

# T.D de sciences physiques BAC Tunisien 2014



*Pour prospérer et viser la performance  
En sciences physiques*

**4**ème  
Math et Sc-exp



## **Chimie**

*Etude cinétique de l'évolution d'un système chimique  
Etude et déplacement d'équilibre chimique (L.A.M et L.M)*

## **Physique**

*Condensateur et dipôle RC  
Bobine et dipôle RL  
Dipôle RLC : Oscillations électriques libres*

*BEL ARBI Abdelmajid ~ Collège SADIKI*

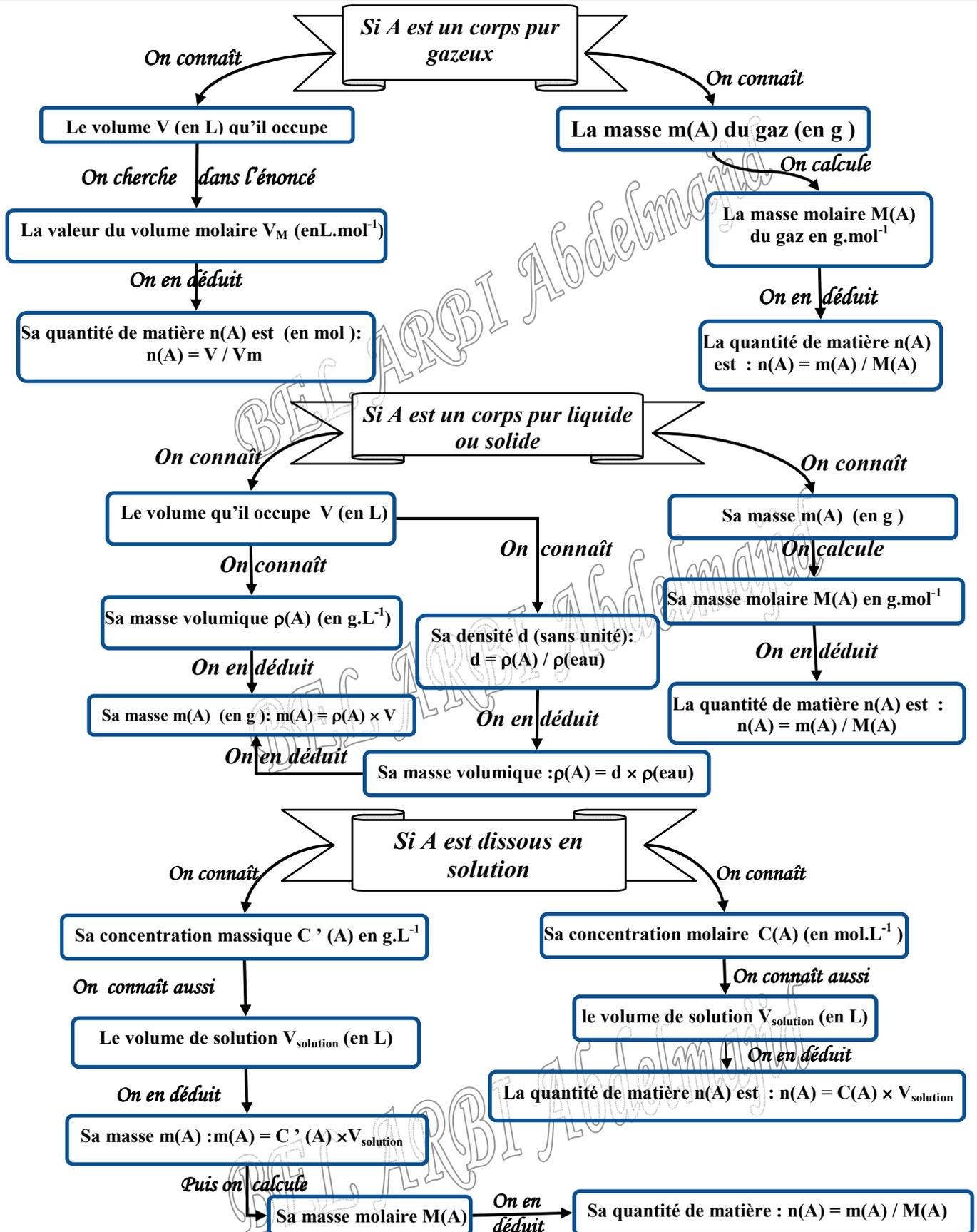
*BLOG : <http://belarbipro.overblog.com/>*

*Guide de travail en sciences physiques élaboré par Mr BEL ARBI Abdelmajid professeur au Collège SADIKI*

# Travaux dirigés Chimie

| Eq de la réaction |                | a.A + b.B → c.C + d.D         |                      |                  |                  |
|-------------------|----------------|-------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Etat              | Ava            | Quantités de matière en moles |                      |                  |                  |
| Initial           | 0              | a                             | b                    | 0                | 0                |
| Interm..          | x              | a - a.x                       | b - b.x              | c.x              | d.x              |
| Final             | x <sub>f</sub> | a - a.x <sub>f</sub>          | b - b.x <sub>f</sub> | c.x <sub>f</sub> | d.x <sub>f</sub> |

I- Comment déterminer la quantité de matière d'un composé chimique A dans n'importe quelle situation ?



## II- Transformation chimique :

### ➤ Transformation chimique :

Une transformation chimique a lieu chaque fois qu'une nouvelle espèce chimique est produite ou chaque fois qu'une espèce chimique disparaît.

Une espèce chimique qui apparaît s'appelle **produit**.

Une espèce chimique qui disparaît totalement ou partiellement s'appelle **réactif**.

### ➤ Définition du système chimique :

On appelle système chimique, l'ensemble des espèces chimiques présentes lors de la transformation chimique.

### ➤ Les trois étapes d'une transformation chimique :

Une expérience mettant en jeu une transformation chimique se déroule en trois étapes :

- ☛ La préparation (mélange des réactifs s'il y a plusieurs réactifs, dissolution éventuelle dans un solvant, chauffage si c'est nécessaire...).
- ☛ Le déroulement de la transformation, pendant lequel les réactifs disparaissent et les produits apparaissent.
- ☛ L'arrêt de la transformation, qui a lieu dès qu'un des réactifs a totalement disparu, même si d'autres réactifs sont encore présents.

### ➤ Etat initial, état final :

On appelle état initial du système chimique, l'état de ce système à la fin de la première étape.

On appelle état final du système chimique, l'état de ce système au début de la troisième étape, c'est-à-dire à l'arrêt de la transformation chimique.

➤ La transformation chimique est donc le passage du système chimique de son état initial à son état final.

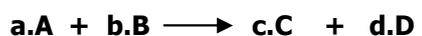


Une équation chimique est la modélisation d'une transformation chimique.

