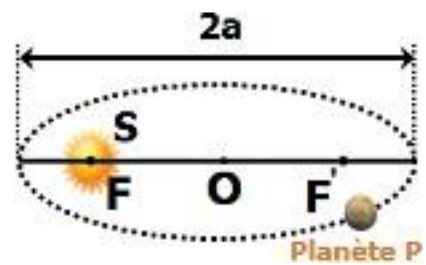
Introduction **Des centaines de satellites tournent autour de la Terre. Quelles sont les forces sur ces mouvements et quelles sont les lois qui les régissent ?**

I- Les lois de Kepler

1-Le référentielle héliocentrique .

Le référentielle Galiléen convenable pour l'étude des mouvements des planètes autour du soleil est le **référentielle héliocentrique**. Son repère a pour origine le centre du soleil et ces axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines considérées comme fixes pendant la durée des observations.

2-Les lois de Kepler :

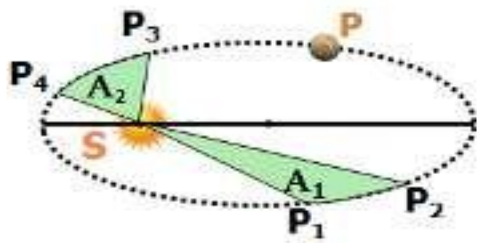


2-1 -Première loi de Kepler : loi des trajectoires.

Dans un **référentiel héliocentrique,** la trajectoire du centre d'une planète est **une ellipse** dont le centre du soleil est l'un des foyers.

2-2-Deuxième loi de Kepler : loi des aires .

Le segment de droites reliant les centres de gravité de soleil (S) et de la planète (P) balaie des aires égales pendant des durées égales.



Pendant la durée Δ**t**, la planète se déplace de la position $\mathbf{P_1}$ à la position $\mathbf{P_2}$ et le vecteur SP a balayée une aire $\mathbf{A_1}$; et pendant la même durée Δ**t**, la planète se déplace de la position $\mathbf{P_3}$ à la position $\mathbf{P_4}$ en balayant l'aire $\mathbf{A_2}$. telle que $\mathbf{A_1 = A_2}$. La vitesse devient donc plus grande lorsque la planète se rapproche du soleil.

2-3-Troisième loi de Kepler : loi des périodes .

Le rapport du carré de **la période de révolution T** d'une planète autour du soleil au cube de **demi-grand axe a** de l'ellipse est constant.

$$\frac{T^2 \,(s)}{a^3 \,(m)} = K$$

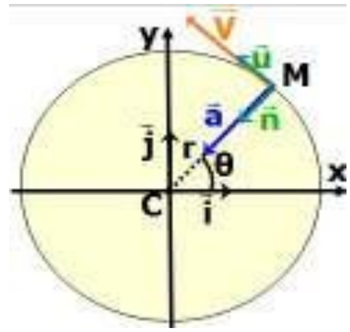
La constante K ne dépend pas de la planète

II-Mouvement circulaire uniforme.

Les trajectoires des planètes peuvent être considérées comme circulaires, dans ce cas les lois de Kepler deviennent :

- ✓ La trajectoire de la planète est circulaire dont le centre est le Soleil.
- ✓ La vitesse de P est constante ⇒ mvt circulaire uniforme .
- ✓ **a** = **r** : le rayon de la trajectoire est circulaire

1-Propriétes d'un mvt circulaire uniforme



Un mobile est en **mouvement circulaire uniforme** si sa trajectoire est un **cercle** et la valeur de la vitesse de son centre d'inertie **est constante**.

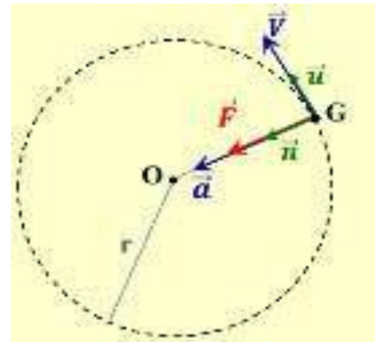
- **La vitesse angulaire** : ....
- **La période du mouvement (s)** : ....

- **Le vecteur vitesse dans le repère deFrenet :** ....
- **Le vecteur d'accélération dans le repère de Frenet :** ....

....

....

2-Conditions d'obtention d'un mouvement circulaire uniforme



En appliquant la deuxième loi de Newton :...

....

....

....

$\vec{a}$ est une accélération ....   donc $\vec{F}$ **est** ....

Pour que le mouvement d'un solide de masse **m** dans un référentiel galiléen soit circulaire uniforme si il faut que :

- **La somme vectorielle $\vec{F}$ des forces appliquées au solide soit centripète (dirigée vers le centre) .**
- **La valeur de $\vec{F}$ soit constante et vérifie la relation :** $F = \frac{mV^2}{r}$

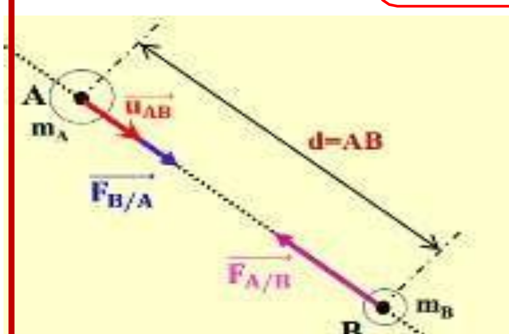
m : masse du corps (kg)   **V :** vitesse du corps (m/s)   **r :** rayon de la trajectoire (m)

III-Application des lois de Newton

1-La loi de gravitationnelle universelle.

La loi de la gravitation universelle est donnée par la relation**:**

....



$\vec{F}_{A/B}$: Force du corps A sur l'objet B en (N)

$\vec{F}_{B/A}$: Force du corps B sur l'objet A en (N)

G : constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67.10^{-11} N.m^2.kg^{-2}$

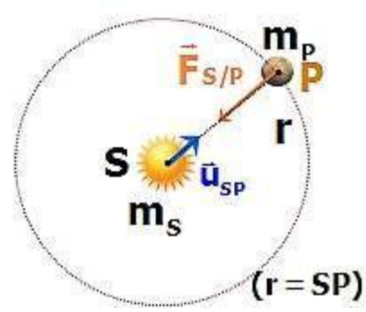
m_A: masse de l'objet A en (Kg)

m_B : masse de l'objet B en (Kg)

d : distance entre l'objet A et l'objet B en (m)

$\vec{u}_{AB}$: vecteur unitaire oriente de A vers B

2-Étude du mouvement d'une planète autour du soleil



On étudie le mouvement d'une planète de centre d'inertie **P**, de masse **m_P**, en mouvement autour du soleil de masse **m_S** et de centre S .On choisit **le référentiel héliocentrique** qui est galiléen. La seule force qui s'exerce sur la planète est la force d'attraction gravitationnelle exercée par le soleil.

En appliquant la 2ème loi de Newton, montrer que le mouvement du planète P est un mouvement circulaire uniforme.

....

....

....

....

....

❖ **L'expression de la vitesse V du centre d'inertie de la planète :** .

....

....

....

....

❖ **Période de révolution T :** La période de révolution d'une planète : c'est la durée d'un tour complet de son centre autour du soleil .

....

....

....

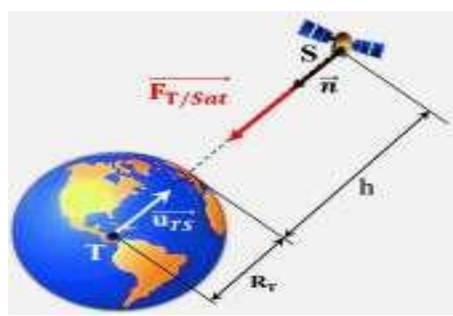
Remarque Cette relation permet de déterminer la masse M de la planète considérée à condition de connaître la période de révolution T du satellite autour de la planète et de connaître le rayon R de l'orbite du satellite.

Vérification de 3ème loi de Kepler :...

....

3-Étude du mouvement d'un satellite autour de la Terre .

On étudie un satellite en mouvement autour de la Terre. Le référentiel choisi est **le référentiel géocentrique** . La Terre de masse $\mathbf{m_T}$ exerce une force $\vec{F}_{T/Sat}$ d'attraction gravitationnelle sur la satellite de masse $\mathbf{m_{sat}}$.La deuxième loi de Newton donne :



En appliquant la 2ème loi de Newton, montrer que le mouvement du Satellite S est un mouvement circulaire uniforme.

....

....

....

....

....

....

....

....

❖ **L'expression de la vitesse V du centre d'inertie du satellite :**

....

....

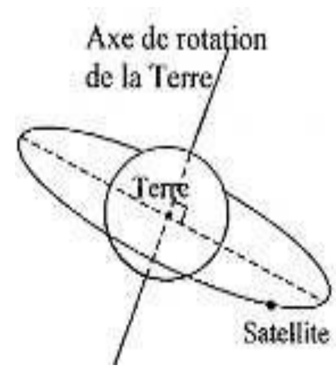
❖ **L'expression de période de révolution T :**

....

....

4-La satellisation

La satellisation consiste à mettre **un satellite** sur son orbite autour de la terre en lui communiquant une vitesse lui permettant d'avoir un mouvement circulaire, La satellisation se fait en deux étapes :



- Porter le satellite loin de la terre (à une hauteur h >200 km) (pour éviter le frottement fluide) ;
- Lancer le satellite avec une vitesse perpendiculaire au vecteur $\vec{TS}$ de valeur

$$V = \sqrt{G \frac{M_T}{(R_T + h)}}$$

5-Les satellites géostationnaires

On dit que un satellite géostationnaire si :

- Il semble immobile pour un observateur terrestre,
- Il tourne dans le **même sens** que celui de **la Terre** autour du même axe de rotation (axe des pôles) ;
- Il a une période de révolution T égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même. $T_{sat} = T_{terre}$

Pour satisfaire les conditions citées précédemment, l'orbite circulaire d'un satellite géostationnaire est donc contenue dans le plan équatorial de la Terre ;

Application **Calculer l'altitude à laquelle doit se trouver un satellite pour être géostationnaire**

....

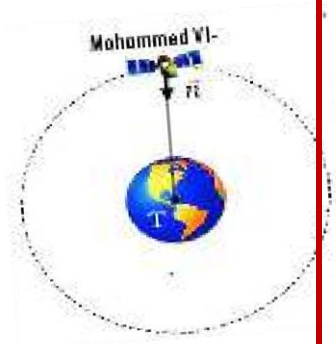
....

....

Données :

$G=6,67.10^{-11}(SI)$; $T=84164s$; $M_T=6.10^{24}kg$; $R_T=6387$ km

Série d'exercices : Planètes et Satellites



Exercice 1 **Le satellite marocain « Mohammed VI-A » a éte lancé le 07 novembre 2017 par la base spatiale de Kourou en Guyane. le satellite MOHAMMED VI-A est principalement utilisé pour les activités de cartographie, le développement régional, la surveillance agricole, la surveillance de l'évolution de l'environnement et de la désertification, ainsi que la surveillance des frontières et des côtes**.

Données : Période de Terre T = 86164 s ; Masse de Terre $M_T = 6.10^{24}$ Kg ;
Rayon de Terre : 6380 Km ; Constante de gravitation : G =$6,67.10^{-11}$ (SI)
La valeur de l'altitude de satellite par rapport à la surface de la terre : z = 647 km ;

1- Quel est référentiel convenable à l'étude du satellite (S) ?
2- Donner l'expression vectorielle de la force d'attraction universelle modélisant l'action de la Terre sur (S).
3- Par application de la 2ème loi de Newton sur le mouvement du centre de gravité du satellite (S) dans le répère du Freinet : Montrer que le mouvement de (S) est circulaire uniforme.
4- Montrer que la troisième loi de Kepler s'écrit sous forme : $\frac{T_s^2}{(R_T+z)^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_T}$
5- S'assurer que la période de révolution du satellite (S) est : $T_s = 5868\, s$.
6- Est –ce que le satellite « MOHAMMED VI » apparait immobile par rapport à un observateur terrestre. ? justifier votre réponse

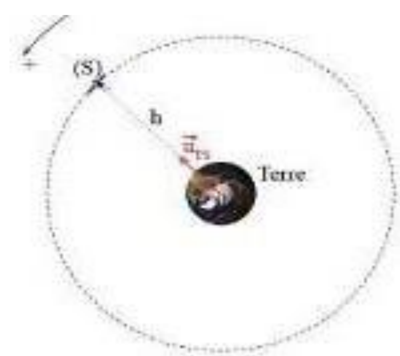


Figure 1

Exercice 2 le pigeon bleu est un satellite artificiel marocain assurant le contrôle des frontières géographiques du royaume et les télécommunications. Il a été instauré par des experts du centre royal de télédétection spatiale en collaboration avec experts internationaux.

Le pigeon bleu a été mis en orbite le 10 décembre 2001 à une altitude h du sol. Ce satellite artificiel (S) effectue environ 14 tours autours de la terre par jour.
On assimile l'orbite de (S) à un cercle de centre O, et on étudie son mouvement dans le repère géocentrique.

- La Terre est considérée comme une sphère à répartition sphérique de masse.
- On néglige les dimensions de (S) devant sa distance au centre de la Terre

Données :

- La valeur de la constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67.10^{-11}$ (SI) ;
- La valeur du rayon de la Terre : $R_T = 6350\ km$;
- La valeur de l'intensité de pesanteur à la surface de la Terre : $g_0 = 9{,}8\ m.s^{-2}$
- La valeur de la période de rotation de la Terre autour de son axe polaire : T = 86164 s ;
- La valeur de l'altitude : $h = 1000\ km$;
- $\vec{u}_{TS}$: Vecteur unitaire dirigé de O vers S

1) Recopier le schéma de **la figure 1**, et représenter dessus le vecteur vitesse $\vec{V}_S$ du satellite artificiel, et le vecteur force d'attraction universelle modélisant l'action de la Terre sur (S).
2) Donner l'expression vectorielle de la force d'attraction universelle modélisant l'action de la Terre sur (S).
3) Ecrire dans le repère de Freinet, l'expression du vecteur accélération du mouvement de (S).
4) Par application de la **2ème loi** de Newton sur le mouvement du centre de gravité du satellite (S) :
4-1- Montrer que le mouvement de (S) est circulaire uniforme.
4-2- Ecrire l'expression de V_S en fonction de g_0, R_T , et h. Calculer sa valeur.

5) Montrer que la masse de la terre est : $M_T = 6.10^{24}$ kg**.**

6) Montrer que le satellite artificiel n'apparait pas immobile par rapport à un observateur terrestre.

7) Un autre satellite artificiel **(S')** tourne autour de la Terre avec une vitesse angulaire **ω**, et apparait immobile par rapport à un observateur terrestre. Le **satellite (S'**) envoie à la terre des photos utilisées dans les prévisions météo.

7-1 Montrer que : $\boldsymbol{\omega}^2\ (R_T + z\ )^3\ =\ \ cst$ où est la distance séparant le sol terrestre du satellite (S').

7-2 Trouver la valeur de z.

***************************** **CORRECTION** ***************************

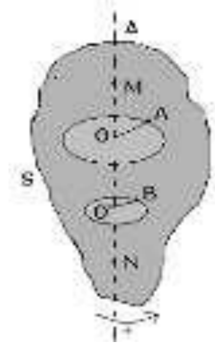
Cours N°PM 5: Mouvement de rotation

Introduction : Sous l'action d'un ensemble de forces, la grande roue est animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe. Un tel mouvement est caractérisé, à chaque instant, par son accélération angulaire. Qu'est-ce que l'accélération angulaire ? Quelle relation la relie aux moments des forces appliquées à la grande roue ?

I- Abscisse angulaire – Vitesse angulaire - accélération angulaire :

1- Rappel :

Un **solide indéformable** est en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ), si : « Tous les points du solide décrivent des trajectoires circulaires centrées sur l'axe de rotation, sauf les points qui appartiennent à cet axe ».



2- Repérage d'un point en mouvement :

On repère la position d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ), en utilisant **l'abscisse angulaire** θ ou bien **l'abscisse curviligne** S.

- **L'abscisse angulaire** θ : c'est l'angle entre $\overrightarrow{OM_0}$ et $\overrightarrow{OM}$:

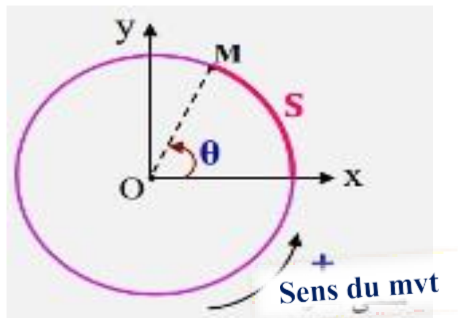
  $\theta = (\overrightarrow{OM_0} ; \overrightarrow{OM})$ s'exprime en radian (rad)

- **L'abscisse curviligne** s : c'est la longueur de de l'arc M_0M :

  $S = \widehat{M_0M}$ s'exprime en mètre (m)

- **Relation** entre **l'abscisse angulaire et l'abscisse curviligne est :**

  $S = R.\theta$ avec : R : rayon du cercle en (m)



3- Vitesse angulaire et vitesse linéaire

La vitesse angulaire $\dot{\theta}$: C'est la dérivée de l'abscisse angulaire par rapport au temps :

.... ;. en **(....)**

La vitesse linéaire V : C'est la dérivée de l'abscisse **curviligne** par rapport au temps :

.... ; en **(.....)**

Relation entre **la vitesse curviligne et la vitesse angulaire** :

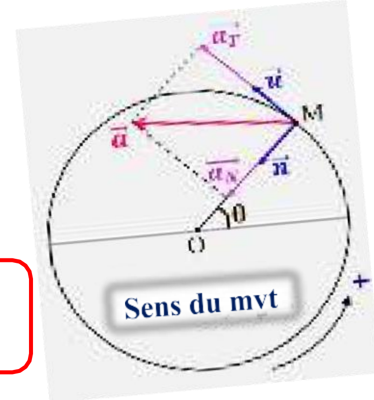
On a ... ... **par dérivation** ....

....

Remarque Le vecteur vitesse linéaire $\vec{V}$ est de direction tangentielle à la trajectoire circulaire au point M , dans la base de Frenet on a : $\vec{V} = V\vec{u}$

....

4- Accélération angulaire



L'accélération angulaire : C'est la dérivée de la vitesse angulaire par rapport au temps. **Dans le repère de Frenet $(M,\vec{u},\vec{n})$** ; **le vecteur accélération possède deux composantes :** $\vec{a} = a_T\vec{u} + a_N\vec{n}$

- **La composantetangentielle :**...

....

....

- **La composante normale :** ....

....

L'unité de a_T et a_N en SI est $m.s^{-2}$

Application 1 : L'expression de l'abscisse angulaire du point M d'un solide en rotation autour d'un axe fixe est :

$\theta(t) = 10t^2 + 40t + 6$ t est en (s) et θ en (rad)

1- Déterminer l'expression de la vitesse angulaire du point M en fonction du temps.
2- Déterminer l'expression de l'accélération angulaire du point M en fonction du temps.
3- Quelle est la nature du mouvement du point M.

....

....

....

....

....

....

....

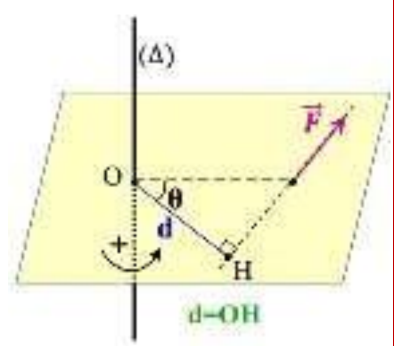
....

....

II- Principe fondamentale de la dynamique de rotation : (PFD)

1- Rappel moment d'une force

Le moment d'une force par rapport à l'axe de rotation (Δ) (passant par O) est le produit de **l'intensité F** de la force par **d distance** entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation :



....

s'exprime en (. .....)

- **Le moment d'une force** est une grandeur algébrique.
- Si la **droite d'action** de la force se coupe à l'axe (Δ), ou parallèle avec lui, alors le moment de cette force est nul : $M_\Delta(\vec{F}) = 0$

2- Enoncé PFD

Dans un repère lié au référentiel terrestre, pour un corps solide en rotation autour d'un axe fixe (Δ), **la somme algébrique des moments par rapport à l'axe fixe (Δ) de toutes les forces appliquées au solide est égale, à chaque instant, au produit du moment d'inertie J_Δ de ce solide par son accélération angulaire $\ddot{\theta}$:**

....

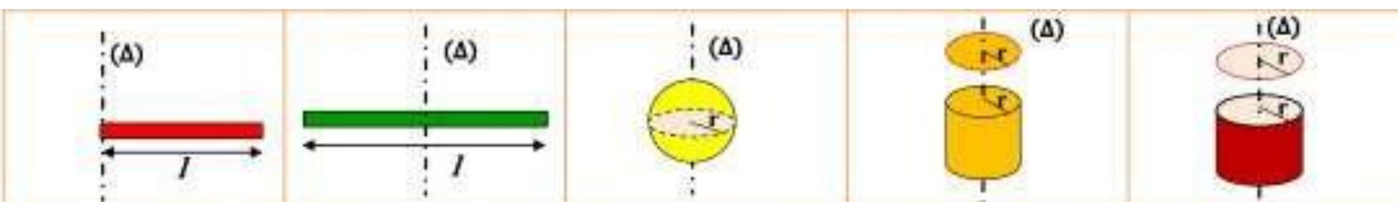
{ ....
....
....

Remarque

- Si $\ddot{\theta} = 0$, Le solide a un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe (Δ)
- Si $\ddot{\theta} = cte$ G 0, Le solide est animé d'un mouvement de rotation uniformément varié autour de l'axe (Δ)

3- Moments d'inertie de quelques solides particuliers :

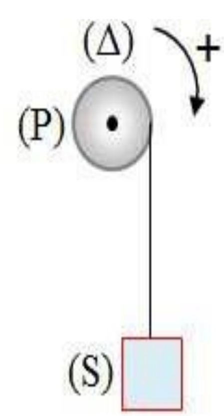
Le moment d'inertie d'un solide dépend de la masse du solide et de ses dimensions.



Tige :(Δ) Passant à l'extrémité	Tige : (Δ) Passant au milieu	Sphère plein	Disque ou cylindre plein	Anneau ou cylindre creux
$J_\Delta = \frac{1}{3}mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{12}mr^2$	$J_\Delta = \frac{2}{5}mr^2$	$J_\Delta = \frac{1}{2}mr^2$	$J_\Delta = mr^2$

III- Applications : Mvt d'un solide en translation et en rotation autour d'un axe fixe :

Application 1 Un corps (S) de masse $m_s = 0,8\ kg$ est attaché à une **corde inextensible** et de masse négligeable. La corde est enroulée **sans glissement** sur la poulie de rayon $r = 10\ cm$ et de masse $m_p = 0,2\ kg$. La poulie est en mouvement de rotation autour de l'axe (Δ) .



1- En appliquant la 2éme loi de Newton sur le **corps (S)** ,

Trouver l'expression T' , l'intensité de la force qui exerce la corde sur le **corps (S)**)

2- En appliquant le principe fondamentale de la dynamique sur **la poulie (P)** ,

Trouver l'expression T , l'intensité de la force qui exerce la corde sur la poulie (P)

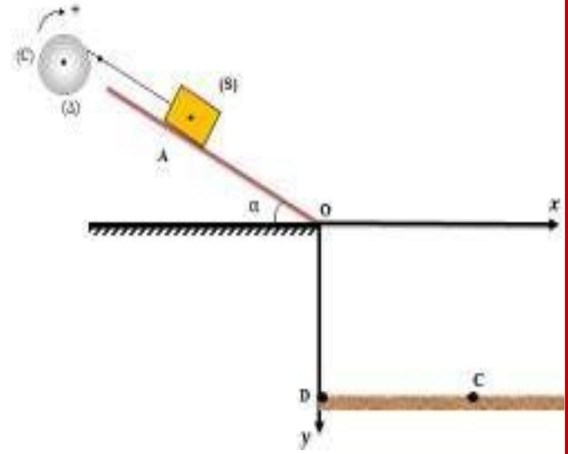
3- Montrer que l'expression de l'accélération acquise par le corps (S) est :

$$a = \frac{g\ sin(\alpha)}{1+\frac{M}{2m_S}} ;$$ puis Calculer sa valeur.

Données : **moment de couple de frottement du cylindre** $M_c = -0,38\ N.m^{-1}$

$g = 9,81\ m.s^{-2}$; **Moment d'inertie de poulie :** $J_\Delta = \frac{1}{2} m_p . r^2$

Série d'exercices : Mouvement de rotation



Exercice 1 On considère un corps S de masse $m = 0,\ 25kg$ capable de glisser sans frottement sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30°$ par rapport à la ligne horizontale. Le corps S est fixé par extrémité inférieure à un fil inextensible de masse négligeable et enroulé sur un cylindre homogène de rayon $r = 5cm$. capable de tourner sans frottement autour d'un axe horizontal et fixe A.

On donne : $J_{\Delta} = 2{,}5.10\ kg.m^2$ • g = 10m/s²

1) On libère le corps (S) du point A sans vitesse initiale et il glisse sans frottement sur le plan incliné provoquant la rotation du cylindre.

1-1- Déterminer l'accélération du corps (S) et en déduire la nature de son mouvement.

1-2- Déterminer la vitesse V_1 du corps S au point O sachant que $OA = 2\ m$.

2) Au point O le fil se détache du cylindre à un instant $t = 0$ et le corps S tombe au point **C** d'une altitude $OD = 75cm$.

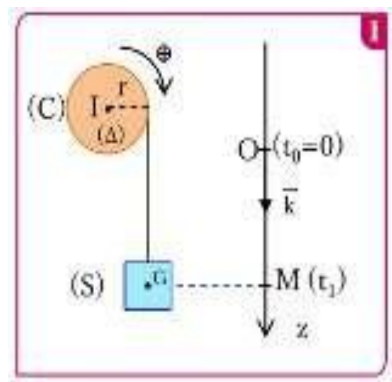
2-1 - Donner les équations horaires du mouvement du centre d'inertie du corps S dans le repère (O,x,y).

2-2- En déduire **:** - **a)** La durée de chute du corps S. - **b)** La distance DC.

3) Lorsque le fil se détache du cylindre, ce dernier est soumis à un couple résistant de moment constant $M_{\Delta} = -7,5.10\ N.m$ et il s'arrête de tourner après avoir effectué plusieurs tours.

3-1-Déterminer l'accélération angulaire θ du cylindre.