Les coefficients de l'équation sont les **coefficients stœchiométriques**.

### Exemple :

Considérons la réaction chimique modélisée par l'équation :



A et B sont .....

C et D sont .....

a, b, c et d sont .....

Les notations utilisées dans la suite sont résumées ci-dessous :

$n(A)_0$  : quantité de matière initiale de A.

$n(B)_0$  : quantité de matière initiale de B.

$n(A)$  : quantité de matière de A à la date t

$n(B)$  : quantité de matière de B à la date t

$n(C)$  : quantité de matière de C à la date t

$n(D)$  : quantité de matière de D à la date t

$n(A)_f$  : quantité de matière finale de A

$n(C)_f$  : quantité de matière finale de C

$n(B)_f$  : quantité de matière finale de B

$n(D)_f$  : quantité de matière finale de D

## III- Notion d'avancement chimique

L'avancement d'une réaction chimique est une grandeur notée  $x$ , exprimée en mol, qui permet de déterminer les quantités de matière des espèces chimiques présentes dans le système au cours de sa transformation, c'est à dire de dresser un bilan de matière du système chimique en évolution.

**1°) Définition :** L'avancement  $x$  d'une transformation chimique, à l'instant  $t$ , est la quantité de matière disparue (pour un réactif) ou apparue (pour un produit), divisé par le nombre stœchiométrique correspondant.

L'avancement s'exprime en mole.

### **Avancement volumique:**

Si les constituants du système forment une phase de volume constant  $V$ , on définit

l'avancement volumique  $y = \frac{x}{V}$

$y$  s'exprime (en mol.L<sup>-1</sup>).

L'avancement  $x$  à un instant  $t > 0$  est définie par :  $x = \frac{n(A)_0 - n(A)}{a} = \frac{n(B)_0 - n(B)}{b} = \frac{n(C)}{c} = \frac{n(D)}{d}$

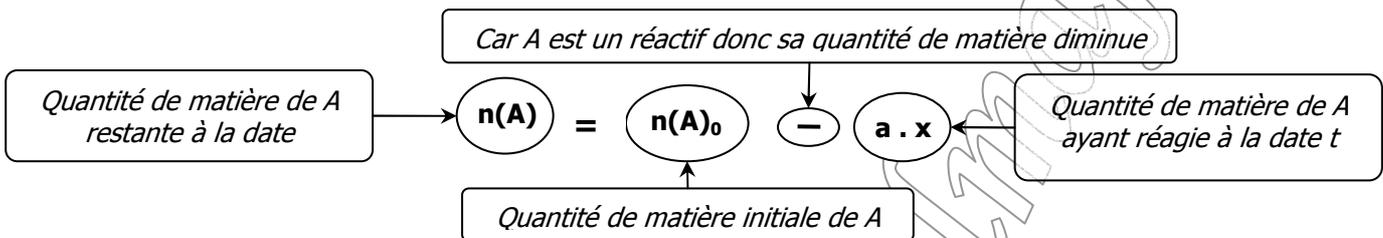
Ainsi si on a une quantité de matière disparue ou apparue à un instant. On peut calculer les autres d'après l'avancement  $x$

## 2°) Suivi de l'évolution : tableau d'avancement :

On dresse un tableau indiquant les quantités de matières des différentes espèces chimiques dans l'état initial, au cours de la transformation chimique et dans l'état final grâce à l'expression de l'avancement.

### 2-1) Tableau descriptif d'évolution du système :

| Equation de la réaction : |            | $a.A + b.B \longrightarrow c.C + d.D$ |                           |                  |                  |
|---------------------------|------------|---------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Etat                      | Avancement | Quantités de matière en moles         |                           |                  |                  |
| initial (E.I)             | $x = 0$    | $n(A)_0$                              | $n(B)_0$                  | 0                | 0                |
| intermédiaire             | $x$        | $n(A) = n(A)_0 - a.x$                 | $n(B) = n(B)_0 - b.x$     | $(C) = c.x$      | $n(D) = d.x$     |
| final (E.f)               | $x_f$      | $n_f(A) = n(A)_0 - a.x_f$             | $n_f(B) = n(B)_0 - b.x_f$ | $n_f(C) = c.x_f$ | $n_f(D) = d.x_f$ |



### 2-2) Avancement maximale $x_{max}$ et réactif limitant :

#### a- Réaction chimique totale ; réactif limitant ; réactifs en excès.

Une réaction chimique est dite **totale** si un des réactifs disparaît complètement : on l'appelle **réactif limitant**.

**La quantité de matière du réactif limitant est nulle dans l'état final.**

Les autres réactifs dont la quantité de matière n'est pas nulle dans l'état final sont appelés **réactifs en excès**.

#### b- Avancement maximale d'une réaction chimique.

L'avancement maximale d'une réaction chimique, notée  $x_{max}$ , est la valeur de son avancement final  $x_f$  lorsque le réactif limitant a disparu entièrement.

Tant qu'on ne connaît pas lequel est le réactif limitant, on va faire la supposition suivante :

Si A est le réactif limitant, on aura : .....

Si B est le réactif limitant, on aura : .....

L'avancement maximal  $x_{max}$  est calculable comme étant la plus petite valeur de l'avancement qui annule la quantité de matière de l'un des réactifs : ce réactif constitue alors le réactif limitant.

#### c) Courbe d'évolution de l'avancement au cours du temps

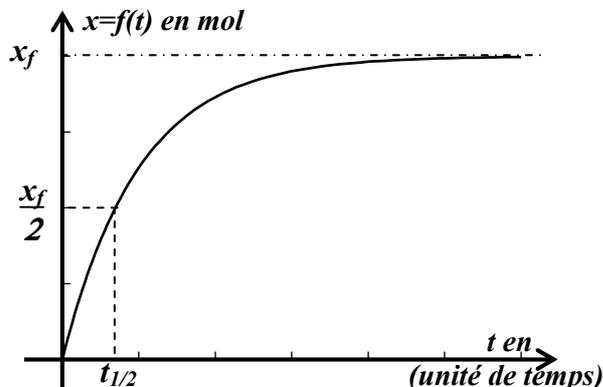
☞ si  $x_f = x_{max}$  : La réaction est **totale**

☞ si  $x_f < x_{max}$  : La réaction est **limitée**

#### d) Temps de demi-réaction : ( $t_{1/2}$ )

C'est la durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction

atteint la moitié de sa valeur finale :  $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$



[http://www.ostralo.net/3\\_animations/swf/avancement.swf](http://www.ostralo.net/3_animations/swf/avancement.swf)

#### IV- Exercices d'application.

##### Exercice 1 : Feux de Bengale.

Un artificier veut préparer un feu de Bengale rouge. Il mélange 125 g de chlorate de potassium ( $\text{KClO}_3$ ), 16 g de soufre (S) et 20 g de carbone (C). L'équation chimique modélisant la transformation est la suivante :



- Calculer la quantité de matière initiale de chacun des réactifs. On donne  $M(\text{K})=39 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $M(\text{Cl})=35,5 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $M(\text{S})=32 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $M(\text{O})=16 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $M(\text{C})=12 \text{ g.mol}^{-1}$ ,
- Construire le tableau récapitulatif de la transformation en précisant la valeur maximale de l'avancement et le réactif limitant ainsi que les quantités de matière des produits formés, sachant que cette réaction est totale.
- Calculer la masse de carbone ayant réagi.
- Calculer le volume total occupé par les gaz. On donne  $V_M=24 \text{ L.mol}^{-1}$ .