3-2-Quel est le nombre de tours effectué par le cylindre durant le freinage.



Exercice 2 On considère un disque homogène de rayon $r = 5cm$ pouvant tourner autour d'un axe fixe (Δ) sans frottements. Le moment d'inertie du disque par rapport (Δ) noté J_{Δ}. On enroule sur le disque un fil inextensible et sa masse négligeable, et à l'extrémité de ce fil on accroche un corps (S) sa masse est $m = 50g$.le fil ne glisse pas sur le disque. On libère le disque sans vitesse initiale à l'instant t=0s.

La **figure 2** représente la variation de z En fonction de t^2de centre d'inertie du corps

1- Trouver la valeur de l'accélération du corps (S).

2- Déduire la nature du mouvement.

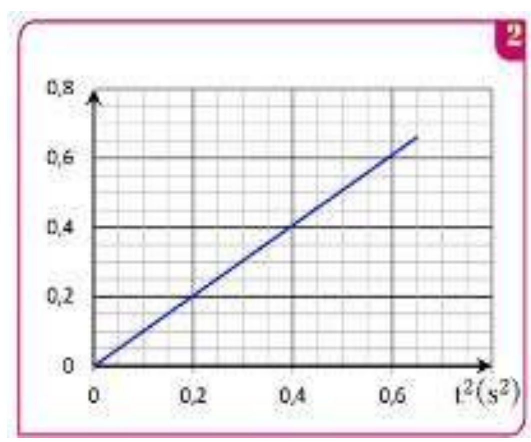
3- Quelle est la distance parcourue par le corps (S) à l'instant $t_1 = 1s$

4- Quelle la nature du mouvement du disque

5- Calculer le nombre du tours n effectués par le disque pendant la duré $\Delta t = t_1 - t_0$

6- En appliquant la deuxième loi de Newton sur (S) pour trouver la valeur de la force appliquée par le fil sur le corps

7- En appliquant le relation fondamentale de la dynamique sur disque pour la valeur de moment d'inertie J_{Δ} ..



*******************************CORRECTION*****************************

Cours N°PM6: Les Oscillations mécaniques

Introduction **Ces photos montrent des différents oscillateurs mécaniques. À quoi est du le mouvement d'un oscillateur mécanique ? Quelle est la nature de ce mouvement ? L'amortissement a-t-il influence sur ce mouvement ? Dans quelles conditions un oscillateur devient résonateur ?**

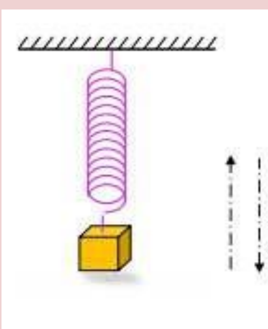
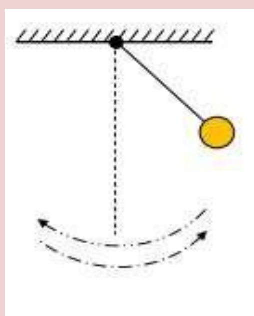
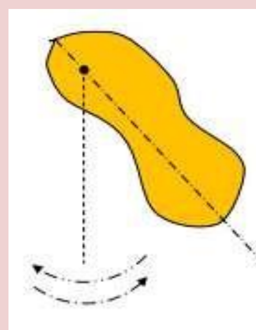
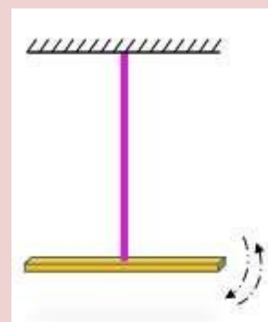
I- Des systèmes mécaniques oscillants

1- Definition :

Un système mécanique oscillant est un système animé d'un mouvement de **va** - et - **vient** autour de sa **position d'équilibre**.

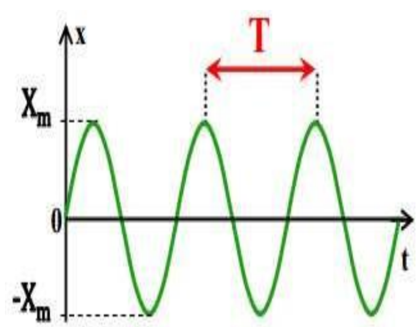
2- Exemples de quelques oscillateurs mécaniques:

On donne quelques exemples de systèmes mécaniques oscillants:

• Le pendule élastique :	• Le pendule simple :	• Le pendule pesant :	• Le pendule de torsion :
il est constitué d'un corps solide de masse **m** suspendu à un ressort à spires non jointives. 	il est constitué d'un corps solide de masse **m** suspendu à l'extrémité d'un **fil inextensible**. 	il est tout corps solide mobile autour d'un axe ne passant pas par son centre de gravité. 	il est constitué d'une barre horizontale, fixée à l'extrémité d'un **fil de torsion**. 

3- Caractéristiques des mouvements oscillatoires:

Un mouvement oscillatoire est caractérisé par:



- **Sa position d'équilibre stable** : C'est la position à laquelle le système tend à y revenir lorsque l'on en éloigne légèrement.
- **Sa période propre** T_0: C'est le temps mis pour effectuer une oscillation.
- **Son amplitude** X_M *ou* θ_M : C'est la valeur maximale positive que prend la grandeur qui exprime le décalage ou l'inclinaison de l'oscillateur de sa position d'équilibre.

4- Amortissement des oscillations mécaniques :

a) Définition:

En écartant un pendule élastique de sa position d'équilibre et en le lâchant, l'amplitude des oscillations diminue jusqu'à ce qu'il s'annule: on dit que le mouvement est amortie. Le phénomène d'amortissement est provoqué par les frottements. Il existe deux types de frottements:

-Le frottement solide : qui se fait entre l'oscillateur et un corps solide.

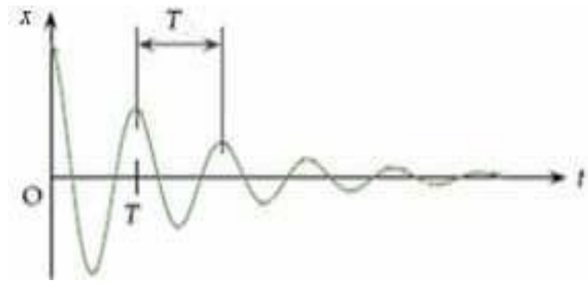
-Le frottement fluide : qui se fait entre l'oscillateur et un corps fluide (liquide ou gaz).

b) les régimes d'amortissement :

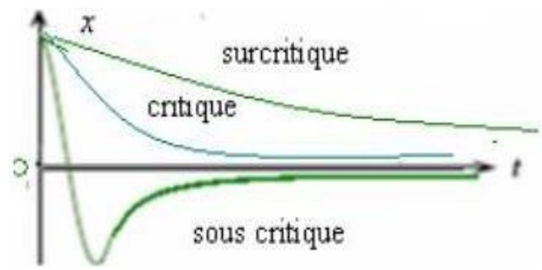
- **Le régime pseudo périodique** si l'amortissement est faible, l'amplitude des oscillations diminue progressivement jusqu'à ce qu'il s'annule.

T : La période propre

T_0 : La pseudo période



- **Le régime apériodique** si le frottement est fort les oscillations disparaissent et selon l'importance de l'amortissement on distingue trois régimes:
  - **Le régime sous critique**: l'oscillateur effectue une seule oscillation avant de s'arrêter.
  - **Le régime critique** : l'oscillateur revient à sa position d'équilibre sans oscillations.
  - **Le régime sur-critique** l'oscillateur revient à sa position d'équilibre après un temps très long sans oscillations.

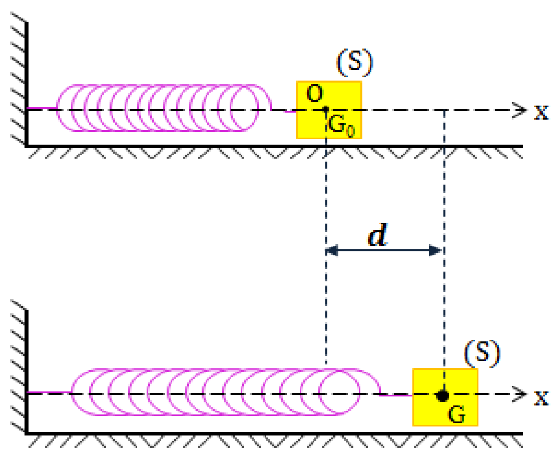


II-Etude de quelques systèmes mécaniques oscillants:

1- Pendule élastique horizontale : étude expérimentale : animation

On dispose sur un banc à coussin d'air horizontal un solide (S) de masse **m** attaché à l'une des extrémités d'un ressort à spires non jointives de masse négligeable et de constante de raideur **k** , l'autre extrémité du ressort accrochée en un point **o** fixe.

- les frottements seront considérés comme négligeables.
- Au repos, G, centre d'inertie de S, est en O, pris comme origine des abscisses sur l'axe horizontal (O, x).
- On écarte G de sa position d'équilibre suivant (O, x) d'une distance **d** vers la droite et sans vitesse initiale.



1-1 Faire le bilan des forces et les représenter

....

....

....

....

1-2 Déterminer l'équation différentielle

....

....

....

....

....

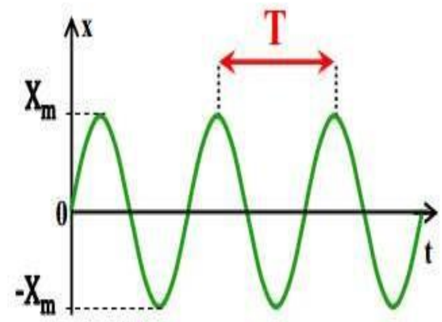
....

....

1-3 Solution de l'équation différentielle : équation horaire

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

$x(t) = x_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \boldsymbol{\varphi}\right) = x_m \cos(\boldsymbol{\omega}_0 t + \boldsymbol{\varphi})$, Avec



$x(t)$: l'élongation qui est une valeur algébrique, Elle s'exprime en mètre (m) ,

$-x_m < x(t) < +x_m$

T_0 : est la période propre du mouvement. Elle s'exprime en seconde (s) **;**

$\boldsymbol{\omega}_0$: *est la pulsation propre* ($rad.s^{-1}$)

$\boldsymbol{\varphi}$: est la phase à l'origine des dates. Elle s'exprime en radian (rad)

X_m : est l'amplitude des oscillations. Elle s'exprime en mètre (m)

1-4 Déterminer l'expression de T_0 .

………

………

………

………

………

………

…………………………………………………………………………………………… ……………………………

Ramarque :

………

………

Application 1 :

Déterminer en exploitant le graphe les grandeurs suivantes :l'amplitude x_m, la période T_0 et $\boldsymbol{\varphi}$ la phase à l'origine des dates.

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

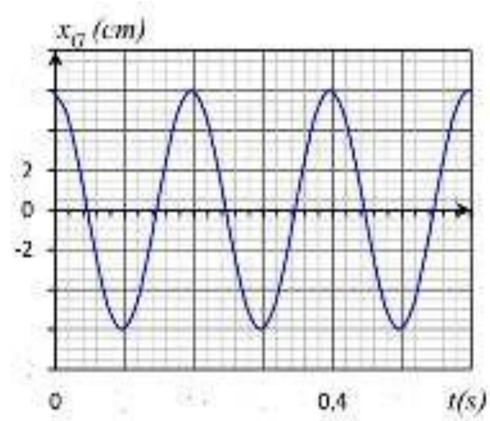
……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

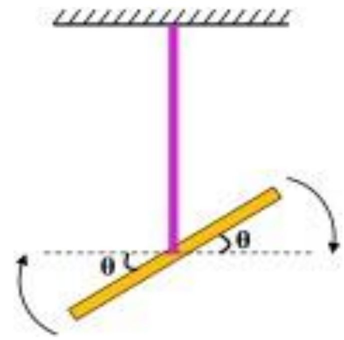
……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………



2- Pendule de torsion



Un pendule de torsion est un solide suspendu à un fil vertical, le centre de masse étant sur l'axe du fil, l'autre extrémité du fil étant maintenue fixe dans un support.Quand le solide tourne autour de l'axe du fil, celui-ci réagit à la torsion en exerçant des forces de rappel équivalentes à un couple dont le moment par rapport à l'axe est proportionnel à l'angle de torsion : **moment du couple de torsion** $M_\Delta = -C\ \theta$, la constante **C** dite constante de torsion dépend de la longueur et du diamètre du fil et de la nature du matériau constituant le fil. On écarte le pendule de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 et on le lâche **sans vitesse** initiale à t=0. Les frottements sont supposés négligeables.

2-1 Faire le bilan des forces et les représenter

....

....

2-2 Déterminer l'équation différentielle

....

....

....

....

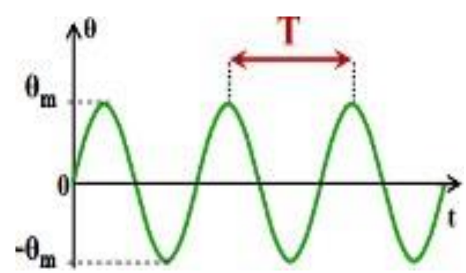
....

....

2-3 Solution de l'équation différentielle : équation horaire

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

$\theta(t) = x_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \boldsymbol{\varphi}\right) = \theta_m \cos(\boldsymbol{\omega_0} t + \boldsymbol{\varphi})$, Avec :



$\theta(t)$: l'abscisse angulaire qui est une valeur algébrique, Elle s'exprime en radian (rad) , $-\theta_m < \theta(t) < +\theta_m$

T_0 : est la période propre du mouvement. Elle s'exprime en seconde (s) ;

$\boldsymbol{\omega_0}$: *est la pulsation propre* (rad.s^{-1})

$\boldsymbol{\varphi}$: est la phase à l'origine des dates. Elle s'exprime en radian (rad)

θ_m : est l'amplitude des oscillations. Elle s'exprime en radian (rad)

2-4 Déterminer l'expression de T_0 .

....

....

....

....

....

....

....

Remarque 1 :

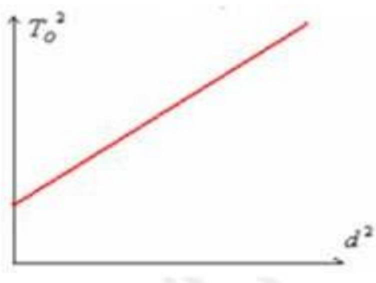
……

……

Remarque 2 : Si la tige du pendule de torsion porte deux masselottes équivalentes ayant la même masse. Dans ce cas le moment d'inertie de l'ensemble est : $J'_\Delta = J_\Delta + 2md^2$ **et la période propre :** $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J'_\Delta}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{J_\Delta + 2md^2}{C}}$

Donc $T_0^2 = \frac{4\pi^2 J_\Delta}{C} + \frac{8\pi^2 m}{C} d^2$

La courbe $T_0^2 = f(d^2)$ **est une fonction affine,**



Son abscisse à l'origine … … … … … … … … …

Son coefficient directeur k $= \frac{\Delta T_0^2}{\Delta d^2} =$ … … … … ….

Application 2 : Un pendule de torsion est constitué d'un disque solide fixé en son centre à un fil métalliqu. l'autre extrémité du fil est fixée à un support . Le moment d'inertie du disque par rapport à son axe (Δ) qui coïncide avec le fil est $J_\Delta = 5.10^{-3} kg.m^2$ **.** On fait tourner le disque autour de son axe (Δ) et on l'abandonne sans vitesse initiale à la date $t_0 = 0$.

L'équation horaire du mouvement du disque est : $\theta(t) = \frac{5\pi}{100}\cos(2,38\pi t)$

1. Déterminer l'amplitude et la fréquence du mouvement du disque.

2. Calculer la constante de torsion C.

……

……

……

……

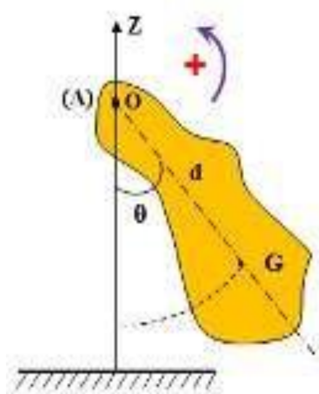
……

……

……

3- Pendule pesant

On considère un pendule pesant constitué d'une tige homogène AB. Ce système peut tourner autour d'un axe horizontal (Δ), son moment d'inertie par rapport à (Δ) est J_Δ et sa masse est **m** . On écarte de sa position d'équilibre d'un angle θ_m, puis libéré sans vitesse initiale, le système **(S)** effectue un mouvement de **va**-et-**vient** autour de sa position d'équilibre . Les frottements sont supposés négligeables et les positions du pendule sont repérées par l'abscisse angulaire θ qui forme le système **(S)** avec la verticale OZ passant par la position G_0 du centre d'inertie G du système.



3-1 Faire le bilan des forces et les représenter

……

……

……

3-2 Déterminer l'équation différentielle

……

……

……

……

……

……

……

……………………………………………………………………………… ……………………………………………

3-3 Solution de l'équation différentielle : équation horaire

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

$\theta(t) = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \boldsymbol{\varphi}\right)$ où T_0 $\boldsymbol{\varphi}$, et θ_m **sont des constantes .**

3-4 Déterminer l'expression de T_0 .

……

……

……

……

……

……

……………………………

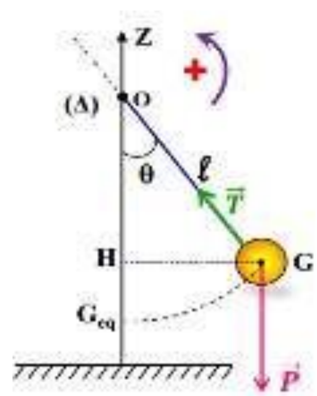
Ramarque :

……

……

4- Pendule simple

Un pendule simple est constitué d'une bille de masse **m** et de centre d'inertie G. Cette bille, assimilable à un objet ponctuel, est accrochée à l'extrémité O d'un fil inextensible de longueur P et de masse négligeable. On écarte le pendule de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 avec la verticale et on le lâche sans vitesse initiale à t=0.Les frottement sont supposés négligeables.



4-1 Déterminer l'équation différentielle .

....

....

....

....

....

....

....

....

Ramarque :

....

....

4-3 Solution de l'équation différentielle : équation horaire

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

$\theta(t) = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \boldsymbol{\varphi}\right)$ où T_0 $\boldsymbol{\varphi}$ $, et$ θ_m **sont des constantes**

4-4 Déterminer l'expression de T_0 .

....

....

....

....

....

....

....

Ramarque :

....

....

4-5 Analyse dimensionnelle de T_0 .

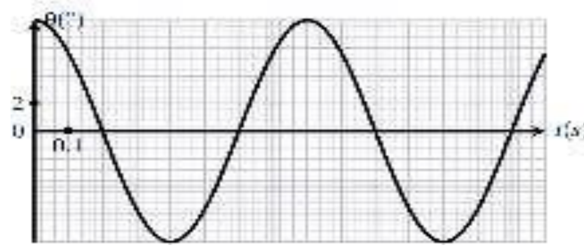
....

....

....

....

....



Application 3 : La courbe ci-contre représente la variation de l'élongation angulaire d'un pendule simple en fonction du temps :

1. Les frottements ont-ils une influence sur le mouvement du pendule ?
2. Préciser les conditions initiales du mouvement.
3. Déterminer l'amplitude et la période propre du mouvement
4. Calculer l'intensité de pesanteur **g** sachant que la longueur du pendule est $l = 0{,}16m$

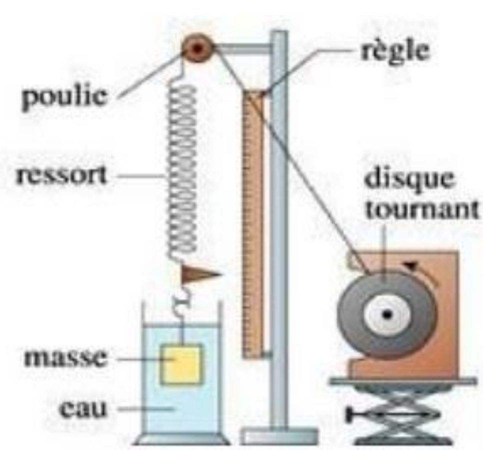
………
………
………
………
………
………
………
………
………
………
………
………
………

III- Phénomène de résonance mécanique

1- Oscillations forcées

Les frottements agissent sur les oscillations mécaniques et leur mouvement devient amorti. Et on peut entretenir leur mouvement en récompensant l'énergie dissipée par une méthode convenable à l'oscillateur. On lie l'oscillateur avec un appareil qui lui fournit l'énergie nécessaire pour que son mouvement soit entretenu, cet appareil s'appelle : **l'excitateur** qui est un système ayant un mouvement oscillatoire qui impose sa période T_e à l'oscillateur qui s'appelle **résonateur** et le mouvement de ce dernier devient forcé.

2- Résonance mécanique



Dans cet exemple le **pendule élastique** joue le rôle du **résonateur**, sa fréquence propre est f_0 , alors que **le moteur** (disque tournant) joue le rôle de **l'excitateur** sa fréquence est f_e.

En liant l'oscillateur mécanique avec le moteur, il s'oblige d'osciller avec une fréquence égale à celle du moteur.

En faisant varier la fréquence **du moteur** on obtient la plus grande amplitude du résonateur lorsque la fréquence du moteur (excitateur) est égale à la fréquence propre du pendule élastique (résonateur) , **on dit qu'il y'a résonance**

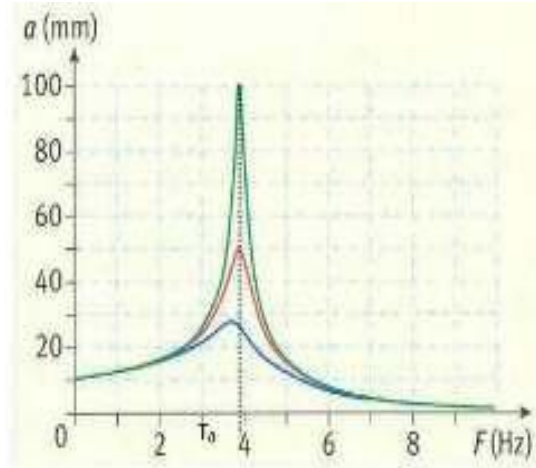
....

....

Remarque

Dans le cas d'un amortissement faible du résonateur, l'amplitude des oscillations forcées à la résonance prend une valeur grande ; **on dit que la résonance est aigue**.

Dans le cas d'un amortissement du résonateur fort, l'amplitude des oscillations prend une valeur faible, **on dit que la résonance est floue**.



Série d'exercices : Oscillations mécaniques

Exercice 1 : On considère un pendule élastique vertical constitué d'un ressort de constante de raideur **k = 20N/m** et d'un corps solide de masse $m = 200g$ On écarte le corps S verticalement vers le bas à partir de sa position d'équilibre d'une distance égale à **3cm** et on le lâche sans vitesse initiale.

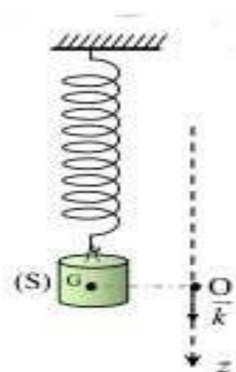
A l'instant $t = 0$ le corps passe de la position d'équilibre stable G, dans le sens positif.

1) Déterminer l'allongement du ressort à l'équilibre ΔP_0

2) Déterminer l'équation différentielle du mouvement.

3) Donner l'équation horaire du mouvement.

4) Déterminer la période propre du mouvement. **On donne** $g = 10N/\text{kg}$.



Exercice 2 : Un pendule élastique est placé sur un plan inclinéd'un angle $\alpha = 30°$ par rapport au plan horizontal .Le pendule élastique est constitué d'un ressort maintenue par un support fixe à l'une de ses extrémités alors que l'autre extrémité est liée à un corps solide de masse de masse $m = 200g$. (voir schéma).

Sachant que l'allongement du ressort à l'équilibre est: $\Delta P_0 = 8\ cm$

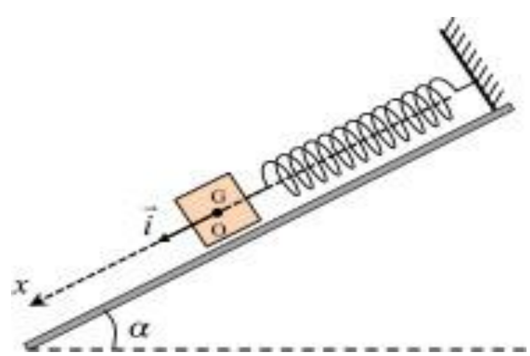
1) Déterminer l'allongement de ressort à l'équilibre.

2) On écarte le corps de sa position d'équilibre de 2cm selon la ligne de la grande pente vers le bas et on le lâche sans Vitesse initiale.

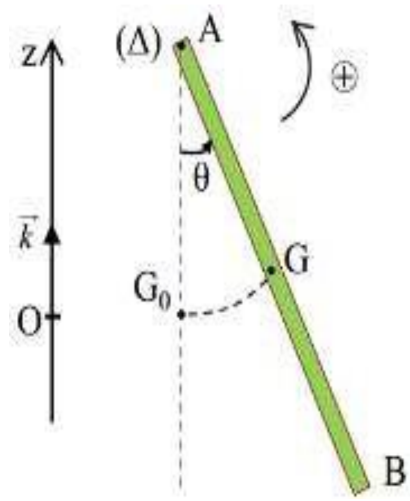
2-1- Déterminer l'équation différentielle du mouvement.

2-2- Sachant que le corps passe à $t = 0$ du point d'abscice $x = +1\ cm$ dans le sens positif. Déterminer l'équation horaire du mouvement.

On donne : $g = 10\ N/\text{kg}$



Exercice 3 : Le pendule étudié est composé d'une barre homogène **AB** , sa masse $m = 0,203$ kg , **Figure ci-contre** sa longueur $AB = P = 1,5\ m$, mobile dans un plan plan vertical autours d'un axe horizontal (∆) fixe passant son extrémité A . On étudie dans un repère lié à un référentiel terrestre supposé galiléen .On repère , à chaque instant t , la position du pendule par son abscisse angulaire θ. On donne le moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation (∆) : $J_{\Delta} = \frac{1}{2} m P^2$.



On admet dans le cas des petites oscillations que : $\sin\theta \approx \theta$ avec θ en radian . On note g l'intensité de la pesanteur.

On écarte le pendule pesant de sa position d'équilibre stable d'un petit angle θ_m dans le sens positif et on le lâche sans vitesse initiale à instant pris comme origine des dates.

1- Par application de la relation fondamentale de la dynamique de rotation, établir l'équation différentielle du mouvement du pendule.

2- Déterminer la nature du mouvement du pendule pesant et écrire l'équation horaire **θ(t)** en fonction de **t** , θ_m et la période propre T_0**.**

3- Montrer que l'expression de la période propre de ce pendule est : $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{2P}{3g}}$ **;**

1- Calculer la longueur L du pendule simple synchrone avec le pendule pesant étudié .

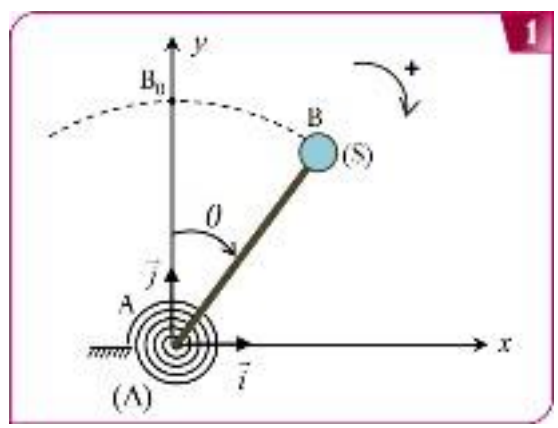
Exercice 4 : Le gravimètre est un appareil qui permet de déterminer, avec une grande précision, la valeur deg ; valeur d'intensité du champ de pesanteur en un lieu donné.

Les domaines d'utilisation des gravimètres sont nombreux : la géologie, l'océanographie, la sismologie, l'étude spatiale, la prospection minière….etc

On modélise un type de **gravimètre**s par un système mécanique oscillant constitué de :

- une tige AB, de masse négligeable et de longueur L, pouvant tourner dans un plan vertical autour d'un axe fixe (∆) horizontal passant par l'extrémité A ;
- un corps solide (S), de masse m et de dimensions négligeables, fixé à l'extrémité B de la tige ;

un ressort spiral, de constante de torsion C, qui exerce sur la tige AB un couple de rappel de moment $M_C = -C.\theta$; où θ désigne l'angle que fait AB avec la verticale ascendante **Ay**. (**figure1**)



On étudie le mouvement de ce système mécanique dans un repère orthonormé $(A, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$ lié à un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Données:

- masse du solide (S) : $m = 0{,}05\ kg$; - longueur de la tige : $L = 0{,}7\ m$;
- constante de torsion du ressort spiral : $C = 1{,}31 N.m.rad^{-1}$;
- expression du moment d'inertie du système par rapport à l'axe(∆) : $J_{\Delta} = m.L^2$
- pour les angles faibles : $\sin\theta \approx \theta$ et $\cos\theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$ avec θ en radian

-On écarte le système mécanique de sa position d'équilibre vertical d'un angle petit max ϴ dans le sens positif puis on le lâche sans vitesse initiale à un instant $t = 0$.

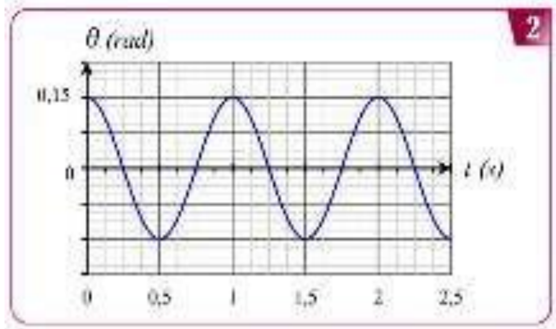
-Le système est repéré, à chaque instant t, par son abscisse angulaire . - On néglige tous les frottements.

1- En appliquant la relation fondamentale de la dynamique dans le cas de la rotation autour d'un axe fixe, montrer que l'équation différentielle du mouvement du système étudié s'écrit, pour les faibles oscillations, sous la forme.

$$\ddot{\theta} + \left(\frac{C}{m.L^2} - \frac{g}{L}\right)\theta = 0$$

2- En utilisant les équations aux dimensions, déterminer la dimension de l'expression $\frac{C}{m.L^2} - \frac{g}{L}$

3- Pour que la solution de l'équation différentielle précédente soit sous la forme : $\theta(t) = \theta_{max}.\cos\left(\frac{2\pi}{T} + \boldsymbol{\varphi}\right)$, il faut que la constante de torsion C soit supérieure à une valeur minimale C_{min}. Trouver l'expression de C_{min} en fonction de , m et g .



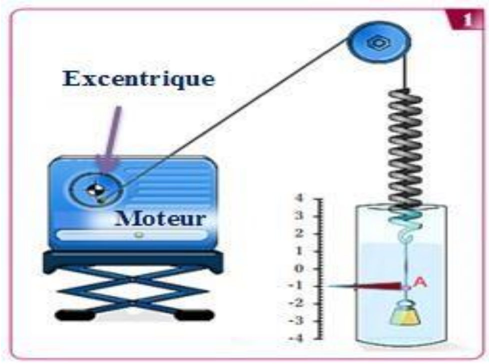
4- La courbe de **la figure 2** représente l'évolution de l'abscisse angulaire $\theta(t)$ dans le cas où $C > C_{min}$

4-1- Déterminer :

la période T , l'amplitude θ_{max} et la phase à l'origine $\boldsymbol{\varphi}$

4-2- Trouver l'expression de l'intensité de pesanteur g en fonction de L , m, C et T Calculer sa valeur . (avec π=3,14)

Exercice 5 Le montage ci-contre de **la figure 1** permet d'étudier les oscillations forcées du système {**solide - ressort**}. À l'aide d'un fil, on relie l'extrémité supérieure du ressort à un excentrique point du disque du moteur. Lorsque ce dernier tourne, il engendre un mouvement oscillatoire vertical du système avec une période égale à la sienne. En traitant les données par un système informatique on obtient **la courbe de la figure 2** représentant les variations de l'abscisse x du centre d'inertie du solide en fonction du temps (l'abscisse x_0 correspond à la position d'équilibre du solide).

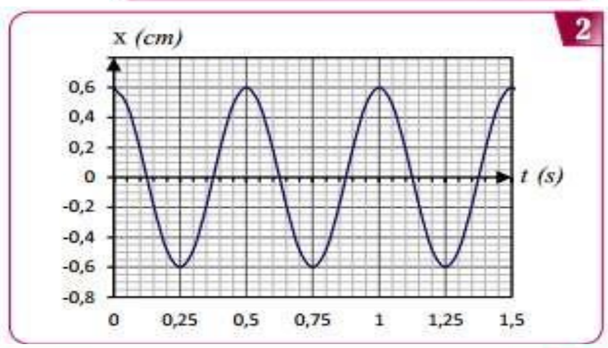


On donne : m = 100g et $K = 40N.m^{-1}$

1. **a.** Déterminer la période, la fréquence et l'amplitude des oscillations du système.

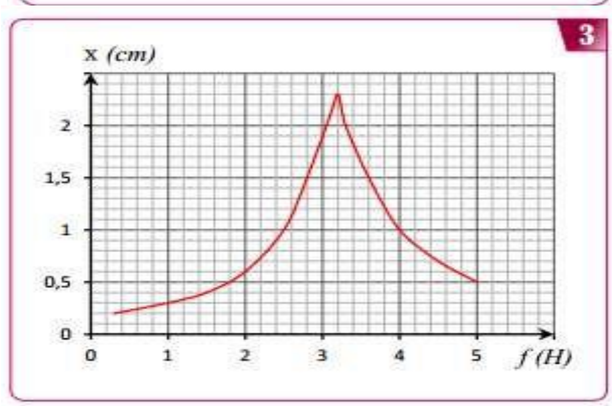
   b. Quelle est la fréquence de rotation du disque du moteur ?

   c. Qu'appelle-t-on le système { solide - ressort} ? et le moteur ?



2. On change la fréquence du disque du moteur et on enregistre, comme c'est décrit précédemment, les oscillations du système { solide- ressort } pour chaque fréquence. Puis on trace $x = f(N)$ **la figure 3**

N(Hz) :	1,5	2	2,5	2,8	3,1	3,2	3,3	3,6	4,5
X(cm) :	0,4	0,6	1,0	1,5	2,1	2,3	1,5	1,0	0,7



a. Déterminer la fréquence et la période des oscillations à la résonance.

b. Comparer cette période à la période propre du système.

Exercice 6 Un pendule de torsion est constitué d'un fil d'acier de constante de torsion C et une barre homogène AB de longueur L, suspendue à ce fil en son centre O (**figure-1**).Son moment d'inertie par rapport à l'axe (Δ)confondu avec le fil est J_0.

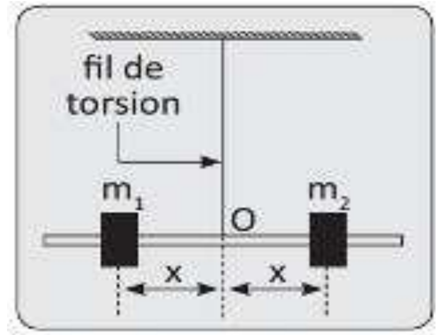


Figure 1

- A la même distance x de l'axe, on fixe sur la tige deux masselottes (S_1) et (S_2) de masses $m_1 = m_2 = m = 100\ g$
- Le moment d'inertie du système ainsi constitué $\{AB + (S_1)(S_2)\}$ a pour expression. $J_\Delta = J_0 + 2m.x^2$
- On écarte la barre de sa position d'équilibre, dans le plan horizontal, jusqu'à l'angle $\theta_m = \frac{\pi}{6}\ rad$ et on l'abandonne sans vitesse à une date $t_0 = 0$

On néglige les frottements et on prend $\pi^2 =$ **10.**

1- à l'aide d'une étude dynamique, établir que**:** $\ddot{\theta} + \frac{C}{J_\Delta}\theta = 0$

2- Sachant que .$\theta(t) = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \boldsymbol{\varphi}\right)$ trouver l'expression de T_0

3- Montrer que: $$T_0^2 = \frac{4\pi^2 J_0}{C} + \frac{8\pi^2 m}{C}x^2$$

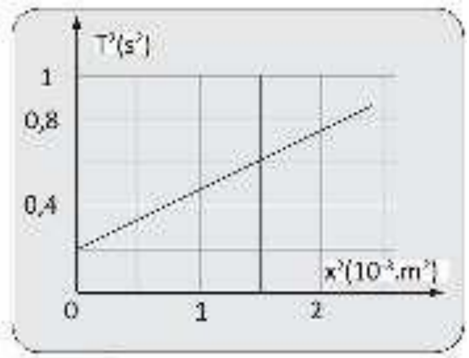


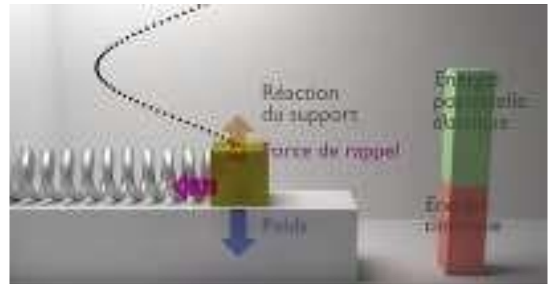
Figure 2

4- On fait varier la distance x et on mesure à l'aide d'un chronométré la période T_0 , Déterminer :

4-1 La valeur de la constante de torsion C.

4-2 La valeur du moment d'inertie J_0 de la barre AB.

******************************CORRECTION*****************************



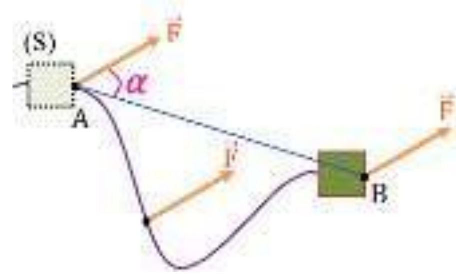
Introduction **Le mouvement d'un oscillateur quelconque se justifie via les échanges énergétiques entre les constituants du système oscillant.**

Comment un ressort intervient-il dans les échanges énergétiques ?

I- Travail d'une force

1- Travail d'une force constante

Le travail d'une force constante $\vec{F}$, d'un point A vers un point B est le produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ **.**



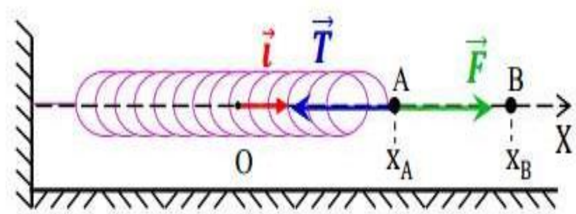
....

L'unité du travail dans le S I des unités est le **Joule** (J).

2 - Travail d'une force non constante

2- 1 Le travail de la force appliquée par un ressort

Méthode 1 : Méthode analytique



Considérons un ressort de longueur initiale ℓ_0 et de constante de raideur K placé sur un plan horizontal comme l'indique la figure suivante ; La tension du ressort $\vec{T} = -K.x.\vec{i}$ n'est pas une force constante . Pour calculer le travail de la force $\vec{F}$, on doit considérer le travail élémentaire de cette force dW sur un déplacement infiniment petit $\vec{dl}$ sur lequel nous considérons que la force est constante :

dW = ... avec $\vec{F}$ = ... et $\vec{dl}$ = ____

....

Le travail total de la force $\vec{F}$, lorsque son point d'application se déplace d'un point d'abscisse x_A à un point d'abscisse x_B est la somme des travaux élémentaires, on l'obtient en utilisant le calcul intégral,

....

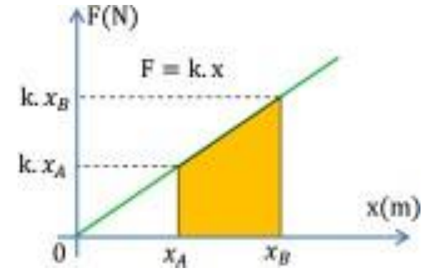
....

....

Donc **le travail de la force** $\vec{F}$ lorsque son point d'application se déplace d'un point A d'abscisse x_A à un point B d'abscisse x_B est donnée par la relation suivante :. ....

Le travail de la force $\vec{T}$ **du ressort** est : ....

Méthode 2 : Méthode géométrique



L'intégrale de la fonction $F = K.x$ est l'**aire** de la partie du plan limitée par courbe de la fonction **F** et l'axe des abscisses , avec $x_A < x < x_B$:

$W_{A\to B}(\vec{F}) = \text{Aire de grand triangle} - \text{Aire de petit triangle}$

....

....

II- Etude énergétique du pendule élastique horizontal

1- Energie cinétique

L'énergie cinétique est l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement. L'énergie cinétique **pendule élastique** est donnée par la relation suivante :

....

m: ....

$\dot{x}$:..

2- Energie potentielle élastique :

Energie potentielle élastique E_{Pe} d'un **pendule élastique** est l'énergie qu'il possède grâce **à la déformation** du ressort, elle est donnée par la relation suivante :

....

Avec :

x: ....

C : ....

En considérant comme état de référence $E_{Pe} = 0$ lorsque $x = 0$

....

Remarque : Variation de l'énergie potentielle élastique ne dépend pas de l'état de référence :

....

....

....

....

....

....

....

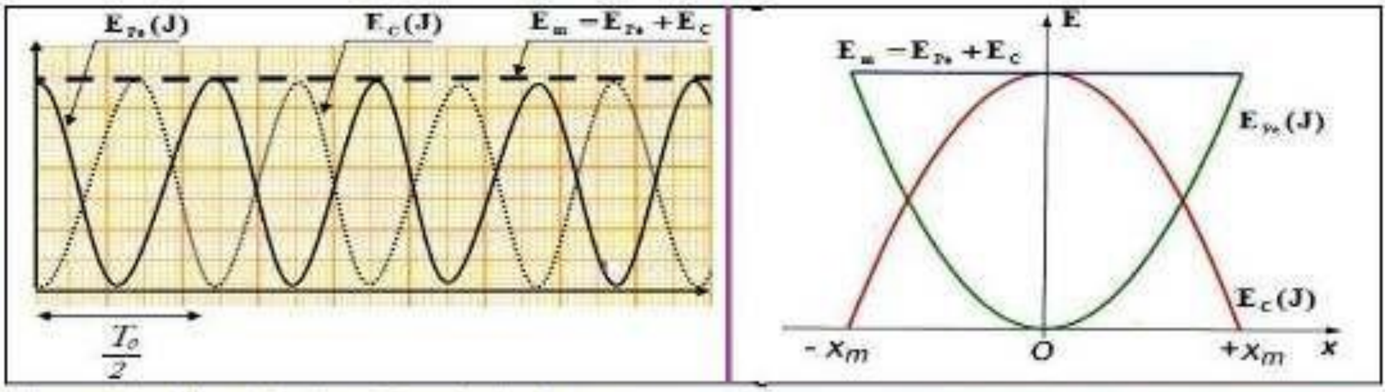
3- Energie mécanique d'un système {masse +ressort} :

L'énergie mécanique d'un pendule élastique horizontal est la somme de **l'énergie potentielle élastique** et **l'énergie cinétique :**

....

4- L’expression de l’énergie mécanique

a- Cas des oscillations non amorties (: sans frottements)



Les variations d'énergies Ec, Epe et Em en fonction de temps — Les variations d'énergies Ec, Epe et Em en fonction de l'élongation x

➢ D’après les résultats des deux figures: Dans le cas des **oscillations sans frottements**, l’énergie mécanique de l’oscillateur est : ....

à la position $x = 0$	**à la position** $x = X_M$
....	....
....	

Remarque :

- ✓ La relation entre la période de l’’énergie **T** et période propre T_0 du mouvement est : $T = \frac{T0}{2}$
- ✓ L’amplitude des oscillations reste constante au cours du temps, alors **:** $\frac{dE_m}{dt}$ **= 0**
- ✓ En dérivant l’expression de l’énergie mécanique, on obtient l’équation différentielle du mouvement..

....

....

....

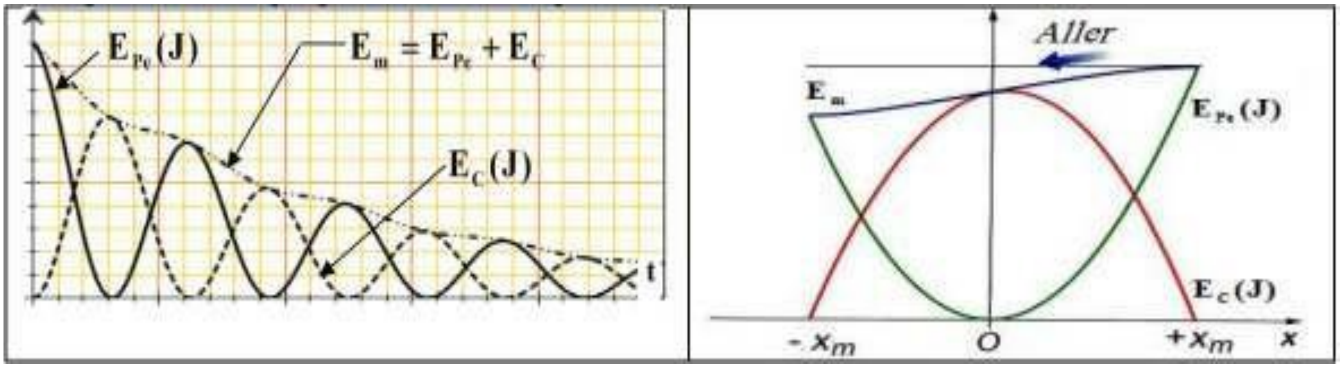
....

....

b- Cas des oscillations amorties (: avec frottements)

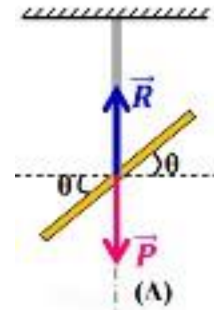
L’amplitude des oscillations décroît au cours du temps, le régime est pseudopériodique de pseudo-période T . **L’énergie mécanique** du système **diminue au cours du temps**, elle est dissipée **par transfert thermique**

.



III- Etude énergétique d'un pendule de torsion

1 – Travail de couple de torsion



Le travail de couple de torsion appliquée par le fil de torsion de constante C lors d'un déplacement de θ_1 à θ_2 est : $dW = M_c . d\theta \quad avec \quad M_c = -C.\theta$

Avec C : constante de torsion $(N.m.rad)$

....

....

....

....

2 – Energie potentielle de torsion

L'énergie potentielle de torsion $E_{P;t}$ **:** c'est l'énergie liée à la déformation du fil. Elle est donnée par la relation suivante : .... avec ....

On choisit naturellement une énergie potentielle de torsion nulle pour la position où la déformation du fil est nulle $\theta = 0$, soit $E_{P;t} = 0\,J$ donc k' = 0 J.

Remarque : Relation entre $\Delta E_{p;t}$ et le travail du couple de torsion est : $\Delta E_{p;t} = -W_{\theta_{1\to\theta_2}}$

3- Energie cinétique :

L'énergie cinétique d'un pendule de torsion effectuant un mouvement oscillatoire est : ....

J_Δ en **(Kg.m^2)** **:** Moment d'inertie par rapport l'axe (Δ)

$\dot{\theta}$ en (**rad.s^{-1})** **:** Vitesse angulaire**;** $\dot{\theta}$ = ...

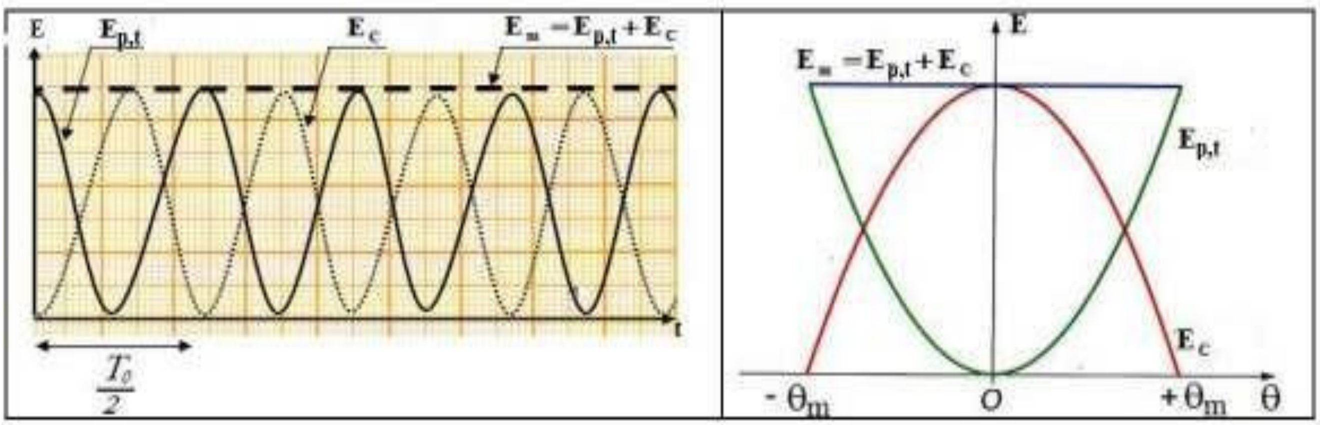
4- L'énergie mécanique :

L'énergie mécanique d'un pendule de torsion est la somme de **l'énergie potentielle de torsion** et **l'énergie cinétique :**

....

5- L'expression de l'énergie mécanique

a- Cas des oscillations non amorties (: sans frottements)



➢ D'après les résultats des deux figures: Dans le cas des **oscillations sans frottements**, l'énergie mécanique de de pendule de torsion est conservative **:........................** p,t

à la position $\theta = 0$	à la position $\theta = \theta_m$
....	....
....	

Remarque :

- ✓ La relation entre la période d'énergie **T** et période propre T_0 du mouvement est : $T = \frac{T0}{2}$
- ✓ L'amplitude des oscillations reste constante au cours du temps, alors **:** $\frac{dEm}{dt}$ **= 0**
- ✓ En dérivant l'expression de l'énergie mécanique, on obtient l'équation différentielle du mouvement..

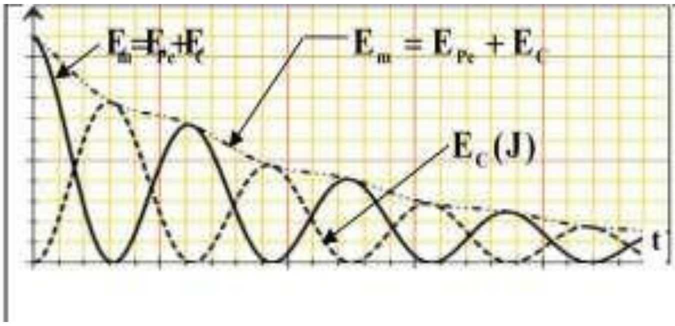
$$E_m = cst \Rightarrow \frac{dE_m}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C.\theta^2\right) = 0$$

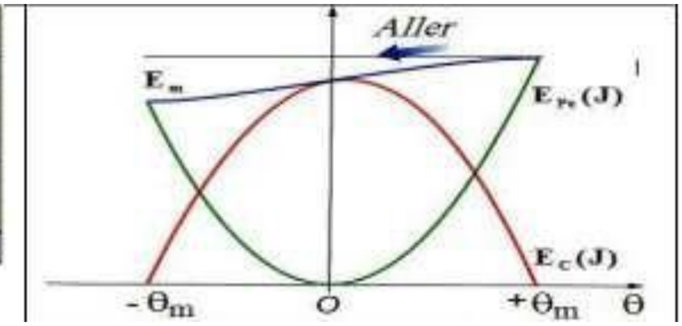
$$\Rightarrow J_\Delta.\dot{\theta}.\ddot{\theta} + C.\theta.\dot{\theta} = 0 \Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{C}{J_\Delta}\theta = 0$$

L'équation différentielle du mouvement

b- Cas des oscillations amorties (: avec frottements)

L'amplitude des oscillations décroît au cours du temps, le régime est pseudopériodique de pseudo-période T . **L'énergie mécanique** du système **diminue au cours du temps**, elle est dissipée **par transfert thermique**.





III- Étude énergétique d'un pendule pesant.

1-Énergie cinétique d'un pendule pesant

L'énergie cinétique d'un pendule pesant effectuant un mouvement oscillatoire est :

....