##### Exercice n° 2 :

A l'instant  $t_0 = 0\text{s}$ , on mélange  $V_1 = 50\text{cm}^3$  d'une solution aqueuse d'iodure de potassium **KI** de molarité  $C_1 = 0,5\text{mol.L}^{-1}$  et  $V_2 = V_1$  d'une solution de peroxydisulfate de potassium  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  de molarité  $C_2 = 0,4\text{mol.L}^{-1}$ . Pour déterminer la composition du système à la date  $t_1 = 300\text{s}$ , on prélève un volume  $V = 20 \text{ cm}^3$  du mélange et pour faire disparaître la couleur jaunâtre; il faut ajouter au prélèvement un volume  $V_3 = 7,5\text{cm}^3$  d'une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  de molarité  $C_3 = 0,4\text{mol.L}^{-1}$ .

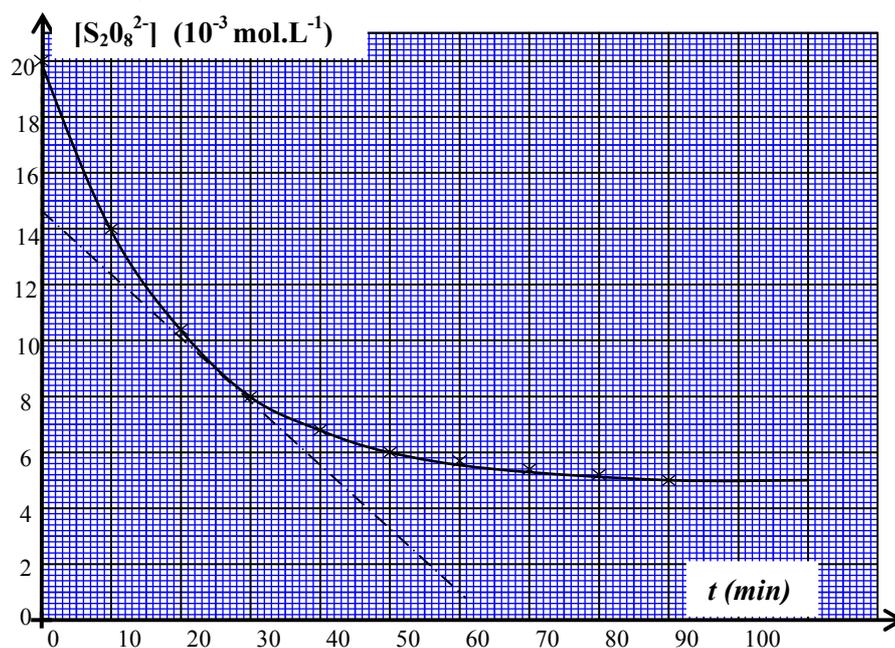
- Écrire l'équation de la réaction étudiée sachant qu'elle fait intervenir les deux couples  $\text{I}_2/\text{I}^-$  et  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ .
- Déterminer la composition initiale du système.
- Établir le tableau descriptif de l'évolution du système.
- En déduire la valeur maximale de l'avancement et le réactif limitant.
- Pour déterminer la composition du système à la date  $t_1 = 300\text{s}$ , on prélève un volume  $V = 20 \text{ cm}^3$  du mélange et on dose la quantité de diiode  $\text{I}_2$  formée par une solution de thiosulfate de sodium ( $2 \text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) de concentration molaire  $C_3 = 0,4\text{mol.L}^{-1}$ . La disparition de la couleur jaunâtre due à la présence de  $\text{I}_2$  est obtenue lorsqu'on a ajouté au prélèvement un volume  $V_3 = 7,5\text{cm}^3$  de la solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .
  - Écrire l'équation de la réaction du dosage.
  - Déterminer l'avancement de la réaction à l'instant  $t_1 = 300\text{s}$
  - Déduire la composition du système à cet instant

##### Exercice n° 2 :

On mélange à l'instant  $t=0\text{s}$  et à une température **T**:

- Un volume  $V_1=0,1\text{L}$  d'une solution  $\text{S}_1$  d'iodure de potassium **KI** de concentration molaire  $C_1$ ,
- Un volume  $V_2=0,1\text{L}$  d'une solution de peroxydisulfate de potassium  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , de concentration molaire  $C_2$ .

La courbe ci-après représente **la variation de  $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$  dans le mélange au cours du temps**



- Écrire l'équation de la réaction qui a lieu, en précisant les couples redox mis en jeu.
- Établir le tableau descriptif de l'évolution du système avec  $a = n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$  et  $b = n_0(\text{I}^-)$  sont respectivement les quantités de matière initiales de  $(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$  et de  $(\text{I}^-)$ .
- En exploitant la courbe :
  - Déterminer le nombre de mole initial **a** de  $(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$  dans le mélange. En déduire la valeur de  $C_2$ .
  - Montrer que l'avancement final de la réaction est :  $x_f = 3.10^3 \text{ mol}$ .
  - Sachant que la réaction étudiée est totale, justifier que l'ion iodure est le réactif limitant. Calculer **b** et en déduire  $C_2$ .
  - Déterminer la valeur du temps de demi réaction  $t_{1/2}$ .

I- L'essentiel du cours

1°) Vitesse d'une réaction chimique.

1-1) La vitesse moyenne

➤ Définitions

➤ La vitesse moyenne d'une réaction chimique entre les dates  $t_1$  et  $t_2$  est, par définition :

$$v_{\text{moy}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

➤ Unité : mol.(unité de temps)<sup>-1</sup>

➤ Remarque :

Cette vitesse moyenne est égale au **coefficient directeur de la sécante** passant par les deux points de la courbe  $x=f(t)$  d'abscisse  $t_1$  et  $t_2$ .