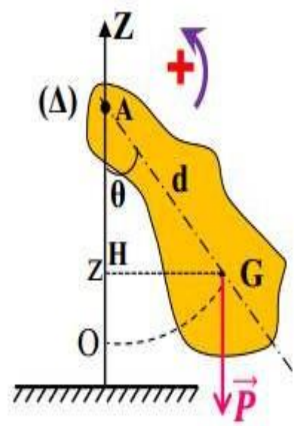
Avec J_Δ : est le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe (Δ) exprimé en **kg.m²**;

$\dot{\theta}$: est la vitesse angulaire du pendule en rad/s.

2- Énergie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle de pesanteur **d'un pendule pesant** est donnée par la relation suivante :

....



m : la masse du pendule en (kg),

g: intensité de pesanteur en (m/s2),

z : l'altitude du centre d'inertie **G** du système sur l'axe (O, z) d'un repère orthonormé orienté vers le haut .

C : une constante qui dépend de l'état de référence choisi où l'énergie potentielle est nulle ($\mathbf{E_{pp\,,réf} = 0}$) On prend $E_{pp} = 0$ à $z = 0$ et $1 - \cos(\theta) \approx \frac{\theta^2}{2}$

Déterminer l'expression de E_{PP} **en fonction de** m , g , d et **θ**

....

....

....

....

....

....

....

....

....

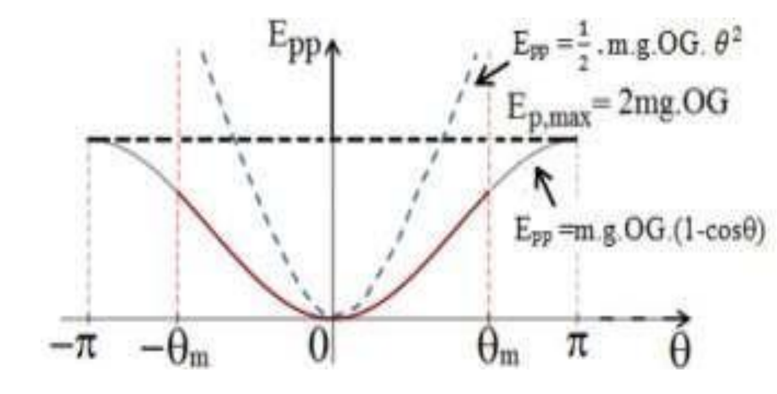
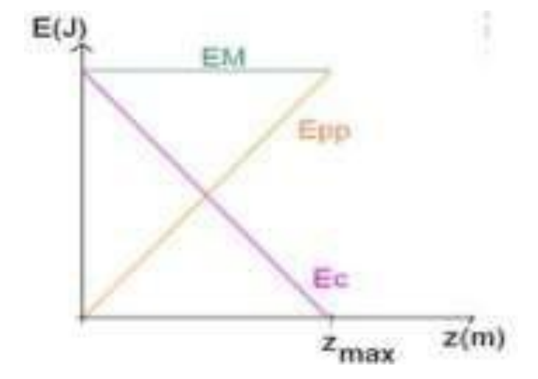
Remarque : Relation entre $\Delta E_{p;p}$ et le travail du poids est : $\Delta E_{p;p} = -W(\vec{P})$

3- Expression de l'énergie mécanique

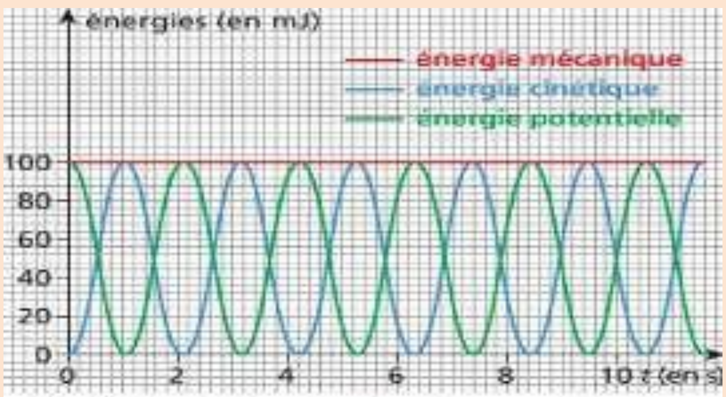
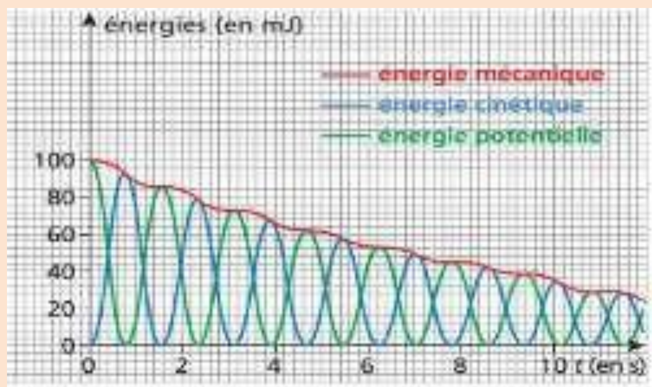
Expression de **l'énergie mécanique** du **pendule pesant** :

………

4- Diagramme des énergies

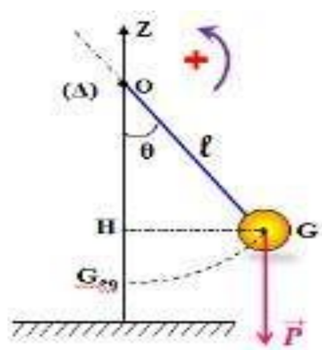
Énergie potentielle de pesanteur en fonction de θ	Les énergies en fonction de z
	

Les énergies E en fonction de t

Cas des oscillations sans frottements	Cas des oscillations avec frottements
 Oscillations à énergie mécanique constante	 Oscillations avec dissipation de l'énergie mécanique

Remarque :

Dans le cas de pendule simple $OG = l$ et $J_{\Delta} = ml^2$

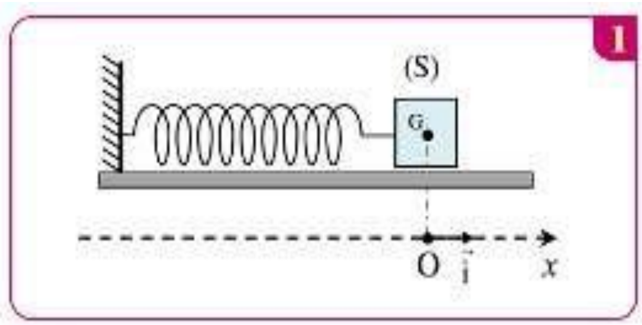


E_c = ……………………………………………………………………………………

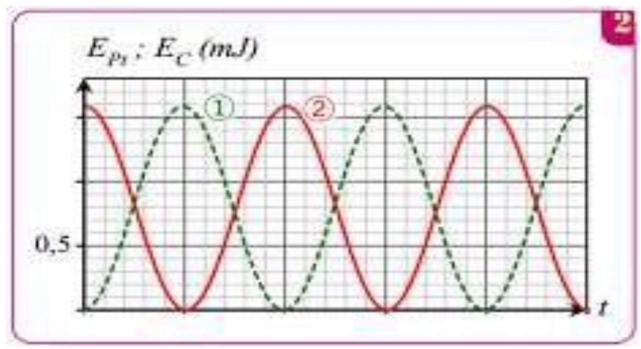
E_{pp} = ……………………………………………………………………………………

E_m = ……………………………………………………………………………………

Série d'"exercices : Aspects énergétiques



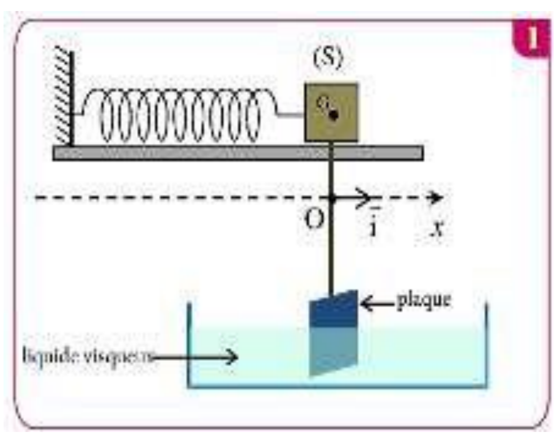
Exercice 1 : Les ressorts se trouvent dans plusieurs appareils mécaniques, comme les voitures et les bicyclettes ... et produisent des oscillations mécaniques .Cette partie a pour objectif, l'étude énergétique d'un système oscillant (corps solide - ressort) dans une position horizontale. Soit un oscillateur mécanique horizontal composé d'un corps solide (S) de masse **m** et de centre d'inertie **G** fixé à l'extrémité d'un ressort à spires non jointives et de masse négligeable et de raideur **K = 10 N.m^{-1}**. L'autre extrémité du ressort est fixée à un support fixe. Le corps (S) glisse sans frottement sur le plan horizontal.



On étudie le mouvement de l'oscillateur dans le repère $(O, \vec{\imath})$lié à la Terre et dont l'origine est confondue avec la position de G à l'équilibre de (S) .On repère la position de G à l'instant t par son abscisse . **(Figure1)** On écarte le corps (S) horizontalement de sa position d'équilibre dans le sens positif d'une distance **X_o** et on le libère sans vitesse initiale à l'instant pris comme origine des dates.

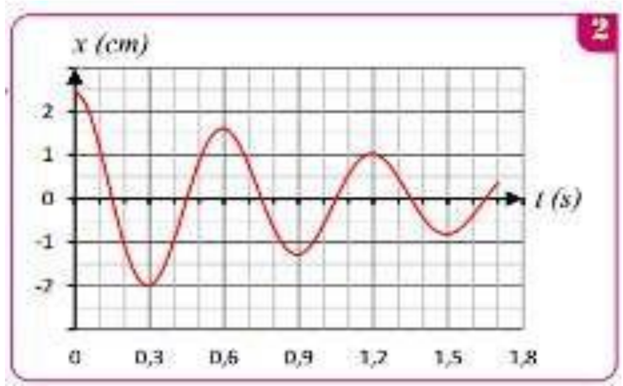
On choisit le plan horizontal passant par G comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur , et l'état dans lequel le ressort n'est pas déformé comme référence de l'énergie potentielle élastique .A l'aide d'un dispositif informatique adéquat , on obtient les deux courbes représentant les variation de l'énergie EC cinétique et l'énergie potentielle élastique **Epe** du système oscillant en fonction du temps . (**Figure 2**).

1- Indiquer parmi les courbes (1) et (2) celle qui représente les variations de l'énergie cinétique E_C. justifier.
2- Déterminer la valeur de l'énergie mécanique E_m du système oscillant.
3- En déduire la valeur de la distance **X_o** .
5- En utilisant la variation de l'énergie potentielle élastique du système oscillant, trouver le travail de la force de rappel $\vec{T}$ exercée par le ressort sur (S) lors du déplacement de G de la position A d'abscisse $x_A = X_0$ vers la position O.



Exercice 2 On étudie dans cette partie le mouvement d'un système oscillant { corps solide - ressort }dans une situation où les frottement fluides ne sont pas négligeables .
On considère un corps solide (S) , de masse **m** et de centre d'inertie G , fixé à l'extrémité d'un ressort de masse négligeable et à spires non jointives et de raideur **K = 20 N.m^{-1}** l'autre extrémité du ressort est fixée en A à un support fixe . A l'aide d'une tige , on fixe une plaque au corps (S) , et on plonge une partie d'elle dans un liquide visqueux comme indiqué sur **la figure 1**.
- On néglige la masse de la tige et de la plaque devant celle du corps (S) .
- On repère la position de G à l'instant par l'abscisse x sur l'axe (OX) .
- L'abscisse de G_o, position de G à l'équilibre, correspond à O, origine de l'axe (Ox)
- On étudie le mouvement de G dans un référentiel terrestre supposé galiléen.
- On choisit la position G_o comme référence de l'énergie potentielle élastique.

Un appareil de saisie informatique a permis de tracer la courbe de variation de l'abscisse du centre d'inertie G en fonction du temps, **figure 2** A l'équilibre le ressort n' est pas déformé.et le plan horizontal passant par G comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur. On écarte le corps (S) de la distance d de sa position d'équilibre et on le lâche sans vitesse initiale

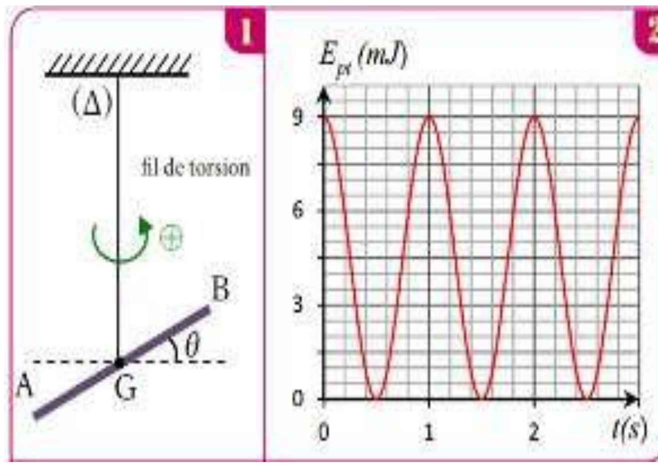


1- Quel régime des oscillations est mis en évidence par la courbe représentée sur la **figure 2**

2- En calculant la variation de l'"énergie potentielle élastique de l'oscillateur entre les instants $t_0 = 0$ et $t_2 = 1{,}2s$ trouver le travail $W(\vec{F})$ de la force de rappel exercée par le ressort entre ces deux instants

3- Determiner la variation de l'énergie mécanique ΔE_m du système entre les instants t_0 et t_1 et donner une explication au résultat obtenu.

Exercice 3 On considère **un pendule de torsion** composé d'un fil d'acier vertical de constante de torsion C et d'une tige homogène AB suspendu à l'extrémité libre du fil par son centre G. (**figure1**).On note J_Δ le moment d'inertie de la tige par rapport à l'axe de rotation (Δ) confondu avec le fil. On fait tourner la tige AB autours de l'axe (Δ) dans le sens positif d'un angle θ_m de sa position d'équilibre , et on le libère sans vitesse initiale à l'instant pris comme origine des dates et il effectue un mouvement d'oscillatoire . On considère la position d'équilibre comme référence de l'énergie potentielle de torsion (**$E_{Pt} = 0$ à $\theta = 0$**), et le plan horizontal passant par G comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur ($E_{PP}= 0$)



On donne : le moment d'inertie de la tige par rapport à l'axe de rotation (Δ) : **$J_\Delta = 2{,}9.10^{-3} kg.m^2$**.

I- on considère les frottements sont négligeables

1. Déterminer l'expression de l'énergie mécanique E_m, en fonction de , J_Δ, θ et $\dot{\theta}$.

2. En dérivant l'énergie mécanique, établir l'équation différentielle du mouvement du pendule de torsion.

II- La courbe de **la figure 2** représente les variations de l'énergie potentielle de torsion E_{Pt} en fonction du temps . En vous aidant de cette courbe ;

1- Déterminer l'énergie mécanique $\mathbf{E_m}$ de ce pendule et la période propre **T_0**.

2- Déterminer la constante de torsion **C** du fil métallique.

3- Trouver la valeur absolue de la vitesse angulaire $\dot{\theta}$ à l'instant **$t_1 = 0{,}5$ s**.

4- Calculer le travail $W(M_c)$ du couple de torsion entre les instants **$t_o = 0$** et **t_1**

Exercice 4

Un système oscillant est constitué d'un solide (S), de centre d'inertie G et de masse m, et d'un ressort horizontal, à spires non jointives, de masse négligeable et de raideur $K = 20\,N.m^{-1}$.

Le solide (S) est accroché à l'une des deux extrémités du ressort, l'autre extrémité est fixée à un support immobile.

On écarte le solide (S) de sa position d'équilibre d'une distance X_m puis on le lâche sans vitesse initiale. Le solide (S) oscille sans frottements sur un plan horizontal. (figure1)

On étudie le mouvement du centre d'inertie G dans un repère $(O,\vec{i})$ lié à un référentiel terrestre considéré comme galiléen. L'origine O de l'axe coïncide avec la position de G lorsque le solide (S) est à l'équilibre.

On repère ,dans le repère $(O,\vec{i})$, la position de G à un instant t par l'abscisse x

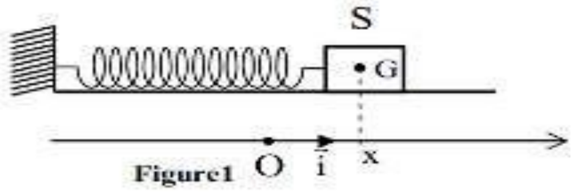


Figure1

On choisit le plan horizontal passant par G comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur et l'état où G est à la position d'équilibre (x=0) comme référence de l'énergie potentielle élastique.

L'équation horaire du mouvement de G s'écrit sous forme $x(t) = X_m.\cos(\frac{2\pi t}{T_0} + \varphi)$.

La courbe de la figure 2 représente le diagramme des abscisses x (t).

1- En appliquant la 2ème loi de Newton, Trouver l'équation différentielle vérifier par l'abscisse x(t) .

2- Trouver l'expression de la période propre T_0 .

3- Déterminer graphiquement les valeurs de X_m , T_0 et de φ.

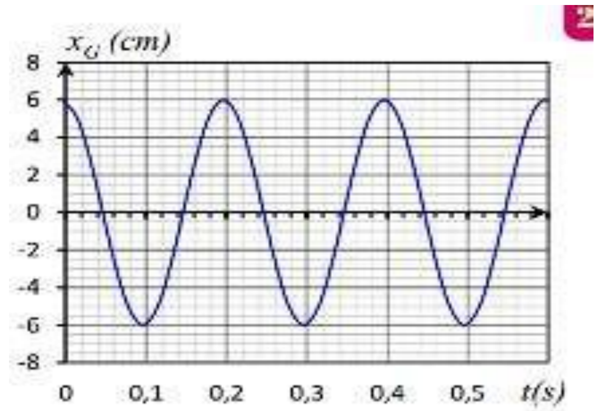
4- Calculer la valeur absolue de la vitesse $|\dot{x}|$ lorsque le corps (S) passe par sa position d'équilibre à la première fois.

5- S'assurer que la masse du corps (S) est : **m = 20 g**

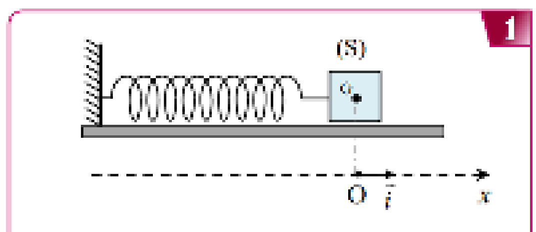
6- Calculer l'énergie mécanique E_m d'oscillateur étudié.

7- Calculer la valeur de l'énergie cinétique E_C de l'oscillateur mécanique à l'instant **t_1= 0,1**s

8- Calculer le travail $W(\vec{T})_{A\to B}$ de la force de rappel, lorsque le corps (S) se déplace de la position $x_A = X_m$ à la position d'équilibre x_B**.** Et déduire ΔE_{pe}



Exercice 5 La **figure 1** représente un système mécanique formé d'un solide de **masse** $m = 100g$ et un ressort horizontal, à spires non jointives de masse négligeable et de raideur k. A l'équilibre la position du centre de gravité G du solide (S) coïncide avec l'origine des abscisses O du repère $(O,\vec{i})$ lié à la terre et considéré comme galiléen.

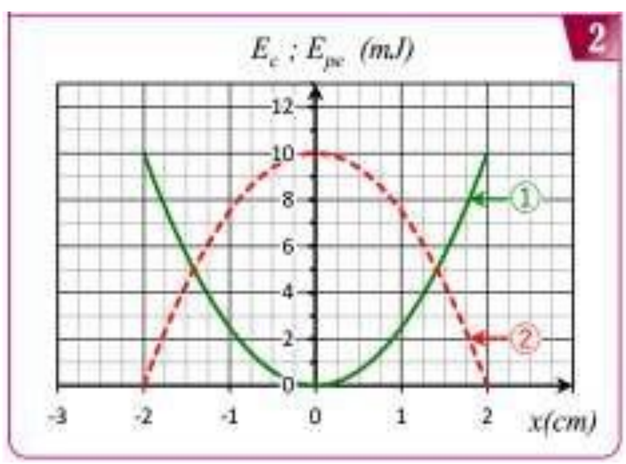


-Les frottements sont négligés.

- On écarte **(S)** de sa position d'équilibre dans le sens positif d'une distance X_M et on l'abandonne sans vitesse initiale à la date $t_o = 0$.

- On choisit le plan horizontal passant par G comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur ($E_{pp} = 0$) , et l'état dans lequel le ressort n'est pas déformé comme référence de l'énergie potentielle élastique ($E_{pe} = 0$)

La **figure 2 représente** les diagrammes d'énergies cinétique E_c et potentielle élastique E_{Pe}en fonction de x



1- Faire correspondre à chaque courbe, en justifiant, l'énergie qui lui convient.

2- Ecrire l'expression de l'énergie mécanique en fonction de m , k , x et $\dot{x}$**.**

3- En dérivant l'énergie mécanique, établir l'équation différentielle du mouvement

4- En exploitant **la figure 2** déterminer :

a- l'amplitude de mouvement X_M **b-** l'énergie mécanique E_M **c-** La constante de raideur K

5- Montrer que l'expression de l'énergie cinétique s'écrit sous la forme : $E_c = \frac{1}{2}K(X_m^2 - x^2)$

6- Déduire l'expression de l'énergie mécanique en fonction k et X_M**.**

7- Déterminer la vitesse maximale du corps (S) lors de son passage la position d'équilibre dans le sens positif.

8- Trouver les abscisses x_1 et x_2 de G lorsque $E_c = 3\,E_{pe}$

9- Déterminer la valeur du travail $W(\vec{F})$ de la force de rappel du ressort exercée sur (S) au cours du déplacement de G de x_1 à x_2

CORRECTION

CHIMIE

SOMMAIRE :

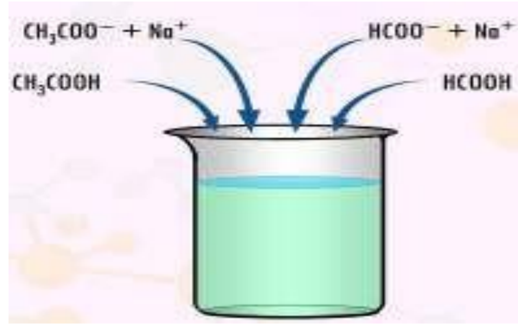
Partie III : Sens d'évolution d'un système chimique

Partie IV : Chimie Organique

When life changes to be harder, change yourself to be stronger.
What hurts you today, makes **you stronger tomorrow.**

Edwin Mamerto

Cours N°C6 : Évolution spontanée d'un système chimique



Introduction : Pour ce système chimique ci-contre peut se produire deux réactions chimiques selon les conditions initiales :

Soit : $HCOOH + CH_3COO^- \longrightarrow HCOO^- + CH_3COOH$

Ou : $HCOO^- + CH_3COOH \longrightarrow HCOOH + CH_3COO^-$

Donc comment peut-on prévoir le sens d'évolution d'un système chimique ? Quelle est la norme qui peut utiliser pour prévoir le sens d'évolution ?

I- Rappel sur le quotient d'une réaction

1-Expression du quotient de réaction Q_r

Le quotient de réaction $\mathbf{Q_r}$ pour une réaction chimique d'équation : $aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftharpoons cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$ S'écrit dans un état donné du système :

....

À l'équilibre les concentrations molaires des espèces chimiques deviennent constantes et le quotient de la réaction prend une valeur constante qui **s'appelle la constante d'équilibre**

.... : C'est une grandeur sans unité ne dépend que de la température

Activité 1

On mélange dans un bécher de volume V:

-Un volume $V_1 = 10\,mL$ d'une solution d'acide éthanoïque CH_3COOH de concentration $C = 5.10^{-2}\,mol/L$.

-Un volume $V_2 = 5\,mL$ d'une solution d'ammoniac NH_3 de concentration C

-Un volume $V_3 = 5\,mL$ d'une solution d'éthanoate de sodium $(CH_3COO^- + Na^+)$ de concentration $C' = 10^{-1}\,mol/L$.

-Un volume $V_4 = 10\,mL$ d'une solution de chlorure d'ammonium $(NH_4^+ + Cl^-)$ de concentration C'.

On donne l'équation de la réaction qui se produit entre l'acide éthanoïque et l'ammoniac.

$$CH_3COOH_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightleftarrows CH_3COO^-_{(aq)} + NH_4^+$$

On donne: pour le couple: $CH_3COOH\,/\,CH_3COO^-$ $pk_{A1} = 4{,}8$; $NH_4^+\,/\,NH_3$ $pk_{A1} = 9{,}2$

1. **Déterminer la valeur du quotient de réaction dans l'état initial $Q_{r,i}$ du système .**

....

....

....

....

....

2. **Déterminer la constante d'équilibre K associée à cette réaction.**

....

....

....

II- Critère d'évolution spontanée :

1- Définition

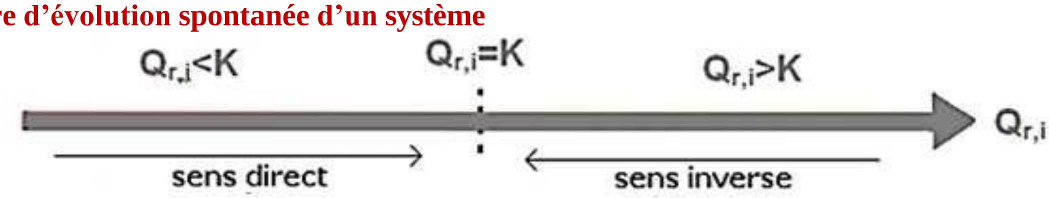
Un **système chimique** va évoluer de façon que le **quotient de réaction initiale $Q_{r,i}$** tend vers la valeur de la **constante d'équilibre** K . On en distingue trois cas :

-Si **$Q_{r,i} < K$** : **le système évolue spontanément** dans le ……………………………………………………………………

- Si **$Q_{r,i} > K$** : **le système évolue spontanément** dans le ……………………………………………………………………

-Si **$Q_{r,i} = K$** , **le système** est ……………………, ……………………………………………………………………………

Diagramme de critère d'évolution spontanée d'un système



- La suite **de l'activité1** 3. **Dans quel sens le système va-t-il évolué ?**

……

Remarque : Si la constante d'équilibre $K > 10^4$, on dit que la réaction est totale, dans ce cas on utilise une seule flèche dans l'équation.