1-2) La vitesse instantanée

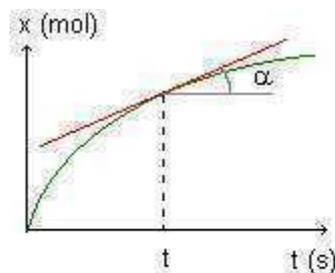
➤ Définition :

➤ La vitesse instantanée d'une réaction chimique est égale à la dérivée par rapport au temps de la fonction  $x=f(t)$  :  $v(t) = \frac{dx}{dt}$

Unité : mol.(unité de temps)<sup>-1</sup>

➤ Détermination graphique de La vitesse instantanée d'une réaction chimique.

La vitesse instantanée d'une réaction chimique est égale au **coefficient directeur de la tangente** à la courbe  $x=f(t)$  à la date  $t$  choisie



Remarques: Si on considère la réaction modélisée par l'équation :  $a.A + b.B \longrightarrow c.C + d.D$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -\frac{1}{a} \cdot \frac{dn(A)}{dt} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{dn(B)}{dt} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dn(C)}{dt} = \frac{1}{d} \cdot \frac{dn(D)}{dt}$$

➤ La Vitesse instantanée volumique d'une réaction chimique est égale au rapport de la dérivée par rapport au temps de la fonction  $x=f(t)$  sur le volume total du milieu réactionnel :

$$v_v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt} = -\frac{1}{a} \cdot \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \cdot \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \cdot \frac{d[D]}{dt} \quad \text{Unité : mol.L}^{-1} \cdot (\text{unité de temps})^{-1}$$

2°) Les principaux facteurs cinétiques :

**2-1°) Définition:** les paramètres qui influent sur la vitesse d'évolution d'un système chimique sont appelés **facteurs cinétiques**.

Les principaux facteurs cinétiques sont : **La concentration en réactifs**, **la température** et **le catalyseur**.

**2-2°) Concentration des réactifs :**

**a) Effet** : En général la vitesse d'une réaction augmente lorsqu'on augmente la concentration des réactifs et inversement.

**b) Mécanisme** : Plus la concentration des réactifs est importante, plus la probabilité de rencontre entre les molécules réagissantes est grande, donc plus la vitesse de réaction est grande.

**2-3°) La température :**

**a) Effet** : La vitesse d'une réaction croit, en général, avec la température.

**b) Mécanisme** : Plus la température est élevée, plus l'agitation des molécules est importante, d'où plus de probabilité de rencontre  $\Rightarrow$  vitesse plus grande.

**Attention ! la température est un facteur cinétique pour une réaction athermique**

**Exemple pour l'estérification et l'hydrolyse)**

**2-4°) Catalyseur :**

**a) Effet** : Un catalyseur est une entité chimique, utilisée en faible proportion, capable d'augmenter la vitesse d'une réaction possible spontanément en son absence.

**b) Mécanisme** : La réaction globale est remplacée par plusieurs réactions rapides au cours desquelles le catalyseur est transformé puis il est régénéré à la fin de la réaction ( il n'est donc pas consommé ).

## II- Exercices de synthèse

### Exercice N°1 : Etude cinétique de la réduction des ions $S_2O_8^{2-}$ par les ions $I^-$

Le but est de mesurer le temps de fabrication d'une même quantité de diiode lors de la réduction des ions

peroxodisulfate par les ions iodures selon la réaction lente :  $S_2O_8^{2-} + 2I^- \rightarrow 2SO_4^{2-} + I_2$  (I)

Pour cela on réduit le diiode formé par cette réaction lente (I) avec une quantité prédéterminée de thiosulfate de sodium

$2Na^+ + S_2O_3^{2-}$  de concentration connue, selon la réaction:  $2S_2O_3^{2-} + I_2 \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2I^-$  (II)

Cette réaction (II) est très rapide et n'influence pas la réaction (I) étudiée.

#### A) Préparation des solutions :

1°) Le thiosulfate utilisé est  $Na_2S_2O_3$ . Décrire la préparation de **500mL** d'une solution de thiosulfate de sodium à 1 mol/L.

2°) La solution d'iodure de potassium KI, disponible au laboratoire est à 1 mol/L. Décrire la préparation de **100 mL** d'une solution de d'iodure de potassium à **0,20 mol/L**.

Données : masse molaire atomique en (g/ mol): **O=16 ; S=32 ; Na =23**

#### B) Dosage automatique :

On prépare un bécher contenant :

- $V_1=50$  mL de solution d'iodure de potassium de concentration molaire  $C_1=0,20$  mol/L
- $V=49$  mL d'eau pour considérer le volume V constant au cours du dosage.
- $V_e=1$  mL de thiosulfate de sodium de concentration molaire volumique **1 mol/L**
- $V_2=50$  mL de solution de peroxodisulfate de potassium de concentration molaire  $C_2= 0,10$  mol/L

Le bécher contenant le mélange réactionnel est placé sur un agitateur magnétique. La burette automatique utilisée est gérée par un logiciel de titrage. Lorsque la solution devient foncée cela signifie que tout le thiosulfate a été consommé : un premier temps est relevé. A ce moment, le logiciel envoie la commande à la burette automatique qui injecte **1 mL** de thiosulfate, jusqu'à sa consommation complète. Nouvelle apparition d'une couleur sombre: un deuxième temps est noté, injection de **1 mL** de thiosulfate et ainsi de suite.

**Le volume de la réaction sera supposé constant et égal à  $V=150$  mL. (On néglige le volume de thiosulfate de sodium ajouté).**

Le logiciel dresse le tableau de mesure ci-dessous :

|                             |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| temps t(s)                  | 0    | 330  | 705  | 1100  | 1545  | 2055  | 2675  | 3420  | 4650  | 7260  |
| $V_e$ de $S_2O_3^{2-}$ (mL) | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| $[I_2]$ mmol/L              | 0.00 | 3.33 | 6.67 | 10.00 | 13.33 | 16.67 | 20.00 | 23.33 | 26.67 | 30.00 |

1. Que pourrait-on ajouter au mélange réactionnel pour mieux distinguer la réapparition du diiode ?
2. Déterminer la quantité de thiosulfate ajouté à chaque injection.
3. Déterminer à l'aide d'un tableau d'avancement la quantité de matière n de diiode réduit par la réaction II à chaque injection.
4. Tracer le graphe  $[I_2]$  en fonction du temps. (Echelles: 1cm pour 500 s; 1 cm pour 4 mmol/L)
5. D'après la réaction (I), déterminer la relation entre l'avancement x de cette réaction et la quantité de diiode formée.
6. Définir la vitesse volumique et l'exprimer en fonction de la concentration en diiode.
7. Déterminer la vitesse de la réaction (I), aux dates  $t= 1000$  s et  $t = 5000$ s.
8. Comment varie la vitesse ? A quel facteur cinétique peut-on attribuer cette variation ?
9. Quelle sera la quantité de diiode formé par la réaction (I) au bout d'un temps infini ?
10. Déterminer le temps de demi-réaction.
11. On refait la même expérience en utilisant un autre bécher contenant :
  - $V'_1=25$  mL de solution d'iodure de potassium de concentration molaire  $C_1=0,20$  mol/L
  - $V=49$  mL d'eau pour considérer le volume V constant au cours du dosage.
  - $V_e=1$  mL de thiosulfate de sodium de concentration molaire volumique **1 mol/L**
  - $V'_2=75$  mL de solution de peroxodisulfate de potassium de concentration molaire  $C_2= 0,10$  mol/L

Représenter sur le même graphe l'allure de la courbe d'évolution  $[I_2]=f(t)$  en justifiant sa valeur limite.