III- Application du critère d'évolution :

1-cas d'une réaction acido-basique (voir activité 1)

2-cas d'une réaction d'oxydoréduction

On introduit dans un bécher :

* **V_1 = 100 ml** d'ions de zinc $Zn^{2+}_{(aq)}$ de concentration $[Zn^{2+}]_i = 0,20\ mol.L^{-1}$

* **V_2 = 200 ml** d'ions d'aluminium $Al^{3+}_{(aq)}$ de concentration $[Al^{3+}]_i = 0,015\ mol.L^{-1}$

* une plaque de zinc et l'autre d'aluminium

On considère la réaction chimique suivante :

$$2Al_{(s)} + 3Zn^{2+}_{(aq)} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftarrows}} 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Zn_{(s)}$$

1-Déterminer la valeur du quotient de réaction dans l'état initial $Q_{r,i}$.

2-La constante d'équilibre de cette réaction est $= 4.10^{38}$, dans quel sens le système va-t-il évolué ?

……

……

……

……

……

……

Exercice 1 : On mélange à l'état initial $10^{-2}\ mol$ d'ions $F^{3+}_{e(aq)}$; $5.10^{-2}\ mol$ d'ions $Ag^{+}_{(aq)}$ et $2.10^{-2}\ mol$ d'ions $F^{2+}_{e(aq)}$; puis on introduit dans un volume **V=500 mL** de cette solution un fil d'argent $Ag_{(s)}$. On considère la réaction chimique suivante : $Ag_{(s)} + Fe^{3+}_{(aq)} \rightleftarrows Ag^{+}_{(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)}$ sa constante d'équilibre à 25°C est $K = 3,2$

1) Déterminer quotient initial $Q_{r,i}$ de cette réaction puis en déduire le sens d'évolution spontanée du système.
2) Dresser le tableau d'évolution de ce système.
3) Déterminer l'avancement de la réaction à l'équilibre.
4) Déterminer les concentrations de toutes les espèces chimiques existant à l'équilibre.

Cours N°C7 : Transformations spontanés dans les piles Et production d'énergie

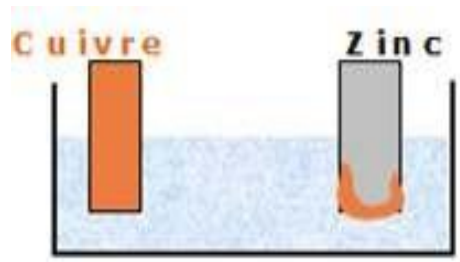
Introduction Les piles **constituent des sources d'énergie relativement bon marché et pratiques pour l'utilisation d'appareils électriques portables, montres ,..... etc.** **De quoi sont-elles constituées et comment expliquer leur fonctionnement ?**

I-Transferts d'électrons :

1- Transferts spontanés directs

Activité expérimentale 1 : **Réaction d'oxydoréduction entre espèces chimiques au contact.**

On plonge une lame de **cuivre** et une lame de **zinc** fraîchement décapées dans une solution contenant de sulfate de cuivre II de concentration molaire **C = 0,10 mol.L^{-1}** et de sulfate de zinc (II) de même concentration **C**, après un certain moment, on observe un **dépôt rouge** sur la lame de zinc et la solution se décolore.



Exploitations

1. **Écrire l'équation de la réaction qui peut se produire entre les ions cuivre (II) et le zinc métallique. Pourquoi est une réaction d'oxydoréduction ?**

………

………

………

2. **Déterminer la valeur initiale du quotient de réaction $Q_{r,i}$?**

………

………

3. **À 25°C , la constante d'équilibre K associée à l'équation de la réaction est $K = 1,9 . 10^{37}$. Quel est le sens d'évolution spontanée du système considéré ?**

………

………

4. **Les observations faites sont-elles en accord avec le sens d'évolution prévu ?**

………

………

Conclusion

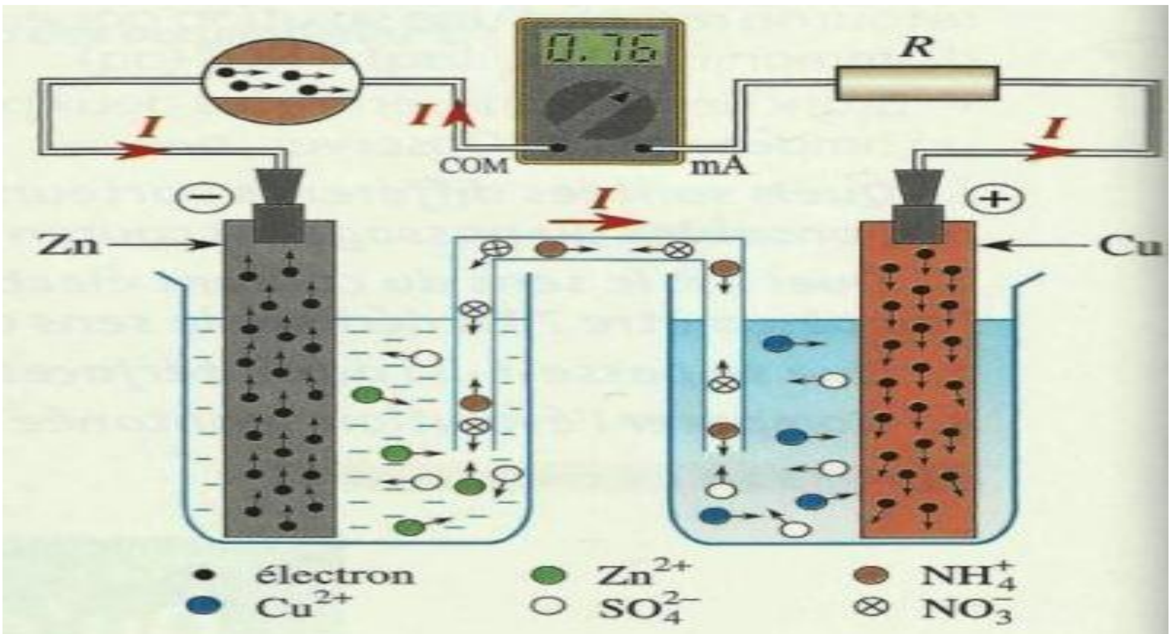
……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

2-Transfert spontané indirect

Activité expérimentale 2 : **Réaction d'oxydoréduction entre espèces chimiques séparées**

- On réalise l'expérience suivante : Dans un bécher, on introduit une solution de **sulfate de cuivre (II)** et une plaque de **cuivre**, dans l'autre bécher, on introduit une solution de **sulfate de zinc** et une **plaque de zinc.**
- On relie les deux béchers par un **pont salin qui contient** une solution de nitrate d'ammonium**.**
- On branche en série, entre les deux plaques , une résistance **R** , un **ampèremètre** et un **interrupteur K**.
- On ferme l'interrupteur K , on observe que l'ampèremètre montre qu'un courant traverse le circuit et son intensité est égale 0,76 mA



Exploitation

1. **Quels sont les porteurs de charge responsables de circulation du courant dans les différentes parties du circuit (en solution , dans le pont salin et à l'extérieur)?**

....

....

....

2. **Quel est le sens de passage du courant électrique indiqué par l'ampèremètre ?**

....

....

3. **Déduire le sens de déplacement des différents porteurs de charges.**

....

....

....

4. Que se passe-t-il : aux interfaces métal-solution ? dans les plaques?

………
………
………
………
………
………
………
………

3. Comparer l'évolution spontanée de ce système et celle du système de l'activité 1 . Conclure

………
………
………

Conclusion :

Un transfert spontané d'électrons peut se produire entre les espèces chimiques de deux couples oxydant/ réducteur, que ces deux couples soient .... ou .... mais reliés par un ....

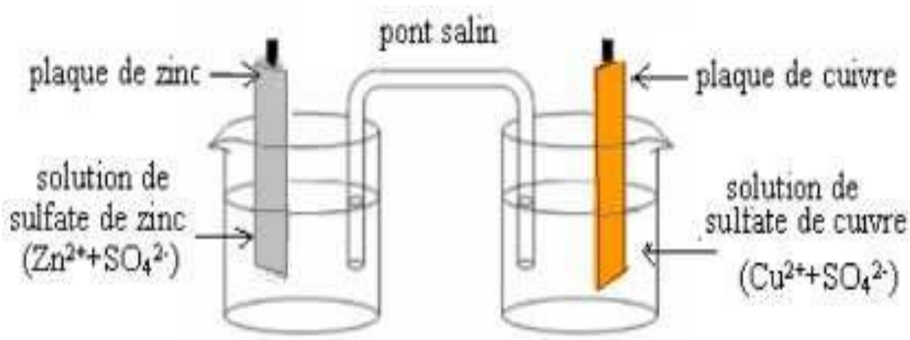
II- Les piles et production d'énergie

1) Exemple La pile Danielle

a-Description

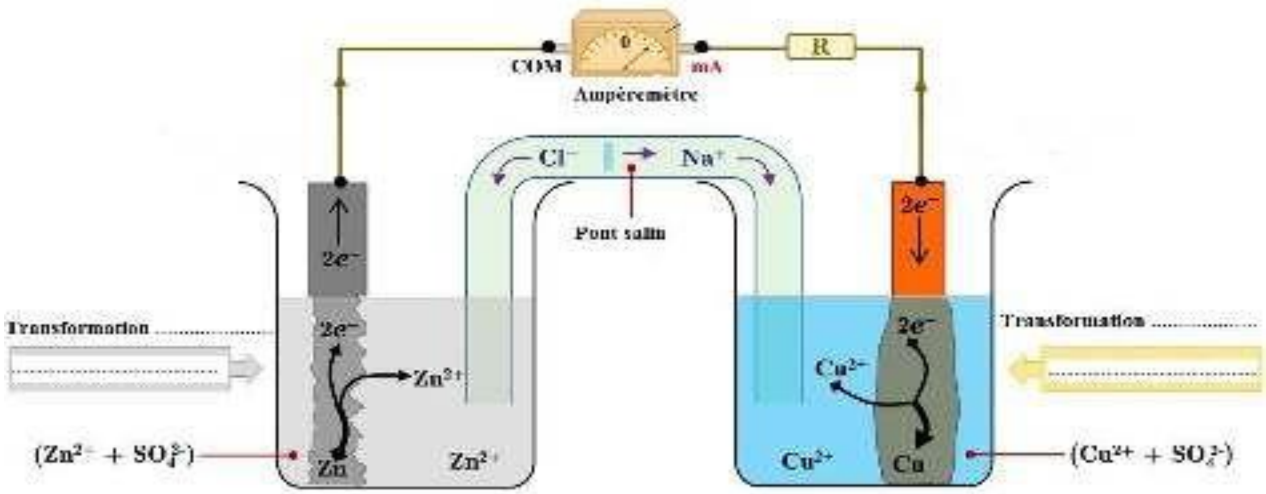
La **pile Daniell** est constituée de deux compartiments liés par **un pont salin**.

- **Le premier compartiment** se compose d'une plaque de cuivre plongée dans une solution de sulfate de cuivre $(Cu^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{(aq)})$, ce qui constitue la **1ère demi-pile** qu'on appelle **électrode**.
- **Le deuxième compartiment** se compose d'une plaque de zinc plongée dans une solution de sulfate de zinc $(Zn^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{(aq)})$ c'est l'autre **demi-pile** qu'on appelle aussi **électrode**.
- Le **pont salin** (ou ionique) qui relie les deux solutions il est constitué d'une solution de chlorure de potassium $(K^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)})$ qui est un conducteur électrolytique.



b) Fonctionnement de la pile de Danielle

Un ampèremètre branché aux bornes de la pile indique le passage du courant électrique de la plaque de cuivre vers la **plaque de zinc**. (Les électrons circulent alors dans ce circuit extérieur de la **plaque de zinc** vers **la plaque de cuivre**).



La **plaque de cuivre** qui représente **le pôle positif** de la pile s'appelle: **la cathode**.
La **plaque de zinc** qui représente le **pôle négatif** de la pile s'appelle **l'anode**.

c) Réaction aux électrodes

Au cours du fonctionnement de la pile:

- La masse de l'électrode de **zinc** ...., elle se consomme, ceci est due à .... du zinc selon la demi-équation: ....
- La masse de l'électrode de cuivre ...., ceci est due à.................................... des ions en Cu selon la demi-équation: ....

- **L'équation globale** de la réaction qui se produit pendant le fonctionnement de la pile s'obtient en ajoutant les deux demi- équations précédentes.

....

d) Le pont salin

Le pont salin a deux rôles:

-il permet la liaison électrique entre les deux compartiments sans que les deux solutions se mélangent, par migration des conducteurs ioniques.

-il assure la neutralité électrique des deux solutions.(Car pendant le fonctionnement de la pile la concentration des ions Zn^{2+} augmente dans la solution de sulfate de zinc et celle des ions Cu^{2+} diminue dans la solution de sulfate de cuivre et pour assurer la neutralité électrique les ions Cl^- migrent à travers le pont ionique vers la solution de sulfate de zinc et les ions K^+ vers la solution de sulfate de cuivre).

e) Représentation conventionnelle de la pile:

On représente symboliquement la pile Daniell par la représentation conventionnelle suivante:

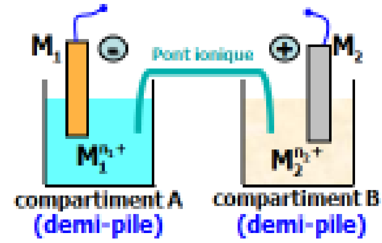
....

2- Généralisation : Constitutions d'une pile

On peut réaliser des piles identiques à la pile Daniell.

En général une pile est constituée :

- De deux plaques **métalliques** M_1 et M_2 **;** la **première** plongée dans une solution contenant **les ions métalliques** M_1^{n1+} et la **deuxième** plongée dans une solution contenant **les ions métalliques** M_2^{n2+}
- **Pont salin** ou **pont ionique** relie les deux solutions.
- Les deux lames métalliques M_1 et M_2 sont appelées **électrodes** représentent **les pôles** de la pile.
- Les solutions qui contiennent les cations M_1^{n1+} **et** M_2^{n2+} sont appelées **solutions électrolytiques.**



Représentation conventionnelle : ....

A l'anode : .... : ....

A la cathode : .... : ....

Equation globale : . ...

La pile électrochimique convertit **l'énergie chimique** (résultant d'un transfert spontané d'électrons entre deux couples oxydant -réducteur) en **énergie électrique.**

2- Force électromotrice (f.é.m) d'une pile

Activité Comment mesurer la f.é.m. d'une pile ?

Reprendre la pile étudiée dans **l'activité 2** et brancher un voltmètre entre ses électrodes en reliant la borne **COM** à l'électrode de zinc. Le voltmètre indique une tension **U = 1,1 V**).

1. **Quelles sont les bornes positive et négative de la pile ?**

....

....

....

Dans un voltmètre, la pile débite un courant d'intensité très faible.

La tension lue par un voltmètre branché entre les bornes de la pile est alors égale à la force électromotrice de la pile.

2. Le sens du courant est-il en accord avec cette polarité ?

....

....

....

....

....

III- Etude quantitative d'une pile

1- quantité d'électricité débitée par une pile pendant une durée Δt

Pendant une durée Δt , N électrons, de **charge élémentaire e = 1,6·10^-19^ C** circulent à travers une section S de conducteur, la charge totale qui a traversé la section S est **: Q = N.e.**

La quantité de matière d'électrons **n(e⁻)** transférés lorsque la pile débite $n(e^-) = \frac{N}{N_A}$ avec N_A, en mol^{-1} constante d'Avogadro.

....

....

D'après la définition du **courant électrique I** qui est débité par la pile pendant une durée Δt : ....

....

....

La valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons définit le Faraday, de symbole F

$F = N_A.|-e|$ Avec $-e$ charge d'un électron.

soi : $F = 9{,}65 \times 10^4\ C/mol$.

2- Capacité d'une pile

Au cours de son fonctionnement **la pile** est un système chimique **hors équilibre**. L'avancement x(t) de la réaction augmente et le quotient de réaction Q_r varie ; la pile débite alors des électrons, l'intensité I du courant débité n'est pas nulle $I \neq 0$ A. Lorsque la pile atteint à l'état d'équilibre, $Q_{r,éq} = K$, elle devient « **usée** ». À cet instant l'avancement $x(t)$ vaut $x_{éq}$, l'intensité du courant débité est nulle $I_{éq} = 0$ A.

-De **façon générale**, une pile est **usée** lorsque le réactif limitant a été complètement consommé .

La capacité **C d'une pile** est la **quantité d'électricité maximale** qu'elle peut fournir avant **d'être usée**.

.... **avec** Δt_{max} **: la durée de vie de la pile**

- Pour les piles ou les batteries du commerce, on exprime la capacité en **ampère.heure** : A.h

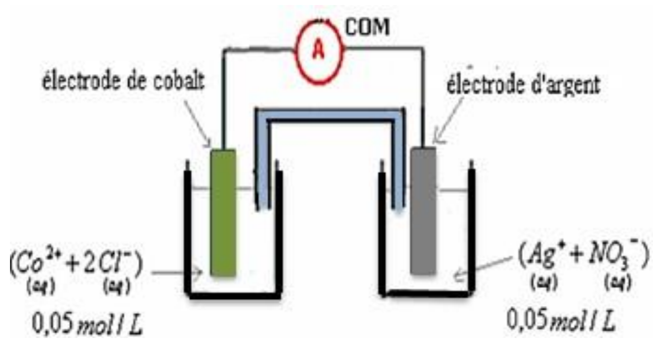
- **Remarque** $1 A.h = 3600\ C.$
- **Exemple :**

une batterie de capacité $40\ A.h$ peut débiter un courant de **40 A** pendant **une heure** ou **120A** pendant **20 min**.

Série d'exercices : Transformations spontanés dans les piles Et production d'énergie

Exercice 1 : On réalise la pile suivante:

Sachant que l'ampèremètre indique une **intensité négative**.



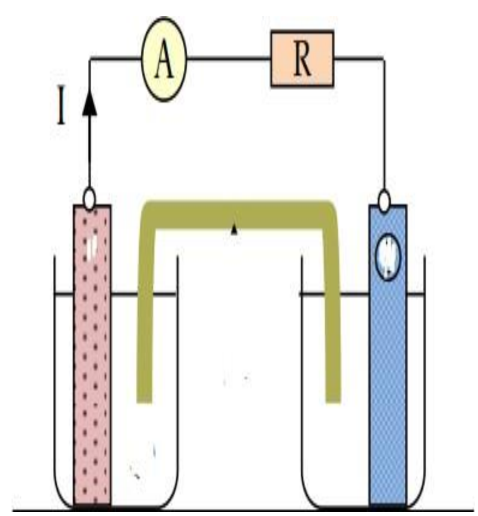
1) Déterminer la polarité de cette pile puis donner sa représentation symbolique conventionnelle.
2) Ecrire l'équation de la demi-réaction qui se produit près de chaque électrode puis en déduire l'équation globale de la réaction qui se produit lors du fonctionnement de la pile.
3) Quel est le rôle du pont salin?
4) Calculer le quotient initial de cette réaction.
5) Comment évolue ce quotient de la réaction durant le fonctionnement de la pile?

Exercice 2 Une pile est obtenue en reliant deux demi-piles par une solution gélifiée de chlorure de potassium, $(K^+ + Cl^-)$. Une des demi-piles est constituée d'une lame d'étain plongeant dans une solution de chlorure d'étain (II), , telle $(Sn^{2+} + 2\ Cl^-)$. que $[Sn^{2+}\ ]_i = 0,\ 10\ mol.\ L^{-1}$; l'autre est constituée d'une lame de nickel plongeant dans une solution de chlorure de nickel (II), Ni (aq) +2C (aq), telle que $[Ni^{2+}\ ]_i = 0,\ 01\ mol.\ L^{-1}$. On la branche aux bornes d'une résistance. Soit $K = 8,9\,.\,10^{-4}$, la constante d'équilibre à 25 °C associée à la réaction d'équation:

$$Ni^{2+}_{(aq)} + Sn_{(s)} \rightleftharpoons Ni_{(s)} + Sn^{2+}_{(aq)}\ )$$

1. Prévoir le sens d'évolution spontanée du système chimique constituant la pile.
2. Quelle est la réaction qui a lieu : à l'électrode de nickel ? et . à l'électrode d'étain ?
3. Faire un dessin de la pile considérée et y représenter le mouvement des différents porteurs de charge.
4. En déduire la polarité de cette pile et son schéma conventionnel.

Exercice 3 *On réalise à la température 25°C la pile* ***nickel-cadmium*** *composé de deux compartiments liés par un* ***pont salin*** $(k^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$. ***Le premier compartiment*** *est composé d'une* ***plaque de nickel*** *plongée dans une solution de* ***sulfate de nickel*** $Ni^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ *et* ***le deuxième compartiment*** *est composé d'une* ***plaque de cadmium*** *plongée dans une solution de* ***sulfate de cadmium*** $Cd^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$.



Les deux solutions ioniques ont :

- même volume V = 0,2 L .

- même concentration initiale $C = [Cd^{2+}]_i = [Ni^{2+}]_i = 0,1\ mol.L^{-1}$

Données :

-: $1F = 9,65.10^4\ C.mol^{-1}$ $\qquad M(Ni) = 58,7\ g{\cdot}mol^{-1}$

- La constante d'équilibre associée à la réaction est $K = 4,5.10^5$

$$Ni^{2+}_{(aq)} + Cd_{(s)} \underset{②}{\overset{①}{\rightleftharpoons}} Cd^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}$$

Partie 1

1- *Déterminer le quotient de la réaction $Q_{r,i}$ à l'état initial, et déduire le sens de l'évolution de cette réaction.*

2- *Déterminer la polarité de la pile en justifiant la réponse.*

3- *Représenter et nommer sur le montage expérimental ci-dessus : le sens d'électrons et ions dans le pont salin, puis la nature des plaques et la solution de chaque compartiment.*

Partie 2 : *On laisse la pile fonctionne une durée $\Delta t = 60\ min$. La pile débite un courant d'intensité constante **I=0,1A***

1. *Calculer **Q** la quantité d'électricité débite au cours de son fonctionnement.*
2. *Dresser le tableau d'avancement au voisinage de la plaque de nickel*
3. *Montrer que l'avancement de la réaction pendant la durée Δt est $x(t) = 1,86.10^{-3}\ mol$*
4. *Pendant la durée Δt ,*
   a- Calculer la variation de la masse de la plaque de nikel $\Delta m\ (Ni)$
   b- Calculer la variation de la concentration des ions de nikel $\Delta]Ni^{2+}]$

5- *Trouver que l'avancement de la réaction à l'état d'équilibre (la pile devient usée) est :* $x_{éq} = \dfrac{CV(k-1)}{1+k}$

En déduire la quantité d'électrons à l'état d'équilibre : $n(e^-)_{max}$.

**************************CORRECTION*********************************

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

………

Cours N°C8 : Exemples de transformations forcées

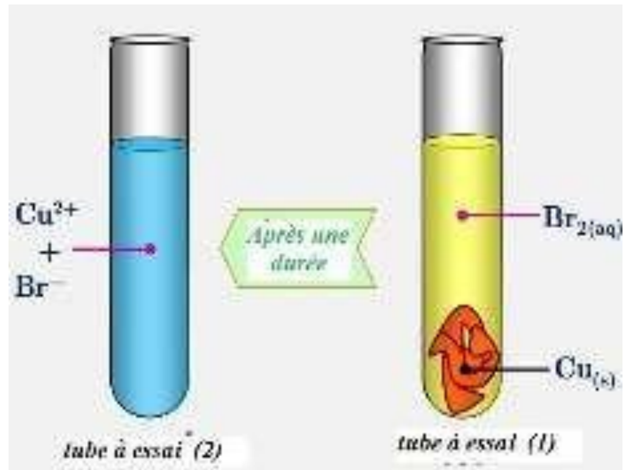
Introduction **On peut stocker l'énergie électrique dans des batteries (: accumulateurs) à l'aide d'une transformation chimique forcée. Qu'est-ce que c'est que donc la transformation forcée ? Quelles sont les conditions de sa réalisation ? Et pourquoi s'appelle-t-elle transformation forcée.**

I - Transformations forcées

1- Changer le sens d'évolution d'une transformation

Rappel: « **Une transformation spontanée est une transformation qui se produit sans aucune intervention extérieure** ».

Activité 1 : On mélange dans un **tube à essai (1)** la tournure de **cuivre (Cu)** et une solution **de dibrome Br_2**, de concentration **$[Br_2]_i$ = 0,01 mol/L**. La solution initiale est **jaune** (couleur du dibrome en solution).



1. **Décrire ce que vous observez après la durée Δt.**

....

....

....

....

....

2. **Ecrire la réaction qui s'est produit spontanément entre $Cu_{(s)}$ et $Br_{2(aq)}$.**

....

....

....

3. **En utilisant le critère d'évolution spontanée, Vérifier le sens d'évolution. sachant $K = 1,2 \times 10^{25}$ à 25 °C**

....

....

Activité 2 **Que se passera-t-il si on mélange initialement les ions $Cu^{2+}_{(aq)}$ et $Br^-_{(aq)}$?**

La réaction qui peut se produire: $Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^-_{(aq)} \rightleftharpoons Cu_{(s)} + Br_{2(aq)}$; $K' = \frac{1}{K} = 8,3.10^{-26} \approx 0$

....

....

....

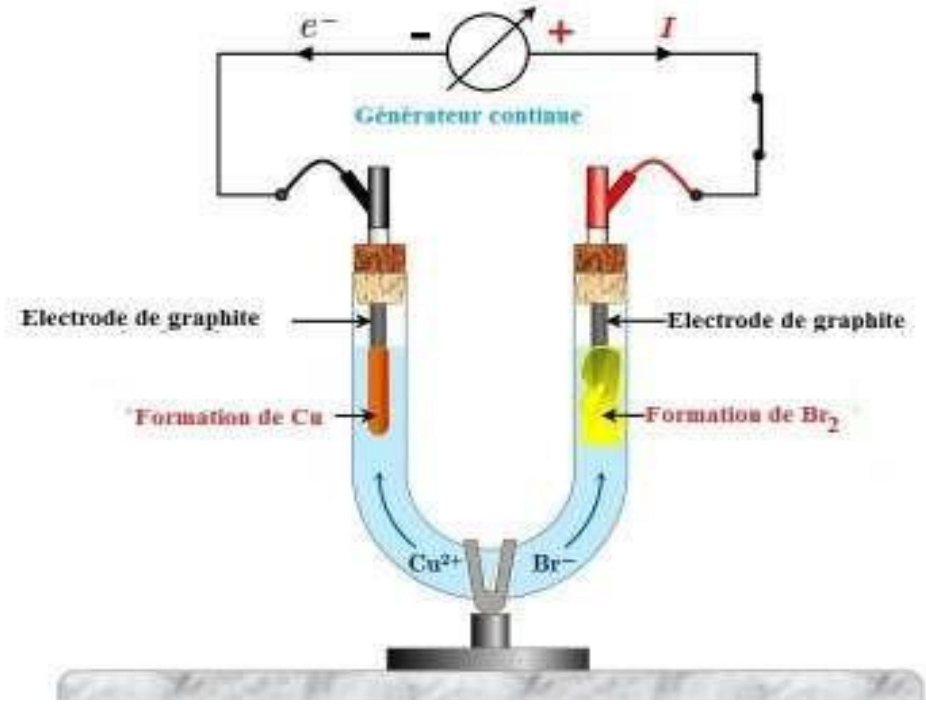
....

Conclusion

Pour obliger cette réaction à évoluer dans .... ,on doit amener de . ... au système contenant les ions $Cu^{2+}_{(aq)}$ et $Br^-_{(aq)}$, donc on doit réaliser l'électrolyse d'une solution de bromure de cuivre qui est une ....

2) Exemple d'une transformation forcée : électrolyse d'une solution de bromure de cuivre

Activité 3 : On remplit un tube en U avec une solution de bromure de cuivre ($Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)}$) et on réalise le montage suivant en utilisant deux électrodes de graphite.



Remarque :

L'électrode liée au **pôle positif** du générateur s'appelle **l'anode** et celle liée au **pôle négatif** s'appelle **la cathode**.

Exploitation de l'activité 3

Pendant l'électrolyse, le courant électrique passe de l'anode (pôle positif) vers la cathode (pôle négatif) et les électrons circulent dans le sens contraire.

1) **Que se passe –t-il au voisinage de l'anode et au voisinage de la cathode ?**

Au voisinage de l'anode..

....

Au voisinage de l'anode ....

....

2) **Ecrire l'équation bilan, Que peut-on dire au sens de la réaction par apport à celui de l'activité 1.**

....

....

Conclusion

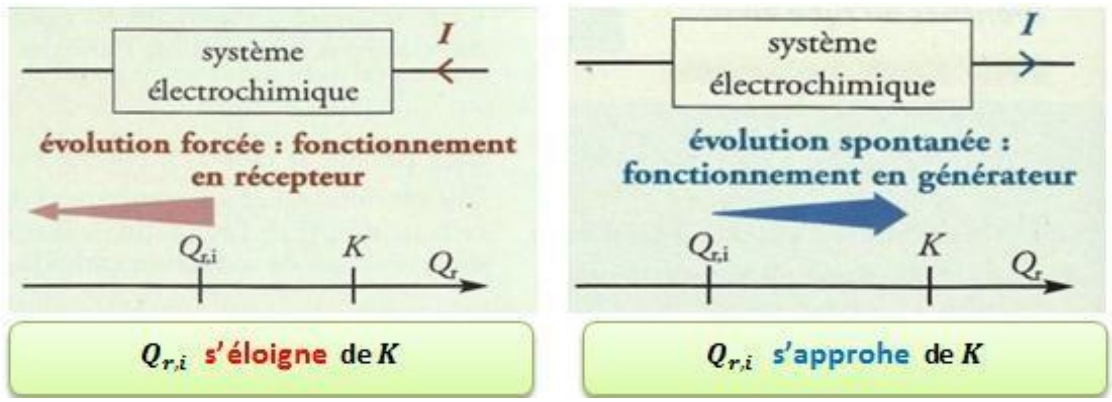
L'expérience montre que si **le générateur fournit l'énergie nécessaire**, le système peut évoluer dans l**e sens** .... de celui de la **transformation** .... : cette **transformation forcée** s'appelle ....

II- L’électrolyse :

1-Définition :

L’électrolyse est une transformation **forcée** due à la circulation d’un courant électrique **imposé** par un générateur. Le générateur fournit l’énergie électrique nécessaire pour imposer au système d’évoluer dans le **sens inverse** de son sens d’évolution spontanée.

Remarque

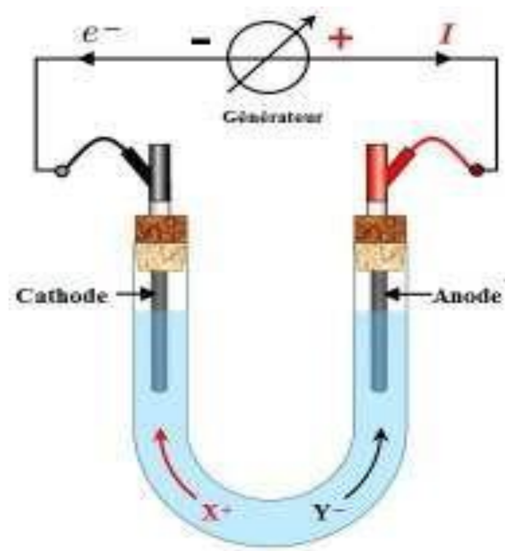


2-Mouvement des porteurs des charges

- **Par convention**, le courant électrique de la borne **positive** à la borne **négative** du générateur.

- Dans les électrodes et dans les parties des conducteurs métalliques du circuit, ce sont **les électrons** e^- qui sont les porteurs de charges. Ils se déplacent dans le **sens inverse** du courant électrique. Comme dans le cas des piles.

- **Les ions** X^+ et Y^- sont les porteurs de charges dans la solution. Les cations, chargés positivement, se déplacent dans **le sens du courant**, alors que les anions, chargés négativement, se déplacent dans **le sens inverse du courant**.



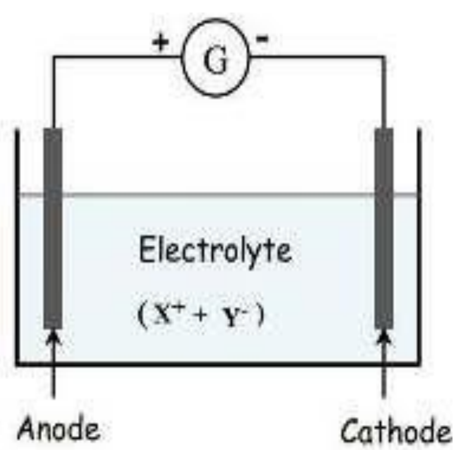
3-Réactions qui se produisent aux électrodes

Les électrons libérés par la borne **négative** du générateur sont captés par une **espèce chimique** en solution au contact de l’électrode reliée à cette borne. Au niveau de cette électrode, l’espèce chimique subit une **réduction**.

 L'électrode où se produit la réduction est appelée cathode.

Les électrons qui pénètrent dans la borne **positive** du générateur ont été libérés par une espèce chimique en solution au contact de l’électrode reliée à cette borne. Il se produit une réaction **d’oxydation** de l’espèce chimique au niveau de cette électrode.

 L'électrode où se produit l'oxydation est appelée anode



4-Quantité d'électricité Q fournie à l'électrolyseur

Soit un générateur fournissant un courant d'intensité **I** constant à un électrolyseur, pendant une durée Δt. La quantité d'électricité Q débitée est :

....

Avec :

Q : Quantité d'électricité en coulomb (C). I : Intensité en ampère (A) Δt : Durée en seconde (s)
n(e-): Quantité de matière d'électrons fournis par le générateur en mole (mol).
F : Charge par mole d'électron égale à un Faraday : F = 96500 $C.mol^{-1}$

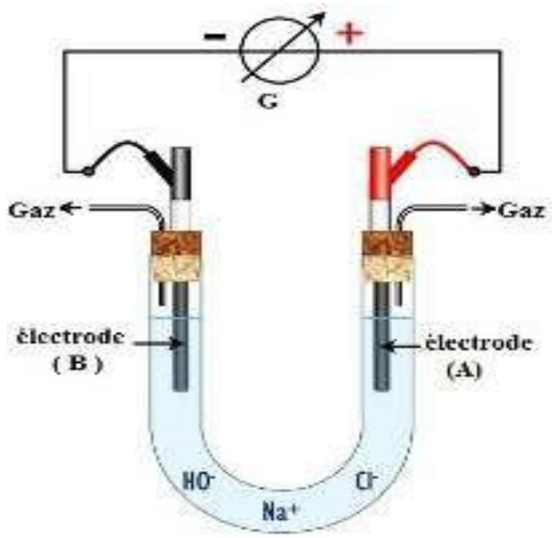
III- Applications de l'électrolyse :

1-Electrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium ($Na^+ + C\ell^-$)

Activité 3 On introduit dans un tube en U une solution aqueuse de chlorure de sodium ($Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) . Deux électrodes en graphite plongées dans la solution et reliées chacune à l'une des bornes (positive ou négative) d'un générateur de tension continue G. **-**Au début on ajoute le**phénolephtaléin**e et **L'indigo intialement bleu,** le premier prend la couleur rose lorsque la solution contient des ions HO^-. Le deuxième se décolore en présence de dichlore

Observations

- Les espèces chimiques en solutions : **H_2O** , graphite ,**Na^+** et **Cl^-**
- Pendant l'électrolyse il y a l'apparition des ions HO^- qui rend le milieu basique .
- L'expérience montre qu'il y a dégagement du dichlore **Cl_2** au voisinage l'un des électrodes et dégagement du dihydrogène **H_2** et formation des ions hydroxydes **HO^-** au voisinage l'un des électrodes
- **Les électrodes de graphites (A) et (A) ne réagissent pas**



Données :

- **Les couples mis en jeu sont**

Na^+/Na ; Cl_2/Cl^- ; O_2/H_2O ; H_2O/H_2

- La constante de Faraday : **F= 9,65.10^4 .C.mol^{-1}**
- Le volume molaire du gaz dans les conditions de l'expérience **V_m= 24 . L.mol^{-1}**

Exploitations

1- **Identifier les électrodes anode et cathode parmi les électrodes (A) et (B). Justifier votre réponse.**

....

....

2- **Déterminer le sens du mouvement des ions dans la solution. Justifier votre réponse.**

....

....

3- **Ecrire les réactions possibles au voisinage d'anode.**

....

....

………

………

4- Ecrire les réactions possibles au voisinage de cathode.

………

………

………

………

5- A partir des observations expérimentaux ; Déduire l'équation bilan.

………

………

6- Le générateur G fournit un courant d'intensité I = 3A , pendant une durée $\Delta t = 30\ min$.

a- Calculer la quantité d'électricité Q débitée pendant Δt.

………

b- Calculer le volume de dichlore $V(Cl_2)$ formé pendant Δt.

………

………

………

………

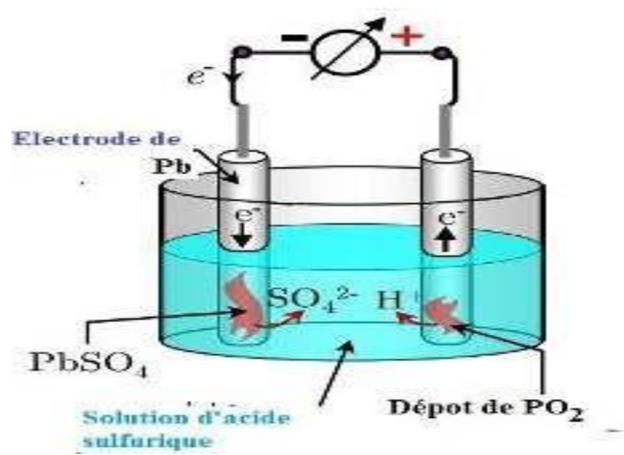
………

………

2- Accumulateur au plomb

La recharge des accumulateurs des voitures ou de téléphone sont des applications courantes de l'électrolyse. Un accumulateur peut fonctionner spontanément comme générateur (tout en jouant le rôle d'une pile) et aussi en **sens inverse** pour se recharger, car quand on le branche aux bornes d'un générateur qui impose un sens de courant inverse il se charge.

Prenons comme exemple l'accumulateur de plomb (batterie d'automobile), il est constitué de deux électrodes en plomb dont l'une est recouverte de dioxyde de plomb PbO_2 plongeant dans une solution d'acide sulfurique et sulfate du plomb II



Au niveau de l'anode : . $Pb_{(s)} + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^-$

Au niveau de la cathode : . $PbO_{2(s)} + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$

Equation globale dans le cas transformation spontanée:

$$PbO_{2(s)} + Pb_{(s)} + 2\,SO^{2-} + 4H^{+} \longrightarrow 2\,PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

Equation globale dans le cas transformation forcée:

$$2\,PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow PbO_{2(s)} + Pb_{(s)} + 2\,SO^{2-} + 4H^{+}$$

Remarque : La force électromotrice est de l'ordre de 2V , dans une batterie de voiture elle est égale à 12 V car on en associe six en serie.

3- Applications industrielles

Malgré le coût élevé de l'énergie électrique consommée, **l'électrolyse** a de nombreuses applications industrielles comme:

- La **préparation** et **la purification** de nombreux métaux comme l'aluminium,le zinc,le cuivre, l'argent et d'aures métaux.
- La **préparation d'eau** oxygénée ou **du dichlore** ou du dihydrogène,...
- La **protection avec une couche** d'or ou d'argent ou par d'autres métaux qui se dépose à la surface de divers objets pour améliorer leurs aspects.

4- Transformations forcées dans les systèmes biochimiques

Par exemple , l'énergie nécessaire aux réactions de biosynthèse dans le corps humain est fournie par la dégradation de molécules organiques .Dans le processus de respiration cellulaire, il y a oxydation du glucose et réduction du dioxygène , selon l'équation suivante :

$$C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons 6CO_2 + 6H_2O$$

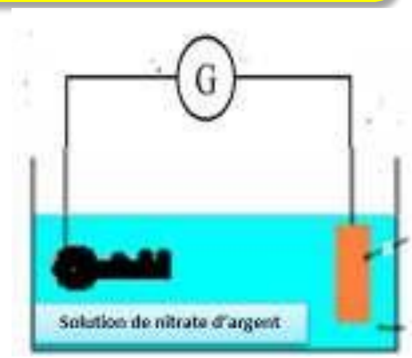
C'est une transformation spontanée

Pour les plantes l'énergie est apportée par la lumière du soleil et elle produit du glucose et le dioxygène à partie du dioxyde de carbone et l'eau qui existent dans l'atmosphère selon la réaction suivante :

$$6CO_2 + 6H_2O \rightleftharpoons C_6H_{12}O_6$$

Série d'exercices : Exemples de transformations forcées

Exercice1 **L'électrolyse est utilisé pour recouvrir les métaux avec une couche mince d'un autre métal, comme le zingage ou l'argenture… , pour les protéger de la corrosion ou pour améliorer son aspect.**



Données : **- La masse molaire de l'argent : M(Ag) = 108 $g.mol^{-1}$;**

-La constante de Faraday : 1F = $9{,}65.10^4$ $C.mol^{-1}$

On veut argenter une **clef métallique** en couvrant sa surface avec une couche mince d'argent de masse **m**. Pour atteindre cet objectif , on réalise une électrolyse dont la clef constitue l'une des électrodes . La deuxième électrode en graphité inattaquable (ne réagit pas) dans les conditions de l'expérience . L'électrolyte utilisé est une solution aqueuse de nitrate d'argent ($Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$) de volume V = 500 mL (voir figure).

Seuls les couples $Ag^+_{(aq)}/Ag_{(s)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(\ell)}$ interviennent dans cet électrolyse .

1-Quelle est la différence entre une transformation spontanée et forcée ? (En donnant des exemples)

2-La **clef** doit être l'anode ou la cathode ?

3- Ecrire l'équation au voisinage de chaque électrode, et déduire l'équation globale.

4- L'électrolyse a lieu pendant une durée $\Delta t = 20,0\ min$ avec un courant d'intensité constante **I = 4,0 A**.

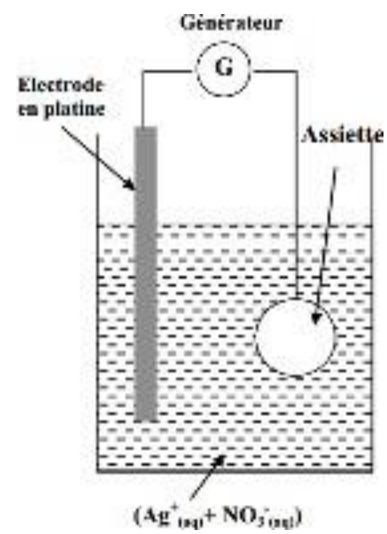
4-1 Dresser le tableau d'avancement de la transformation qui a lieu au niveau de la cathode, Trouver la masse m(Ag) d'argent pendant la durée Δt .

4-2 Déduire la concentration molaire minimale nécessaire de la solution de nitrate d'argent $[Ag^+]_{i,min}$

Exercice2 On veut argenter une assiette métallique de surface totale **S = 190,5 cm^2** en couvrant sa surface avec une couche mince d'argent de masse m et d'épaisseur **e = 20µm**

Pour atteindre cet objectif , on réalise une électrolyse dont l'assiette constitue l'une des électrodes . Le deuxième électrode est une tige en platine inattaquable dans les conditions de l'expérience. **L'électrolyte** utilisé est une solution aqueuse de nitrate d'argent ($Ag^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$) de volume **V = 200 mL**

(voir figure1) . Seuls les couples $Ag^+_{(aq)}/Ag_{(s)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(\ell)}$ interviennent dans cet électrolyse.



1- L'assiette doit être l'anode ou la cathode ?

2- Ecrire l'équation bilan de l'électrolyse.

3- Calculer la masse **m** de la couche d'épaisseur **e** déposée sur la surface de l'assiette.

4- Quelle est la concentration molaire initiale minimale nécessaire de la solution de nitrate d'argent ?

5- L'électrolyse a lieu pendant une durée **30,0 min** avec un courant d'intensité constante.

5-1 - Dresser le tableau d'avancement de la transformation qui a lieu au niveau de la cathode, et déduire l'expression de l'intensité du courant I en fonction de **m** , **M(Ag)** ,**F** et **Δt** . Calculer la valeur de **I.**

5-2 - Calculer le volume $V(O_2)$ du dioxygène formé pendant Δt.

Données

La masse volumique de l'argent : $\rho = 10{,}5\ g.cm^{-3}$; La masse molaire de l'argent M(Ag) = 108 g.mol-1

Le volume molaire dans les conditions de l'expérience V_M = 25 $L.mol^{-1}$; 1F = $9{,}65.10^4$ $C.mol^{-1}$

**************************** CORRECTION *********************************

Cours N°C 9 : *Réactions d'estérification et d'hydrolyse*

Introduction **Le méthanoate d'éthyle donne à l'ananas son odeur caractéristique qui est un composé organique appartenant à un groupement organique appelé les esters. La réaction qui permet d'obtenir un ester à partir d'un acide carboxylique et un alcool est estérification, sa réaction inverse appelé l'hydrolyse de l'ester. Comment réalise-t-on ces deux réactions? Quelles sont leur caractéristiques ? Et comment contrôler leurs évolutions.**

I-Rappel : Nomenclature des alcanes

1- Le alcanes

Les alcanes sont des hydrocarbures saturés.(ils sont constitués par des atomes de carbone et des atomes d'hydrogène liés entre eux par des liaisons simples C-C et C-H).

La formule brute générale des alcanes est : $\mathbf{C_nH_{2n+2}}$ (n : entier naturel non nul).

Remarque :

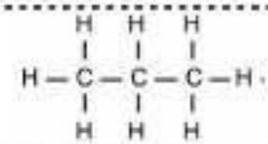
La formule brute indique le nombre et la nature des atomes constituant la molécule.

La formule développée fait apparaître tous les atomes et toutes les liaisons entre les atomes de la molécule.

La formule semi-développée fait apparaître tous les atomes et toutes les liaisons entre les atomes à l'exception des liaisons avec les atomes d'hydrogène.

La formule topologique est une représentation simplifiée dans laquelle la liaison entre les atomes de carbones est représentée par un segment dont chaque extrémité correspond à un atome de carbone

Exemple : Le propane

formule brute	formule plane développée	formule semi développée	représentation topologique
C_3H_8		CH_3-CH_2-CH_3	

2- Nomenclature des alcanes:

a) Cas des alcanes à chaine linéaire:

Le nom **d'un alcane** est formé d'un terme dépendant du nombre d'atomes de carbone dans la chaîne, suivi du suffixe "**ane**"

Nombre de carbone de l'alcane	Nom de l'alcane	Formule brute C_nH_{2n+2}	Formule semi-développée
1 : méth	**méthane**	....	....
2 : éth	**éthane**	....	....
3 : prop	**propane**	....	....
4 : but	**butane**	....	....
5 : pent	**pentane**	....	....
6 : hex	**hexane**	....	....
7 : hept	**heptane**	....	....
8 : oct	**octane**	....	....

Remarque : Les radicaux alkyles ont pour formule brute : $-C_nH_{2n+1}$

- un radical alkyle dérive d'une molécule d'alcane par perte d'un atome d' hydrogène.
- Le nom d'un radical alkyle s'obtient à partir du nom de l'alcane correspondent (qui a le même nombre d'atomes de carbones) en échangeant la terminaison (**ane**) par (**yle**).

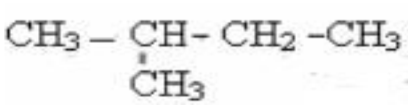
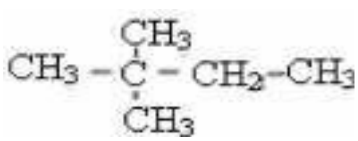
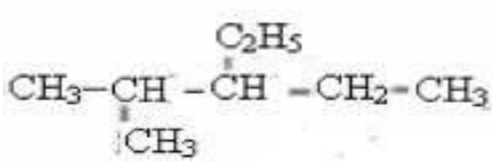
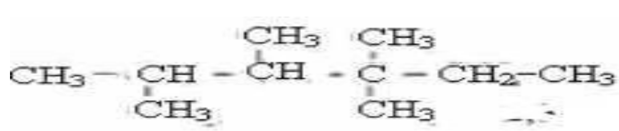
Nombre d'atomes de carbones	L'alcane	Son nom	L'alkyl correspondant	Son nom
1	CH_4	méthane	$-CH_3$	méthyle
2	C_2H_6	éthane	$-C_2H_5$	éthyle
3	C_3H_8	propane	$-C_3H_7$	propyle
4	C_4H_{10}	butane	$-C_4H_9$	butyle

b) Nomenclature des alcanes ramifiés:

Le **nom d'un alcane ramifié** est déterminé en appliquant la règle suivant :

- On cherche la <u>chaîne carbonée la plus longue</u> (: représente **chaîne carbonée principale**).
- On place en préfixe le nom du **groupe d'alkyle** avec **sa position** puis on complète par le **nom de la chaîne carbonée principale (= nom d'alcane linéaire).**
- S'il y a plusieurs **radicaux alkyles**, ils sont placés par ordre alphabétique.
- S'il y a les mêmes radicaux sont répétés, on utilise les préfixes multiplicateur (di , tri , tétra ..etc).

Application 1

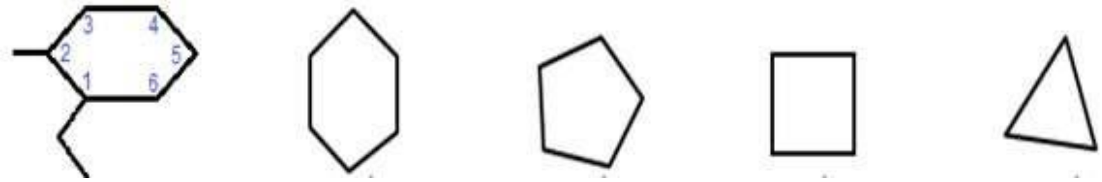
Les alcanes ramifies	Nomenclature
	……………………….
	…………………………
	…………………………….
……………………………….	

C- Nomencalture des cycloalcanes

Les cycloalcanes sont des hydrocarbures cycliques saturés, dont la formule brute générale est : : $\mathbf{C_nH_{2n}}$

Avec **n>2**: Le nom d'un cycloalcane s'obtient en utilisant le préfixe "**cyclo**" suivi par le nom de l'alcane correspondant.

Application 2



……….…………… …………….…… ………………… ………………… ………………

II- Groupe des esters

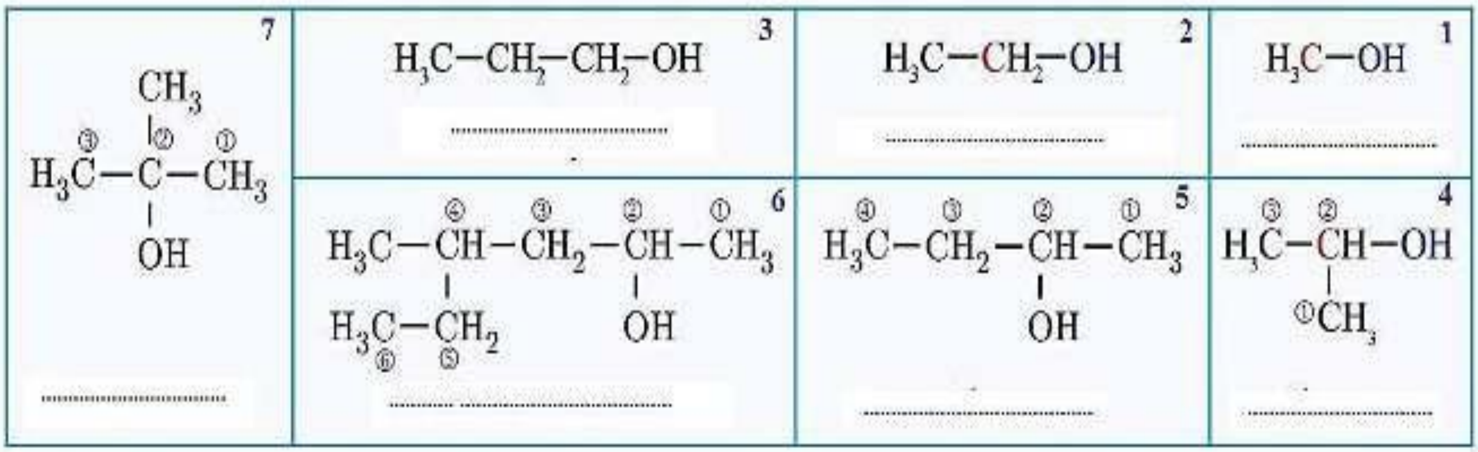
1) Groupe des alcools

- La molécule d'alcool possède le groupement fonctionnel **–OH** **appelé groupement hdroxyde**
- La formule brute générale des alcools est : **R-OH** **avec R est un groupe alkyl : - C_nH_{2n+1}**

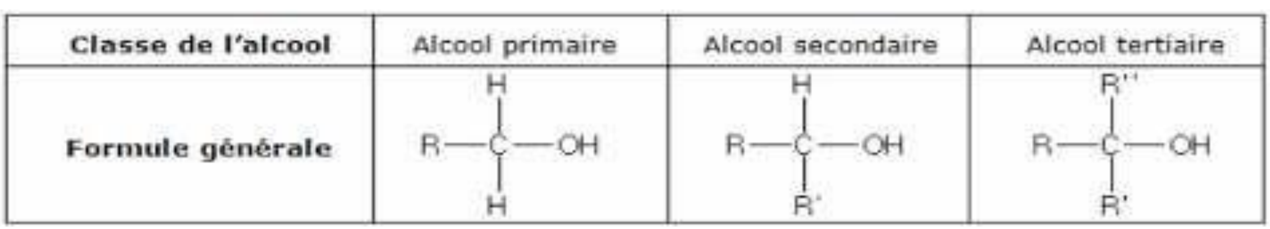
❖ **Nomenclatures des alcools**

Le nom de l'alcool Le nom de l'alcool est obtenu à partir du nom de l'hydrocarbure (alcane) correspondant dans lequel on remplace le « **e** » final par la terminaison "**ol**", précédée d'un indice indiquant la position du carbone portant le groupe hydroxyle « OH » dans la chaîne principale (on attribuera le plus petit numéro possible au carbone portant ce groupe **OH**)

Application 3

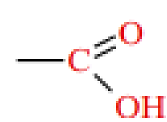


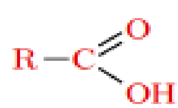
Remarque : On distingue trois classes d'alcools, les alcools primaires, les alcools secondaires et les alcools tertiaires.