## Exercice N°2 : Etude cinétique de la réduction de l'eau oxygénée ions $H_2O_2$ par les ions $I^-$

Pour réaliser la réaction entre l'eau oxygénée (ou peroxyde d'hydrogène)  $H_2O_2$  et les ions iodures  $I^-$ , on dispose des solutions suivantes :

- Solution d'iodure de potassium, de concentration  $C_1 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$
- Solution d'eau oxygénée, de concentration  $C_2 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$
- Solution d'acide sulfurique concentré.

L'équation bilan de cette réaction lente et totale s'écrit :  $2I^- + H_2O_2 + 2H_3O^+ \longrightarrow I_2 + 4H_2O$

Le mélange des réactifs ayant été fait à la date  $t = 0$ . A différentes dates, on effectue des prélèvements du milieu réactionnel et on dose le diiode formé.

Les mesures ont permis de tracer les deux courbes  $n(I_2) = f(t)$  données sur **la figure 1** pour les deux expériences suivantes :

| Expérience n°                  | - 1 - | - 2 - |
|--------------------------------|-------|-------|
| Eau distillée                  |       | 40ml  |
| Solution d'acide sulfurique    | 10mL  | 10mL  |
| Solution d'iodure de potassium | 80mL  | 40mL  |
| Eau oxygénée                   | 10mL  | 10mL  |
| Volume total du mélange        | 100mL | 100mL |

1°/a-Calculer la quantité de matière initiale d'eau oxygénée et d'ions iodure introduite dans chacun des deux mélanges.

b-Dresser le tableau d'évolution de la réaction étudiée.

c-Exprimer l'avancement  $x$  de la réaction en fonction du nombre de mole de  $I_2$  formé.

2°/a-Définir la vitesse instantanée de la réaction.

b- Déterminer, à la date  $t=5 \text{ min}$ , sa valeur pour chacune des deux courbes (a) et (b).

c-Quel facteur cinétique permet d'expliquer cette différence entre ces deux vitesses ? Faire associer alors à chaque expérience la courbe correspondante.

d-Peut-on à l'aide d'une seule courbe, mettre en évidence l'influence de ce facteur cinétique ? Justifier.

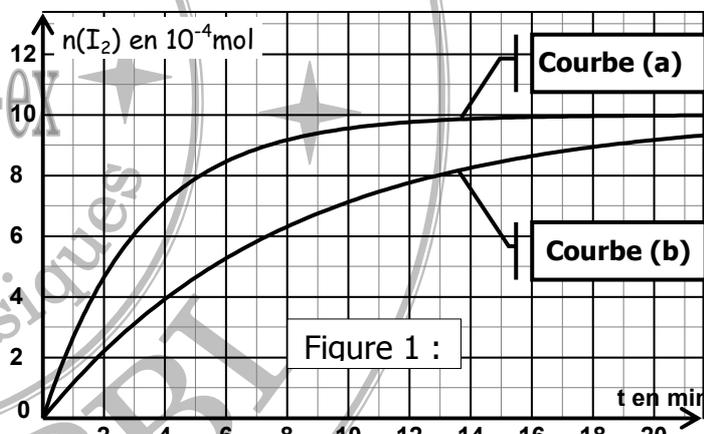
3°/a-Déduire que dans chacune des deux solutions l'eau oxygénée est le réactif limitant (en défaut) de la réaction.

b-Déterminer la concentration de diiode formé, lorsque la réaction est terminée.

c-En exploitant les deux courbes :

c<sub>1</sub> -Indiquer pour quelle réaction cette concentration limite est atteinte ?

c<sub>2</sub> -Déduire le temps, ( $t_{1/2}$ ), pour lequel la moitié de la quantité initiale d'eau oxygéné a réagi dans le cas de l'expérience où la limite est atteinte.



## Exercice N°3 : Influence des facteurs cinétiques sur la réduction des ions $S_2O_8^{2-}$ par les ions $I^-$

Les ions peroxydisulfate  $S_2O_8^{2-}$  oxydent les ions iodure  $I^-$  selon une réaction lente et totale.

L'équation qui modélise cette réaction est :  $S_2O_8^{2-} + 2I^- \longrightarrow I_2 + 2SO_4^{2-}$

Trois expériences (a), (b) et (c) ont été réalisées dans des conditions expérimentales différentes comme l'indique le tableau ci-contre.

Le volume du mélange réactionnel est le même pour les 3 expériences et vaut  $V=100\text{mL}$ . L'étude de l'évolution de la réaction pour les trois expériences a donné les courbes du document-1 - ci-dessous.

| Expérience                                     | a  | b  | C  |
|--|----|----|----|
| $[I^-]_0 (10^{-2} \text{ mol.L}^{-1})$         | 5  | 5  | 8  |
| $[S_2O_8^{2-}]_0 (10^{-2} \text{ mol.L}^{-1})$ | 2  | 2  | 3  |
| Température ( $^{\circ}\text{C}$ )             | 20 | 40 | 40 |

1°) Etablir le tableau d'évolution de la réaction.

2°) Montrer que  $S_2O_8^{2-}$  constitue le réactif limitant pour les trois expériences.

3°) a- Quels sont les facteurs cinétiques mis en jeu dans ces expériences ?

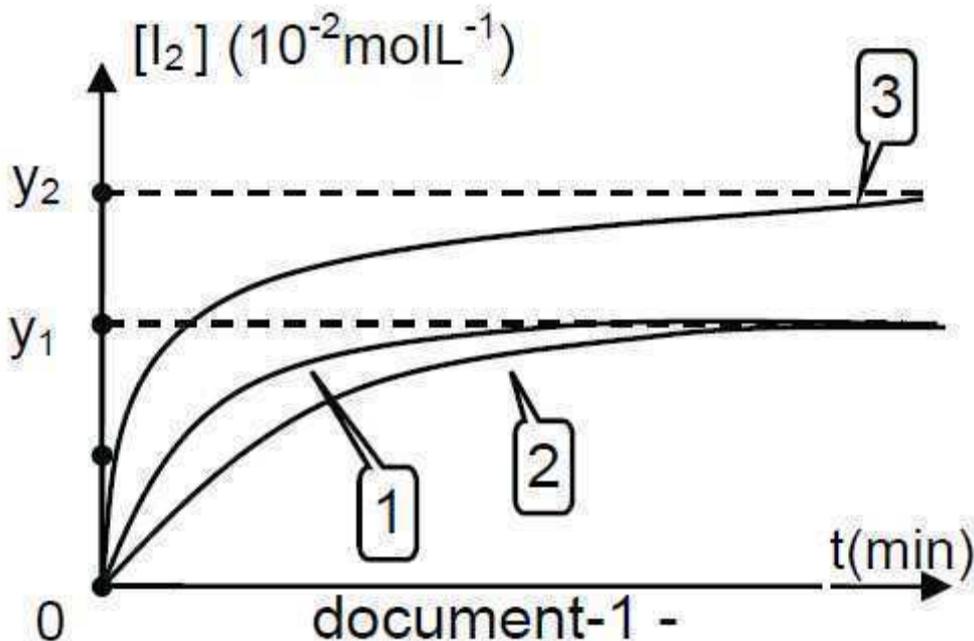
b- Attribuer, en le justifiant, la courbe correspondant à chacune des expériences.

c- Déterminer les valeurs  $y_1$  et  $y_2$  portés sur le document-1-

4°) On refait l'expérience (c) mais en ajoutant, initialement, au mélange réactionnel quelques cristaux de  $FeSO_4$  jouant le rôle d'un catalyseur. Choisir parmi les affirmations suivantes celle qui convient :

- L'ajout de  $FeSO_4$  permet d'augmenter l'avancement final de la réaction.
- L'ajout de  $FeSO_4$  permet d'augmenter la vitesse de la réaction.
- L'ajout de  $FeSO_4$  permet de ralentir la réaction.

b- Tracer l'allure de la courbe  $[I_2]=f(t)$  pour cette nouvelle expérience.



**Exercice N°4 : Devoir de contrôle N°1 (collège Sadiki – A.S :2007/2008)**

1° Les ions peroxydisulfate  $S_2O_8^{2-}$  oxydent lentement les ions iodures  $I^-$ . Etablir l'équation bilan de cette réaction.

2° A la date  $t = 0$ , et à une température constante, on mélange :

- Un volume  $V_1 = 50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de peroxydisulfate d'ammonium  $(NH_4)_2S_2O_8$  de concentration molaire  $C_1 = 5.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- Un volume  $V_2 = 50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse d'iodure de potassium KI de concentration molaire  $C_2 = 16.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- Quelques gouttes d'une solution d'empois d'amidon fraîchement préparé ( on rappelle que l'empois d'amidon colore en bleu nuit une solution contenant du diiode  $I_2$  même en faible quantité).

A une date  $t$ , on prélève, du mélange réactionnel, un volume  $V = 10 \text{ mL}$  qu'on lui ajoute de l'eau glacée et on dose la quantité de diiode  $I_2$  formée par une solution de thiosulfate de sodium  $Na_2S_2O_3$  selon la réaction rapide et totale d'équation :



- a- Décrire brièvement l'expérience de ce dosage, préciser comment peut-on reconnaître expérimentalement le point d'équivalence ?
- b- Calculer la concentration molaire initiale des ions iodure  $[I^-]_0$  et des ions peroxydisulfate  $[S_2O_8^{2-}]_0$  dans le mélange réactionnel.
- c- Dresser le tableau d'avancement de la réaction qui se produit dans chaque prélèvement.

3° On définit l'avancement volumique  $y$  par le rapport de l'avancement  $x$  par le volume  $V$  du milieu réactionnel  $y = \frac{x}{V}$

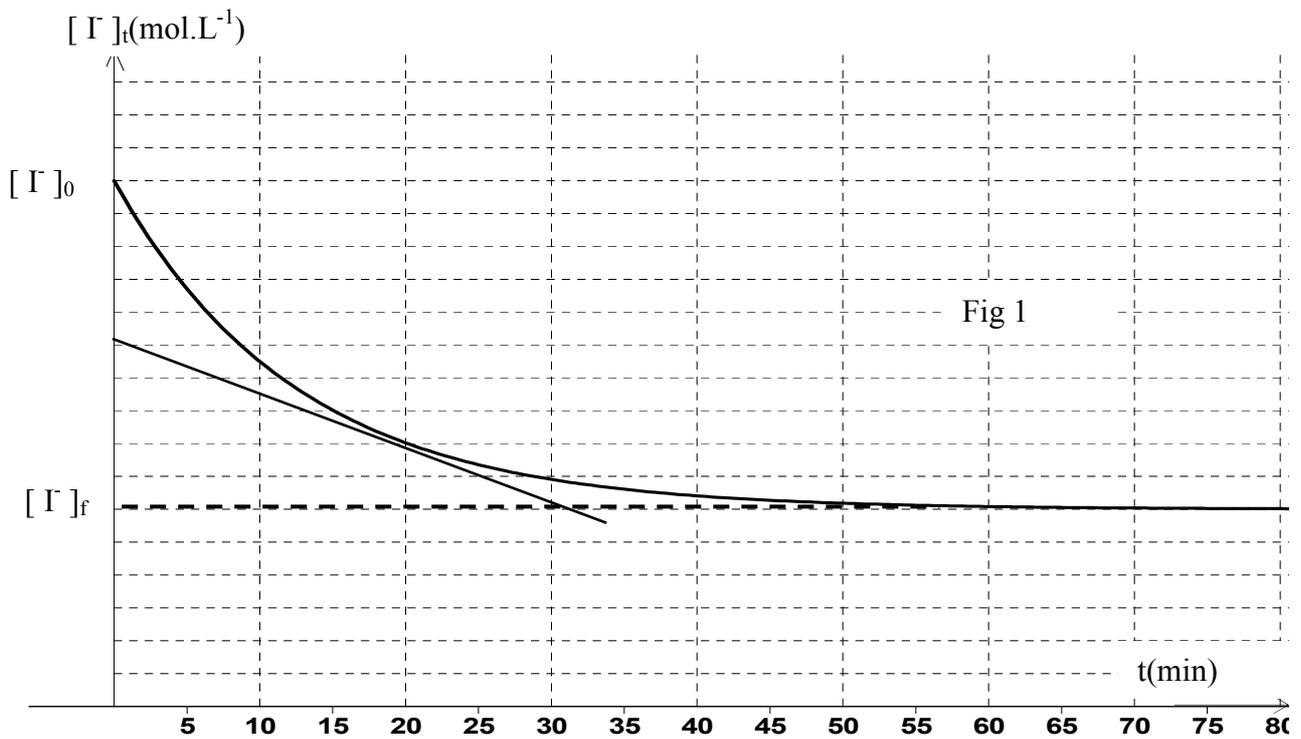
(Les constituants du système chimique constituent la même phase et le volume du milieu réactionnel est constant).  
Montrer qu'on a à la date  $t$  :  $[I^-]_t = [I^-]_0 - 2y$ .