Dans un **alcool primaire**, le carbone fonctionnel est lié à **deux atomes d'hydrogène**.
Dans un **alcool secondaire**, le carbone fonctionnel est lié à un **seul atome d'hydrogène.**
Dans un **alcool tertiaire**, le carbone fonctionnel n'est lié à **aucun atome d'hydrogène.**

3) Groupe des acides carboxyliques :

L'acide carboxyle est un composé organique contient le groupement fonctionnel : —COOH ou 

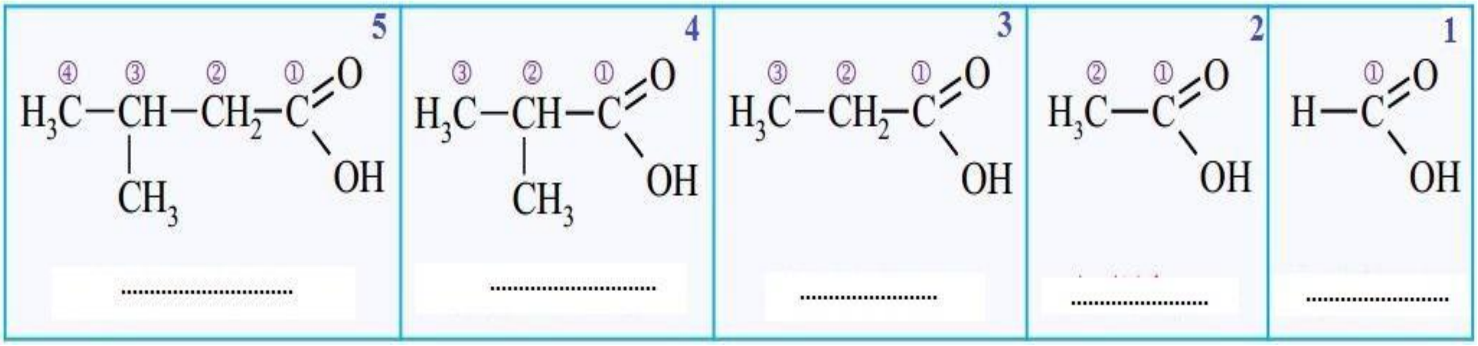
La formule générale d'acide **carboxyle est** R—COOH **ou**  **;** telle que R est groupe d'alkyle ou atome **d'hydrogène**

Nomenclature: Le nom de l'acide s'obtient en considérant le nom de l'alcane correspondant dans lequel :

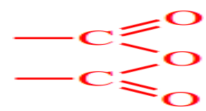
- ✓ On remplace le « **e** » final par la terminaison **OÏQUE**.
- ✓ On fait alors précédé le nom du composé du mot **acide**.

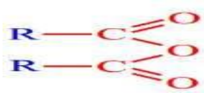
Les règles concernant la position des différents radicaux sont conservées. La numérotation commence par le carbone fonctionnel

Application 3

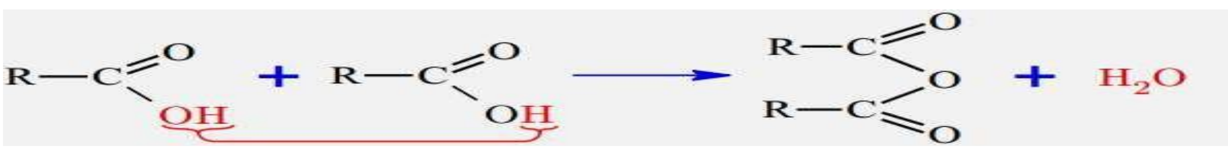


4) Anhydride d'acide :

Anhydride d'acide est un composé organique contient le groupement fonctionnel : 

-Sa formule générale est  ; telle que **R** est le groupe d'alkyle ou atome **d'hydrogène**

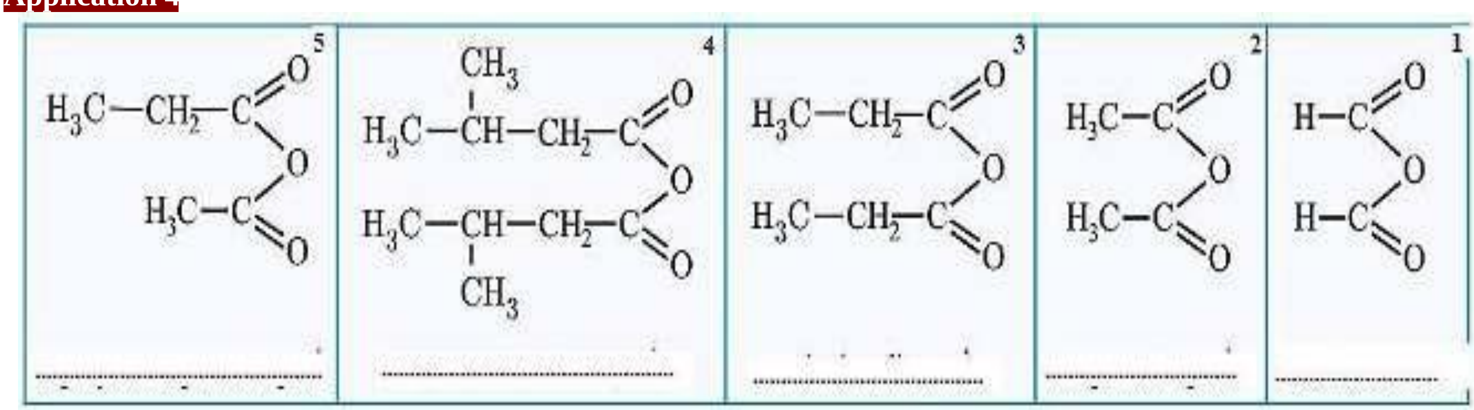
Préparation Le nom anhydride (ou acide sans eau) peut être préparé en éliminant une molécule d'eau entre deux molécules d'acide carboxylique :



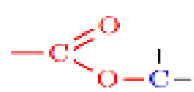
Nomenclature. Le nom s'obtient en remplaçant le mot **acide** par le mot **anhydride** dans le nom de l'acide carboxylique correspondant. **Exemple** : **L'acide éthanoïque** correspond **l'anhydride éthanoïque.**

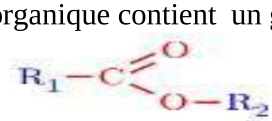
Remarque : Si les deux radicaux hydrocarbonés sont différents, l'anhydride est dit mixte. On l'obtient par élimination d'une molécule d'eau entre deux molécules d'acides différents

Application 4

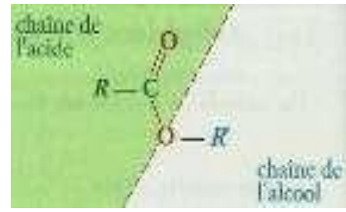


5) Groupe des esters

L'ester est un composé organique contient un groupement fonctionnel : 

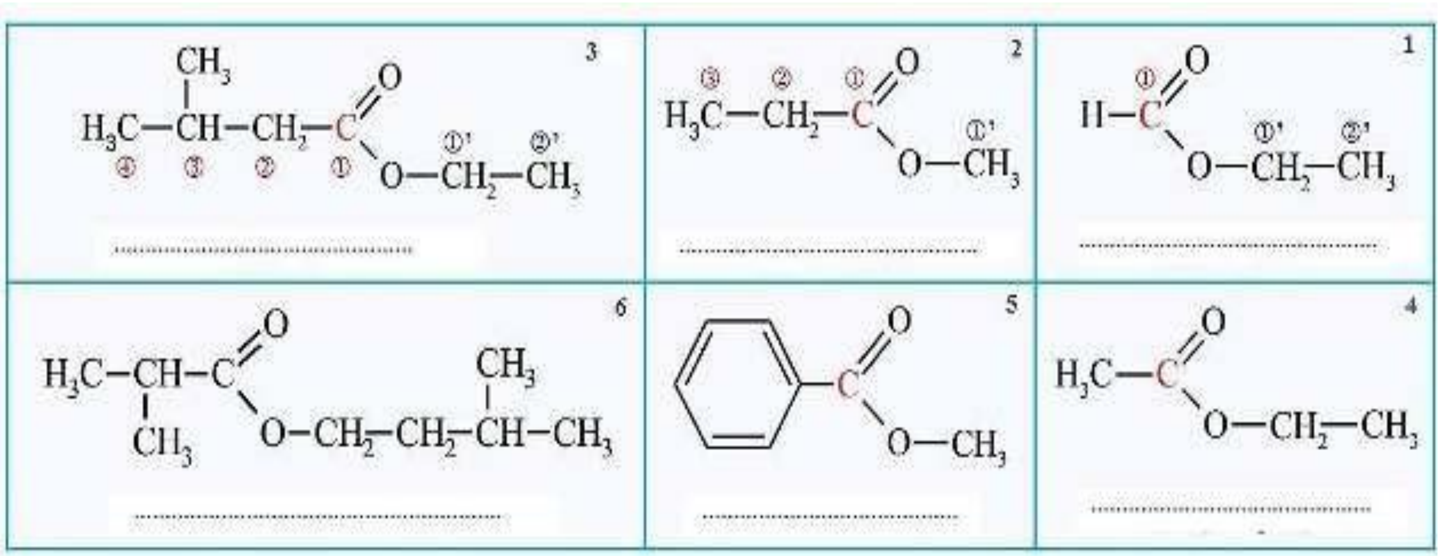
Sa formule générale est  **ou** ; $R_1 - COO - R_2$ **Telle que** R_2 G H

Nomenclature **Le nom de l'ester , se compose de deux parties:**



-**La première partie** se dérive du nom de **l'acide** correspondant en remplaçant la terminaison "**oique**" par "**oate**".
-**La deuxième partie** c'est le nom du groupe d'alkyle **–R_2** lié à l'atome d'oxygène.

Application 5

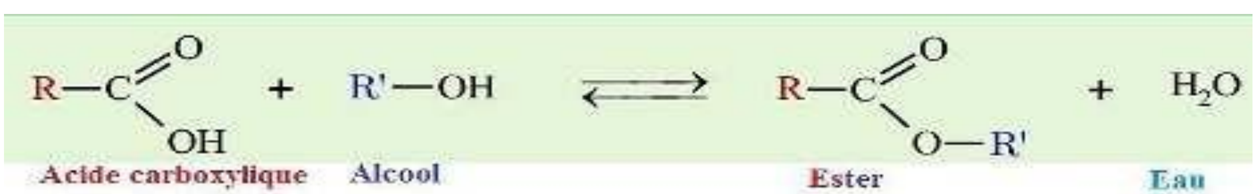


III- Réactions d'estérification et d'hydrolyse.

Les esters sont des composés **odorants**, que l'on trouve en abondance dans les fruits mûrs (ananas, poire, banane…) et qui entrent souvent dans la composition des huiles essentielles, comme celle de la lavande. Ils sont utilisés dans la fabrication des parfums ou comme aromatisants dans l'industrie alimentaire.

1-La réaction d'estérification

La réaction d'un **acide carboxylique** avec **un alcool** conduit à la **formation d'ester** et **d'eau**. Cette réaction s'appelle **: estérification.** **Son équation s'écrit sous forme :**



Remarque : **La réaction d'estérification est** : **limitée** ; **très lente** **et athermique**. (On utilise deux flèches)

Application 6 En utilisant des formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction dans des cas suivants, et donner les noms des réactifs et des produits.

1- Réaction entre l'acide propanoïque avec éthanol.
2- Réaction d'estérification qui conduit à la formation de éthanoate -2- méthyle de buthyle

....

....

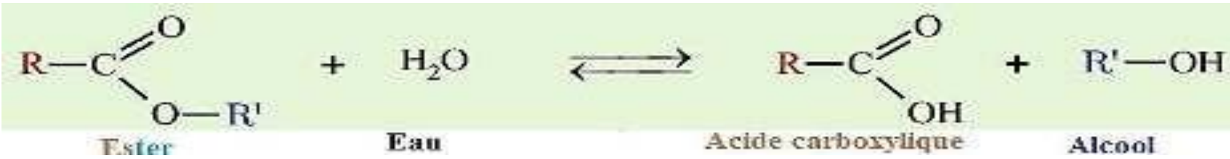
....

....

....

2-La réaction d'hydrolyse

L'hydrolyse d'un **ester** est la réaction **inverse de l'estérification**. La réaction entre un **ester** et l'**eau** conduit à la formation d'un **acide carboxylique** et d'un **alcool. Son équation s'écrit sous forme :**



Remarque : La réaction d'hydrolyse est : **limitée** ; **très lente** **et** **athermique**.

Application 7 En utilisant des formules semi-développées, **écrire l'équation de la réaction d'hydrolyse d'éthanoate, et donner les noms desproduits formés**

....

....

....

....

3- L'état d'équilibre d'estérification et d'hydrolyse

Les réactions **d'estérification et d'hydrolyse** sont l'inverse l'une de l'autre, elles se produisent simultanément. Lorsque leurs vitesses sont égales l'équilibre est atteint. Dans l'état d'équilibre l'acide, l'alcool, l'ester et l'eau coexistent.

$$\text{Acide} + \text{Alcool} \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} \text{Ester} + H_2O$$

(1) : Estérification ***(2) : Hydrolyse***

On peut exprimer les constantes de réactions associées à ces deux réactions inverses. Considérons un système chimique de volume V constant à l'équilibre contenant l'acide, l'alcool, l'ester et l'eau.

L'expression de la constante d'équilibre K :

Pour l'estérification on a

:...

....

....

Pour l'hydrolyse on a : ....

⚠Dans le cas de **l'estérification**, l'**eau** n'est pas un **solvant** !, il faut impérativement la faire apparaître dans l'expression de la **constante** d'équilibre.

⚠La constante d'équilibre **d'estérification** et **d'hydrolyse** est indépendante de température.

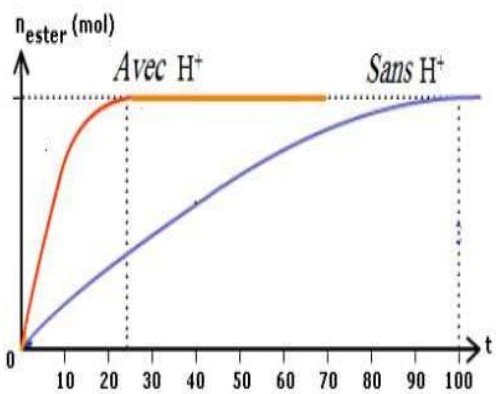
V- Contrôle de la réaction d’estérification et d’hydrolyse

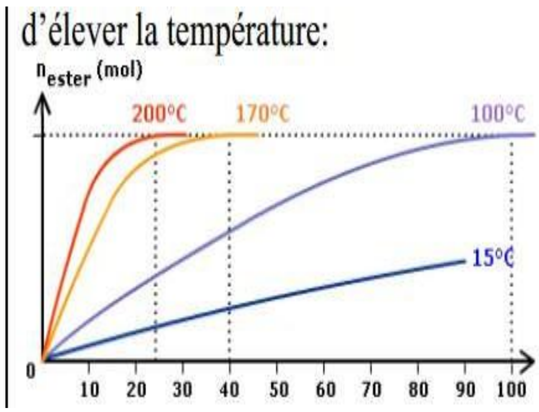
Les réactions **d’estérification** et **d’hydrolyse** sont **lentes**. Donc comment peut-on augmenter la vitesse de réaction et la valeur de taux d’avancement finale.

1- Contrôle de la vitesse de réaction

Pour augmenter **la vitesse de réaction** d’une **estérification** ou d’une **hydrolyse**, il est possible :

- d’utiliser un **catalyseur,** qui augmente la vitesse de réaction sans modifier l’état final (il n’apparaît donc pas dans l’équation de réaction).
- d’**élever** la température.





2- Contrôle de l’état final, déplacement d’équilibre

Déplacer l’équilibre c’est faire évoluer le mélange vers un nouvel état d’équilibre où les proportions des constituants sont différentes. On considère le système à l’équilibre $\boldsymbol{Q}_{r,éq} = K$

$$\text{Acide} + \text{Alcool} \underset{(2)}{\overset{(1)}{\rightleftharpoons}} \text{Ester} + H_2O \qquad Q_r = \frac{[Ester].[H_2O]}{[Acide].[Alcool]}$$

• **L'utilisation** de **l'un** des **réactifs** **en excès** (**l'alcool** ou bien **l'acide**) entraine **la diminution** du quotient de la réaction Q_r, il devient $\boldsymbol{Q}_r < K$ ce qui conduit à l'évolution du système dans **le sens direct** (***sens de l'estérification*** **(1)**).

• **L'élimination** de l'**un** des **produits** (eau ou bien l'ester) entraine aussi **la diminution** du quotient de la réaction $\boldsymbol{Q}_r$, il devient $\boldsymbol{Q}_r < K$ ce qui conduit à l'évolution du système dans **le sens direct** (***sens de l'estérification (1)***)

3- Rendement d’une réaction d’estérification .

Le **rendement de la réaction d’estérification** est le quotient de la quantité de matière d’ester obtenu expérimentalement n_{exp} par celle maximale d’ester attendue n_{max}.

……………………

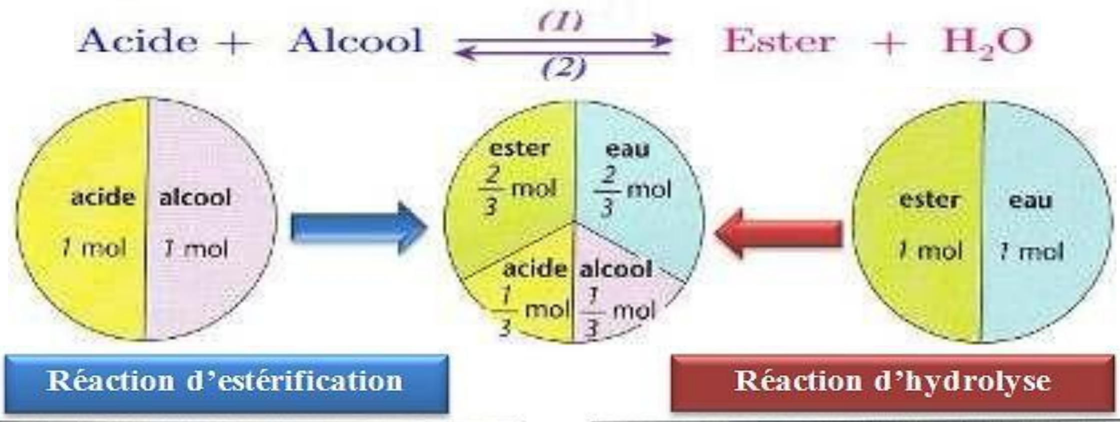
Pour **améliorer le rendement** **d’estérification** et **d’hydrolyse** il faut :

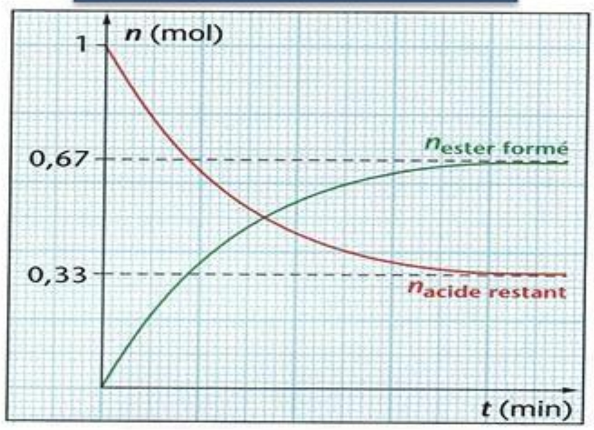
- **Utiliser l’un des réactif** en **excès,** **(soit** à **l’état initial ou** à **l’état d’équilibre)**
- **Eliminer** l’**un** des **produits** au cours **de sa formation**.

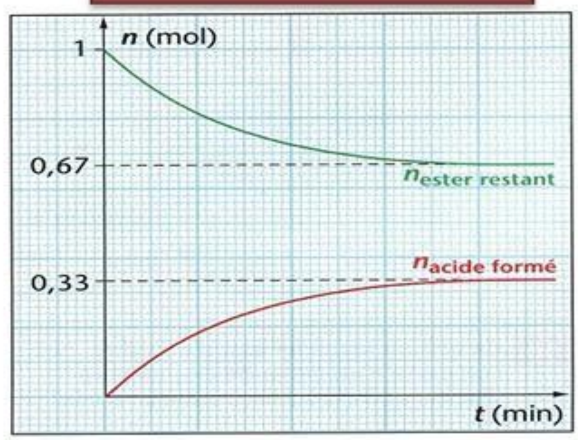
Remarque : si l’on part d’un mélange **équimolaire** **d’acide** et **d’alcool** ou **d’ester** et **d’eau** **, Le rendement de l’estérification** dépend **peu du choix de l’acide**. **En revanche** il dépend nettement de **la classe de l’alcool**

67 % pour un alcool primaire	**60 % pour un alcool secondaire**	**5 % pour un alcool tertiaire**

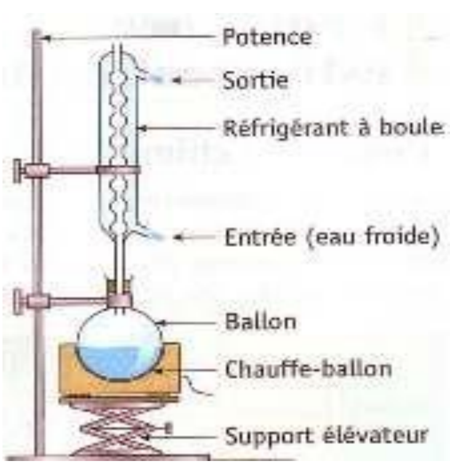
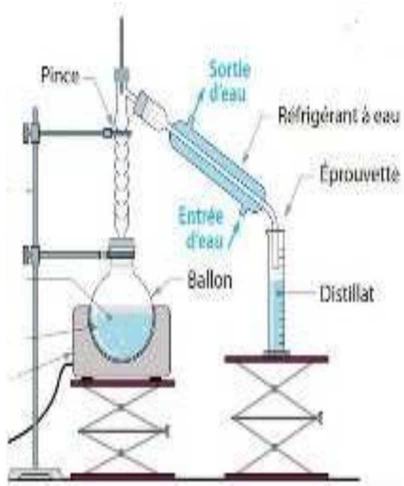
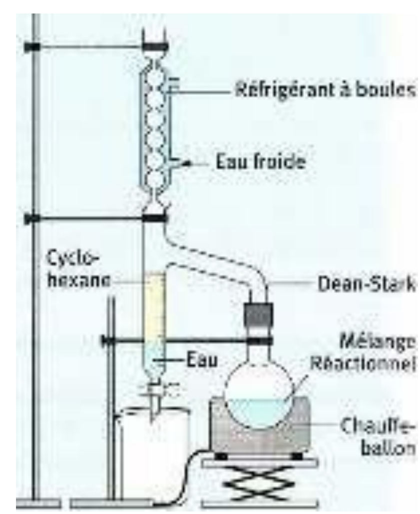
Exemple



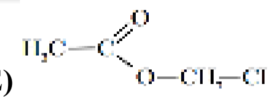




Annexe, **de matériels**

<table>
<tr>
<td>Pour synthétiser un ester on utilise le chauffage à reflux qui a pour but :
-Le chauffage du mélange réactionnel.
- Eviter de perdre une partie des réactifs et des produits par vaporisation.

</td>
<td>L'élimination de l'ester se fait par distillation fractionnée

</td>
<td>L'élimination d'eau se fait grâce à un montage dit de Dean-Stark

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

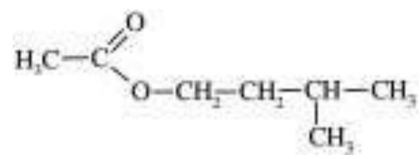
Série d'exercices : Réactions d'estérification et d'hydrolyse

Exercice 1 On mélange dans un ballon **1 mol d'éthanoate d'éthyle noté (E)**  pur avec **1 mol** d'eau distillée, on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et on **chauffe à reflux** le mélange réactionnel pendant un certain temps. Une réaction chimique se produit. A l'équilibre, il reste **0,67 mol** d'éthanoate d'éthyle.