4° Les résultats des dosages ont permis de tracer la courbe ci-dessous régissant les variations de la concentration des ions iodure au cours du temps

- a- Préciser, en le justifiant, le réactif limitant.
- b- En utilisant le tableau d'avancement, déterminer la concentration finale en ions iodures  $[I^-]_f$ .
- c- Définir la vitesse volumique d'une réaction chimique. Montrer qu'elle s'écrit sous la forme  $V_{vol} = - \frac{1}{2} \frac{d[I^-]}{dt}$ .

Déterminer graphiquement sa valeur à la date  $t = 20 \text{ min}$ . Déduire la vitesse instantanée à cette date.

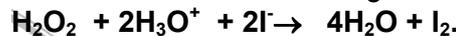
5° On refait l'expérience précédente mais avec une solution d'iodure de potassium de volume  $V_2 = 50 \text{ mL}$  et de concentration molaire  $C_2 = 18.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , représenter, sur le même graphe de la figure 1, l'allure de la courbe représentant  $[I^-] = f(t)$ .



**Exercice N°5 : Devoir de contrôle N°1 (collège Sadiki – A.S :2012/2013)**

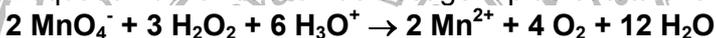
On prépare, dans un bécher, un volume  $V_1 = 25,0 \text{ mL}$  d'une solution S, d'iodure de potassium de concentration  $C_1$  et dans un autre bécher, on place un volume  $V_2 = 25,0 \text{ mL}$  d'une solution  $S_2$  d'eau oxygénée acidifiée de concentration  $C_2$ .

À la date  $t = 0 \text{ s}$ , on mélange les contenus des 2 béchers et on agite, la réaction lente et totale qui se produit est d'équation :

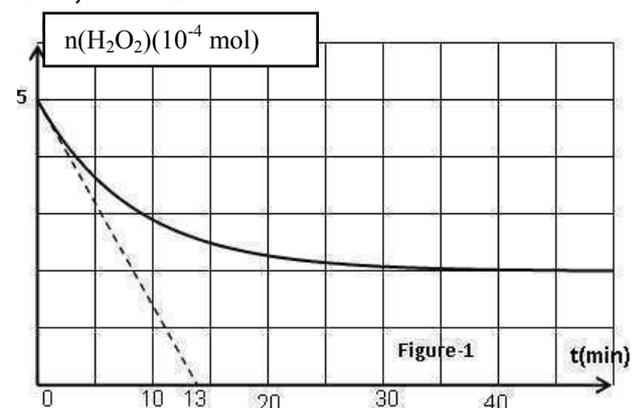


Pour étudier la cinétique de cette réaction on prépare des prélèvements identiques de volume  $V_p = 5 \text{ mL}$  chacun et on dose la quantité de  $\text{H}_2\text{O}_2$  restante dans chaque prélèvement par une solution de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$  en milieu acide de concentration molaire  $C = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . Soit  $V$  : le volume de la solution de  $\text{KMnO}_4$  nécessaire pour obtenir l'équivalence.

L'équation de la réaction de dosage rapide et totale s'écrit :



Les résultats de dosage ont permis de tracer le graphe d'évolution de la quantité de matière d'eau oxygénée restante (voir figure-1).



- Donner la définition d'une réaction totale.
- Prélever du graphe la quantité de matière initiale de l'eau oxygénée dans chaque prélèvement.
- Dresser le tableau d'avancement de la réaction en utilisant les quantités de matière initiales dans chaque prélèvement et en considérant que les ions hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  sont en excès.
- En utilisant le graphe, préciser le réactif limitant. calculer la quantité de matière initiale des ions iodures dans chaque prélèvement.
- Déduire la concentration molaire de l'eau oxygénée et des ions iodures dans le mélange. Calculer alors  $C_1$  et  $C_2$ .

- Définir la vitesse d'une réaction chimique et établir son expression en fonction de  $\frac{dn(\text{H}_2\text{O}_2)}{dt}$ .
  - Calculer la vitesse maximale de la réaction.

c- Définir la vitesse volumique moyenne de la réaction et calculer sa valeur entre les instants  $t_1=0\text{min}$  et  $t_2=15\text{min}$ .

3- On réalise trois expériences suivant les différentes conditions expérimentales précisées dans le tableau ci-contre :

| Expérience                                       | 1     | 2     | 3     |
|--|-------|-------|-------|
| $n_0(\text{H}_2\text{O}_2)(10^{-4} \text{ mol})$ | 5     | 5     | 5     |
| $n_0(\text{I}^-)(10^{-4} \text{ mol})$           | 2,5   | 2,5   | 1,5   |
| $T(^{\circ}\text{C})$                            | 40    | 40    | 20    |
| Catalyseur( $\text{Co}^{2+}$ )                   | sans  | avec  | sans  |
| $n_0(\text{H}_3\text{O}^+)(10^{-4} \text{ mol})$ | excès | excès | excès |

A l'aide de moyens appropriés, on suit la variation du nombre de moles de  $\text{H}_2\text{O}_2$  restant en fonction du temps  $t$  au cours de chacune des trois expériences réalisées. Les résultats obtenus sont représentés par le graphe de la figure-2-

a- Donner la définition d'un catalyseur.

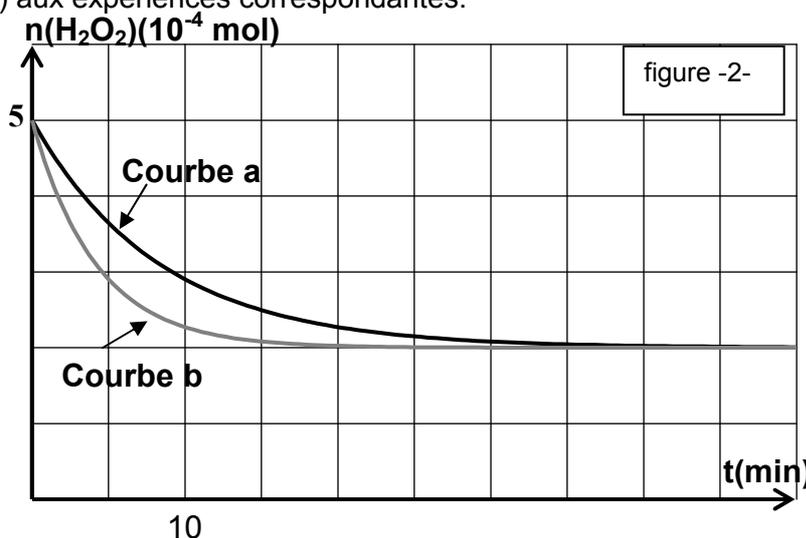
b- Attribuer, en le justifiant les courbes (a) et (b) aux expériences correspondantes.

c- Tracer l'allure de la courbe d'évolution de  $n(\text{H}_2\text{O}_2)$  au cours du temps correspondant à l'expérience restante.