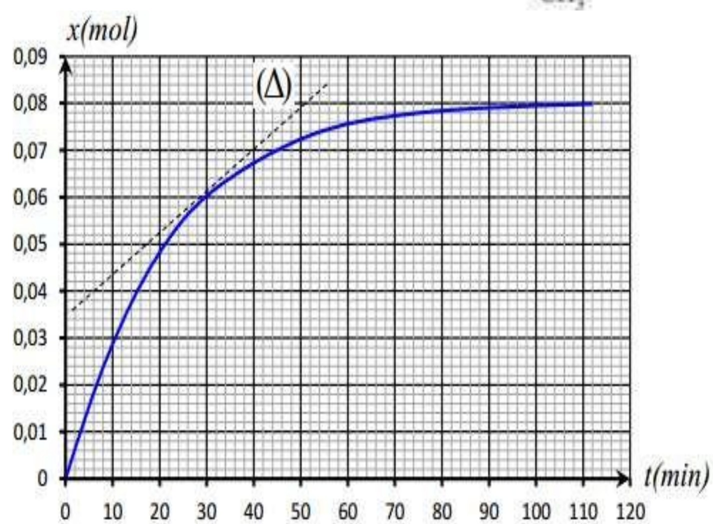
1-Ecrire, en utilisant les formules semi développées, l'équation de la réaction ayant lieu entre l'ester (E) et l'eau, et donnez les noms des produits formées.
2. Citer deux caractéristiques de cette réaction.
3. Quel est l'intérêt du chauffe à reflux et l'acide sulfurique ajouté ?
4. Calculer la constante d'équilibre **K** associée à l'équation de cette réaction chimique.
5. Calculer le rendement **r** à la fin de la réaction.
6. Proposer deux méthodes pour augmenter le rendement de cette réaction.

Exercice 2 : Le composé organique éthanoate-3 méthyle buthyle est caractérisé par une bonne odeur qui ressemble à celle de la banane, il est ajouté comme parfum dans quelques confiseries et des boissons et le yourte .Cette partie de l'exercice a pour objectif l'étude cinétique de la réaction de l'hydrolyse de l'éthanoate-3 méthyle buthyle et la détermination de la constante d'équilibre de cette réaction.

La formule semi développée de l'éthanoate-3 méthyle buthyle noté E :



Données
Masse molaire du composé E : **M(E) = 130 g.mol^{-1}**
Masse volumique du composé E : **ρ(E) = 10,87 g.ml^{-1}**
Masse molaire de l'eau : **M(H_2O) = 18 g.mol^{-1}**
Masse volumique de l'eau : **ρ(H_2O) = 1 g.ml^{-1}**



On verse dans un ballon le volume V(H_2O) = 35 mL d'eau distillée et le met un bain marie de température constante et on lui ajoute le volume V(E) = 15 mL du composé E , et on obtient un mélange de volume V = 50 mL.

1- Déterminer le groupe caractéristique du composé E.
2- Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du composé E en utilisant les formules semi développées .
3- On suit l'évolution de l'avancement x(t) de la réaction en fonction du temps et on obtient la courbe suivante .
3-1 Calculer en $mol.L^{-1}.min^{-1}$ la valeur de la vitesse à l'instant $= 30\,min$. La droite T représente la tangente à la courbe au point d'abscisse $t = 30\,min$.
3-2 Déterminer graphiquement l'avancement final x_f et le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.
4- Dresser le tableau d'avancement du système chimique et déterminer la composition du mélange à l'équilibre
5- Déterminer la constante d'équilibre K associée à l'hydrolyse du composé E.

Exercice 3

I. Etude de la réaction de l'éthanoate d'éthyle avec l'eau

On mélange dans un ballon 1 mol d'éthanoate d'éthyle pur avec **1 mol** d'eau distillée, on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et on chauffe à reflux le mélange réactionnel pendant un certain temps. Une réaction chimique se produit. A l'équilibre, il reste **0,67 mol** d'éthanoate d'éthyle.

1- Quel est le rôle de l'acide sulfurique ajouté ?

2- Citer deux caractéristiques de cette réaction.

3- Ecrire l'équation de la réaction chimique étudiée en utilisant les formules semi-développées.

4- Calculer la constante d'équilibre K associée à l'équation de cette réaction chimique.

II. Etude de la réaction de l'éthanoate d'éthyle avec l'hydroxyde de sodium

On introduit, à la date t = 0, la quantité de matière $\mathbf{n_0}$ de l'éthanoate d'éthyle dans un bécher contenant la même quantité de matière $\mathbf{n_0}$ d'hydroxyde de sodium $(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)})$ de concentration $c = 10\ mol.m^{-3}$ et de volume V_0.

On considère que le mélange réactionnel obtenu a un volume $V_0 = V = 10^{-4}\ m^3$.

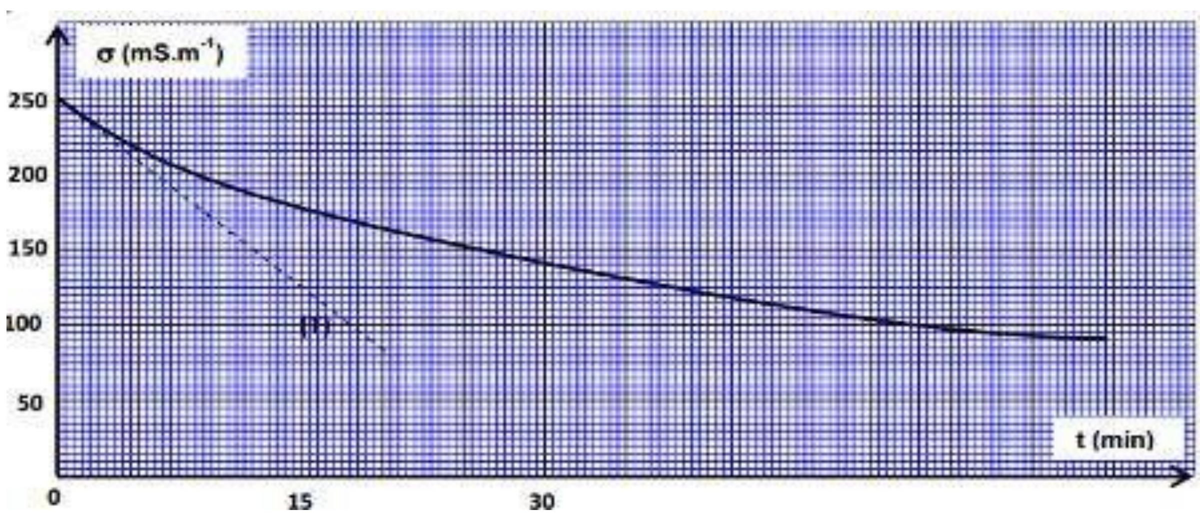
L'équation associée à la réaction chimique s'écrit :

$$C_4H_8O_{2(\ell)} + HO^-_{(aq)} \longrightarrow A^-_{(aq)} + B_{(aq)}$$

1- Ecrire la formule semi-développée de l'espèce chimique A^- et donner son nom.

2- Dresser le tableau d'avancement de la réaction.

3- On suit l'évolution de la réaction en mesurant la conductivité σ du mélange réactionnel à des instants différents. Le graphe ci-dessous représente $\sigma(t)$ ainsi que la tangente (T) à l'origine.



A chaque instant t, l'avancement x(t) peut être calculé par l'expression :

$x(t) = -6{,}3.10^{-3}.\sigma(t) + 1{,}57.10^{-3}$; avec $\sigma(t)$ la conductivité du mélange réactionnel exprimée en $S.m^{-1}$ et x(t) en mol. En exploitant la courbe expérimentale :

a. Calculer $\sigma_{1/2}$, la conductivité du mélange réactionnel quand $x = \frac{x_{max}}{2}$; x_{max} étant l'avancement maximal de réaction.

b. Trouver, en minutes, le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

c. Déterminer, en $mol.m^{-3}.min^{-1}$, la vitesse volumique v de la réaction à la date t=0.

*****************************CORRECTION***********************************

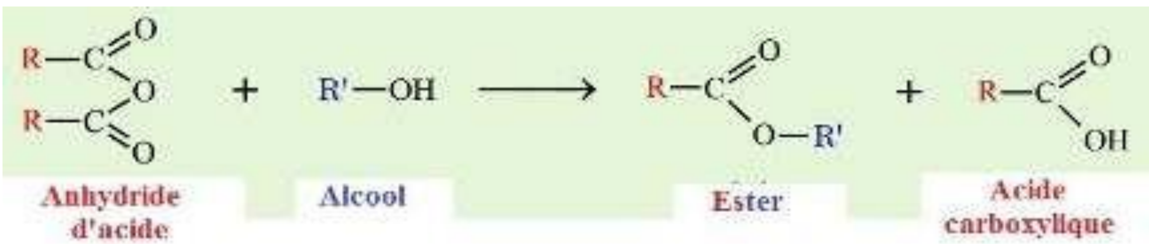
Cours N°C 10 : Contrôle de l'évolution d'un système chimique

Introduction : **Les savons sont obtenus par hydrolyse basique d'esters naturels L'aspirine (ou acide acétylsalicylique) est un exemple d'ester est fabriquée de l'anhydride éthanoïque et l'acide salicylique , c'est l'un des médicament les plus consommés dans le monde .C'est une réaction d'estérification totale. Comment réalise -t-on des réactions d'estérification et hydrolyse avec un bon rendement ? Comment expliquer les propriétés des savons ?**

I- Préparation d'un ester à partir d'un anhydrique et l'alcool

1- Estérification rapide:

La synthèse des esters à partir des acides carboxyliques est une réaction **lente** et **limitée**, elle devient plus rapide et totale lorsque **l'acide carboxylique** est remplacé par **son anhydride**.



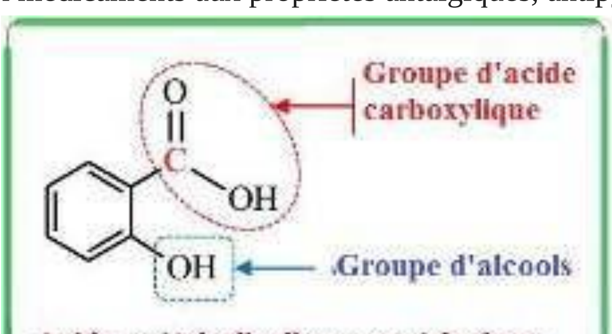
Cette réaction est **rapide** et **totale** (On l'appelle **estérification rapide** avec **l'anhydride de l'acide carboxylique**)

Application 1 Ecrire la réaction qui donne la synthèse de l'**éthanoate 2 méthyle propyle**

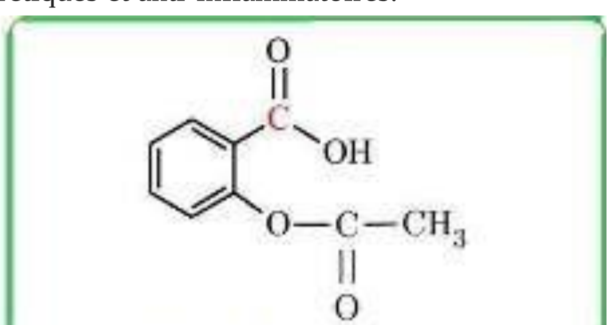
……
……
……

Exemple de Préparation

L'acide acétylsalicylique (AAS), plus connu sous le nom commercial **d'aspirine**, est la substance active de nombreux médicaments aux propriétés antalgiques, antipyrétiques et anti-inflammatoires.

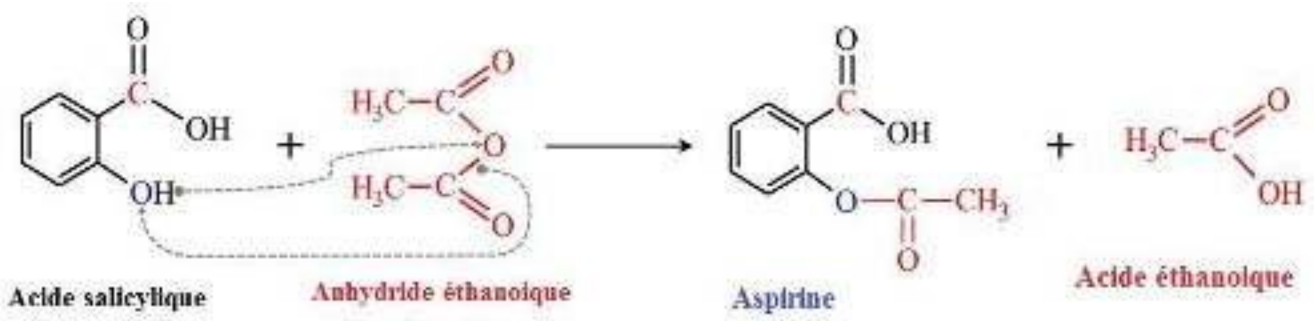


Acide acétylsalicylique possède deux groupes caractéristiques



Molécule d'aspirine ou Acide acétylsalicylique

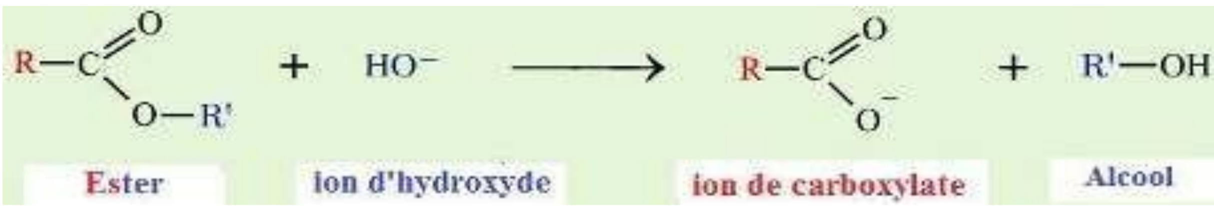
L'aspirine est un **ester** synthétisé à partir de **l'acide salicylique** et de **l'anhydride éthanoïque. (Voir l'équation)**



II- Hydrolyse basique des esters : saponification

1- Reaction de saponification d'un ester ou hydrolyse basique des esters.

La réaction de saponification **d'un ester** est la réaction entre l'ion hydroxyde HO^- (issu des bases $NaOH$ ou KOH) et un ester. Elle donne **un alcool** et **un ion carboxylate**:



La réaction de saponification des esters rapide et totale

Application 2 **Ecrire la réaction de saponification butanoate de méthyle, et donner les noms des produits**

……
……
……
……
……

Exemple de préparation d'un savon :

Pour préparer **le savon** on mélange de **l'huile** et **de soude** mis en solution dans l'**éthanol** et on ajoute la **pierre ponce** au mélange (pour régulariser l'ébullition), puis on chauffe à reflux (**figure 1**) vers 120 °C pendant une demi-heure.

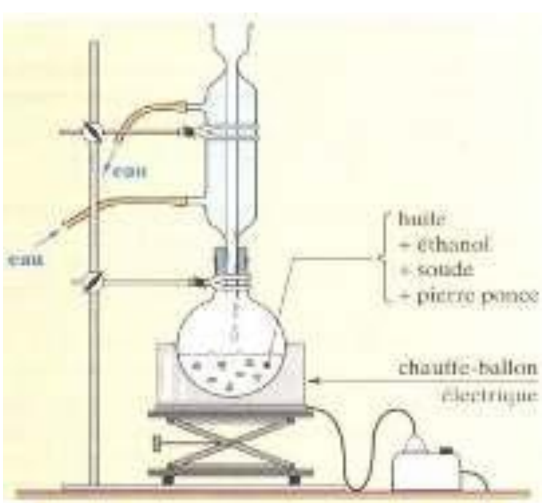


Figure 1 : Chauffage à reflux

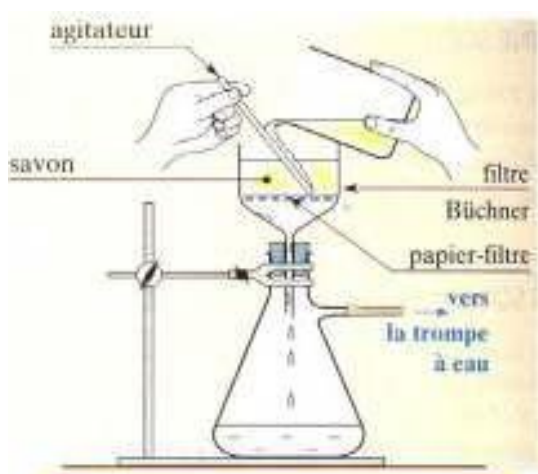


Figure 2 : Filtration sur Büchner

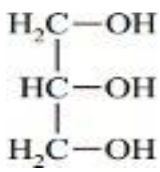
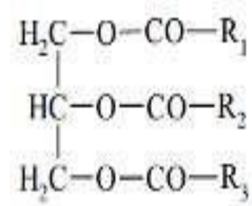
Le **savon formé** est séparé de l'alcool et de l'excès de soude par **relargage** dans une solution concentrée de chlorure de sodium, car **le savon** qui n'est trop soluble dans 1'eau salée précipite ce qui permet de le recueillir par filtration (**figure2**).

Le relargage est un procédé qui consiste, lorsqu'un produit est soluble à la fois dans l'eau et dans un autre liquide non miscible à l'eau, à ajouter à ce mélange liquide un peu de **chlorure de sodium** pour faciliter la séparation.

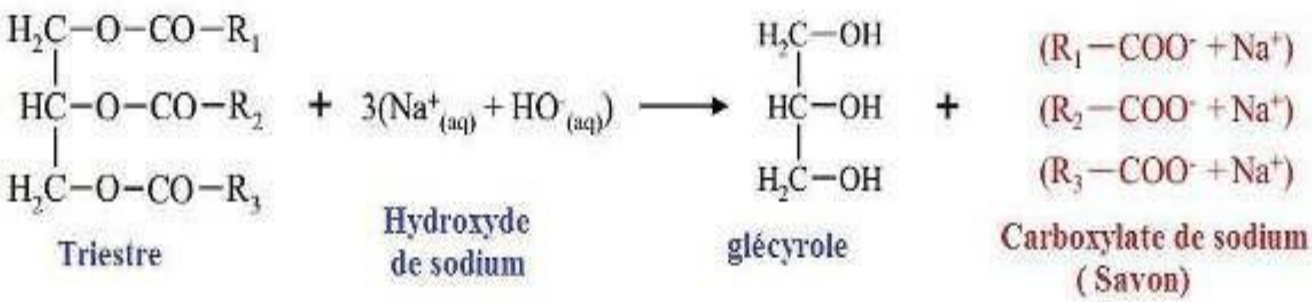
2- Application; saponification des acides gras.

Les savons sont obtenus par réaction de saponification de **triesters** appelés **corps gras** ou **triglycérides**.

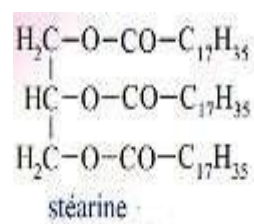
Les **acides gras** sont des acides carboxyliques $RCOOH$ ayant des chaines carbonées longues .exemple : $C_{17}H_{35}COOH$.
La réaction **d'un glycérol** avec **acide gras** conduit à **un triester**.

La réaction d'un glycérol  avec **acide gras R-COOH** conduit à **un triester** 

Le **triester résultant** (ou **triglycérides**) est un **corps gras**, en le faisant réagir avec **la soude** on obtient **du savon.**



Application 3 Le stéarate de sodium est un savon est obtenue par la réaction de saponification de stéarine. **Ecrire la réaction de saponification de stéarine**

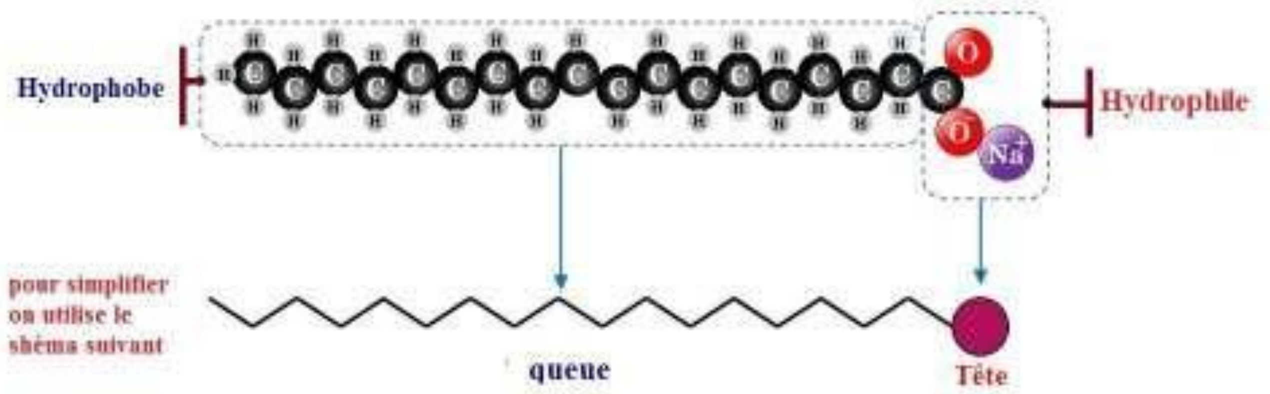


…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………

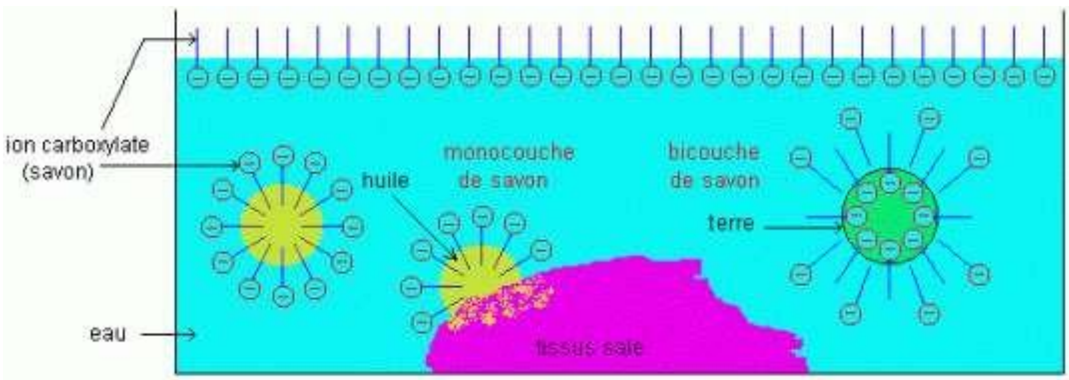
2- Propriétés du savon:

Le savon est un mélange d'ions carboxylates $RCOO^-$ et d'ions sodium Na^+ (ou de potassium K^+) dont les radicaux $-R$ sont dérivés **d'acides gras** à longues chaînes carbonées (plus de 10 atomes de carbone).
L'ion carboxylate $RCOO^-$constituant le savon est une base qui appartient au couple **acide/base** $RCOOH/RCOO^-$,il est constitué de deux parties:

- **Une tête soluble dans l'eau** COO^- appelée **la partie hydrophile.**
- **Une longue chaîne** carbonée (**la queue**), **insoluble dans** l'eau appelée **la partie hydrophobe**



Lorsqu'on prépare de **l'eau savonneuse**, **le savon** se solubilise dans l'eau grâce aux propriétés **hydrophile** du groupe carboxylate . **En revanche** , les chaînes carbonées sont **hydrophobes** . Elles s'orientent vers l'air ou les unes vers les autres. À la surface de la solution, il se forme un film de savon et, dans la solution des agglomérats d'ions carboxylate appelés **micelles** .



Si on plonge **un textile** taché de graisse dans une eau savonneuse, **les queues lipophiles** du savon s'oriente vers le corps gras (**aime la graisse**). La graisse est décollée du textile et se trouve dans la solution piégée à l'intérieur de **micelles** . Chaque **micelle** est entourée d'ion Na^{+} ou K^{+} qui se repoussent mutuellement, ce qui conduit à la dispersion des **micelles** dans l'eau.

III- Contrôle de l'évolution d'un système chimique:

1) Rappel: En remplaçant l'un des réactifs on peut contrôler l'évolution d'un système chimique et rendre une réaction limitée réaction totale (voir estérification avec un anhydride de l'acide carboxylique) et on peut aussi contrôler l'évolution d'un système chimique en utilisant l'un des facteurs cinétique.

2) Contrôle de l'évolution d'un système chimique par un catalyseur:

Un catalyseur est une substance qui accélère une réaction chimique **sans apparaître** dans l'équation de la réaction.
Lorsque **le catalyseur** appartient à la même phase que les réactifs, la catalyse est **dite homogène**.
Lorsque **le catalyseur** n'appartient pas à la même phase que les réactifs, la catalyse est **dite hétérogène**.
Lorsque **le catalyseur** est **une enzyme**, la catalyse est **enzymatique**.

L'utilisation de certains **catalyseurs sélectifs** peut conduire à des produits différents.

Exemple : La vapeur d'éthanol à 300°C envoyée sur deux catalyseurs différents:

- Avec le catalyseur alumine Al_2O_3 on obtient de l'éthylène : $CH_3CH_2OH \rightarrow CH_2CH_2 + H_2O$
- Avec le catalyseur cuivre **Cu**, on obtient de l'éthanal : $CH_3CH_2OH \rightarrow CHCHO + H_2$

Série d'execices : Contrôle de l'évolution d'un système chimique

Exercice 1

L'oléine est un corps gras constituant majoritaire de l'huile d'olive , c'est un triglycéride qui peut être obtenu par la réaction du **glycérol** avec **l'acide oléique**. Pour préparer le savon , on chauffe à reflux , une fiole contenant une masse $m = 10,0g$ d'huile d'olive(oléine) et un volume $V = 20mL$ d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 7,5mol.L^{-1}$ et un volume $V' = 10mL$ de l'éthanol et des pierres ponce On chauffe le mélange réactionnel pendant $30\ min$ puis on le verse dans une solution saturée de chlorure de sodium. Après agitation et refroidissement du mélange , on sèche le solide obtenu et on mesure sa masse , on trouve alors $m' = 10,0g$

Données : glycérol $: CH_2OH - CHOH - CH_2OH$; Acide oléique : $C_{17}H_{33} - COOH$

Masses molaires en $g.mol^{-1}$:

Composé	oléine	savon
Masse molaire en $g.mol^{-1}$	M(O)=884	M(S)=304

1- Expliquer pourquoi on verse le mélange réactionnel dans une solution saturée de chlorure de sodium.

2- Ecrire l'equation de la reaction du glycerol avec l'acide oleique .Préciser la formule semidéveloppée de l'oléine.

3- Ecrire l'équation de la réaction de saponification et déterminer la formule chimique du savon en précisant la partie hydrophile de ce produit.

4- On suppose que l'huile d'olive n' est constitué que d'oléine. Montrer que l'expression du rendement de la réaction du saponification s'écrit sous la forme : $r = \frac{m^F}{3m}\frac{M(O)}{M(s)}$ calculer sa valeur