4-

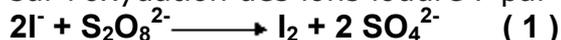
a- Donner un schéma annoté du dispositif de dosage.

b- En utilisant le graphe de la figure 1 et l'équation de la réaction de dosage, déterminer le volume de permanganate de potassium versé à l'instant  $t_2$  pour atteindre l'équivalence à cet instant..



### Exercice N°6 : Devoir de contrôle N°1 (collège Sadiki – A.S :2013/2014)

L'objet des manipulations qui suivent est l'étude de l'influence des facteurs cinétiques sur l'oxydation des ions iodure  $\text{I}^-$  par les ions peroxydisulfate  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ , suivant l'équation :



Cette transformation lente produit du diiode, dont la présence sera décelé par la coloration bleue de l'empois d'amidon servant d'indicateur.

Dans le milieu réactionnel, en plus des ions précités, existent, en quantité connue et limitée, des ions thiosulfate  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  qui réagissent avec le diiode au fur et à mesure de sa formation, suivant l'équation :



La transformation associée est totale et très rapide. Elle régénère les ions  $\text{I}^-$ .

Dans un bécher, on verse :

- Un volume  $V_0=1\text{mL}$  d'une solution aqueuse de thiosulfate de potassium  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ( $\text{S}_0$ ) de concentration molaire  $C_0=1\text{mol.L}^{-1}$ .
- Deux gouttes d'empois d'amidon.
- Une solution aqueuse d'iodure de potassium  $\text{KI}$  de concentration molaire  $C_1=0,075\text{mol.L}^{-1}$  pour obtenir  $160\text{mL}$  de solution.

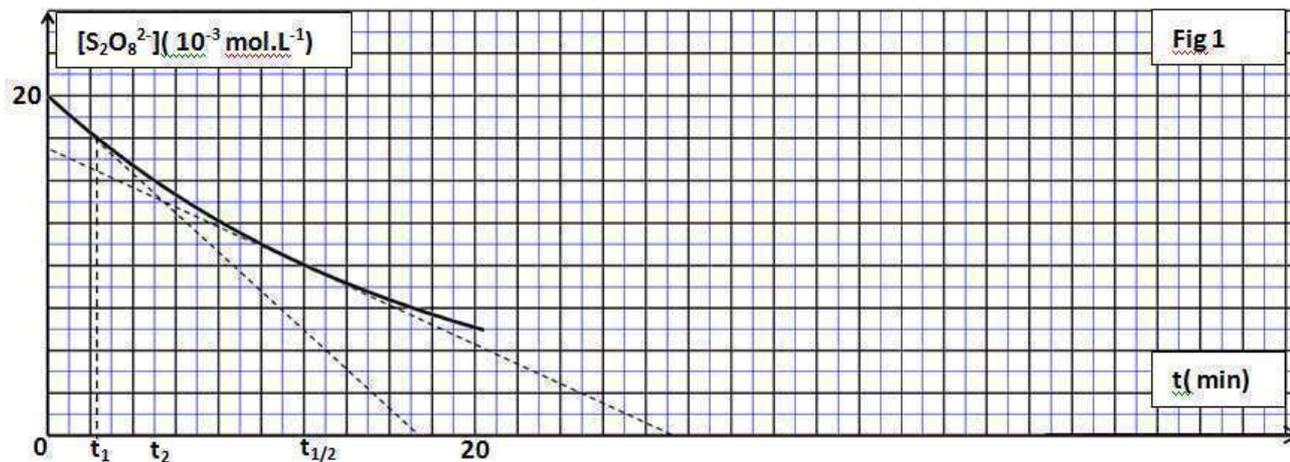
A la date  $t=0\text{s}$ , on ajoute  $40\text{mL}$  de solution de peroxydisulfate de potassium  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  de concentration molaire  $C_2$ .

A la date  $t_1=2,2 \text{ min}$  l'empois d'amidon se colore en bleu, Immédiatement, on ajoute à nouveau un volume  $V_0=1\text{mL}$  de solution  $\text{S}_0$ . La coloration bleue disparaît alors et à la date  $t_2=5 \text{ min}$  elle réapparaît.

La température reste constante pendant la durée de la manipulation.

1. La réaction (1) démarre à  $t=0$ , pourquoi la teinte bleue ne se manifeste-t-elle qu'à  $t_1$  ?

2. La courbe de la **figure1** suivante représente la concentration molaire en ions peroxydisulfate en fonction du temps.



a- Prélever, à partir du graphe la concentration molaire initiale des ions  $S_2O_8^{2-}$  dans le mélange. Calculer alors  $C_2$ .

b- Dresser le tableau d'avancement de la réaction (1) en utilisant l'avancement volumique  $y$ .

c- Sachant que le temps de demi-réaction est  $t_{1/2} = 12 \text{ min}$ , déterminer l'avancement volumique final  $y_f$ .

d- Montrer que  $S_2O_8^{2-}$  est le réactif limitant. Compléter alors l'allure de la courbe de  $[S_2O_8^{2-}] = f(t)$ . (**figure1** de la page4 à compléter et à rendre avec la copie)

3.

a- Retrouver par calcul la valeur de la concentration molaire de  $S_2O_8^{2-}$  indiqué sur le graphe à l'instant  $t_1$

b- Expliquer pourquoi la durée  $t_2$  de la deuxième apparition de la couleur bleue n'est pas le double de la durée  $t_1$  de la première apparition de la couleur bleue.

4.

a- Donner la définition de la vitesse de réaction.

b- Etablir la vitesse de réaction en fonction de  $[S_2O_8^{2-}]$ .

c- Déterminer cette vitesse aux instants  $t=0$  et  $t_{1/2}$ . Comparer les valeurs obtenues.

d- Quel facteur cinétique explique cette variation de vitesse de réaction.

5. On refait la même expérience avec une solution de peroxydisulfate de potassium de concentration molaire  $C'_2 = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$ . Effectuer les calculs nécessaires puis tracer l'allure de la nouvelle courbe de  $[S_2O_8^{2-}] = f(t)$  sur le même graphe. (**figure1**)

# Les équilibres chimiques

## L'essentiel du cours

### 1°) Notion d'équilibre chimique

#### 1-1°) Avancement maximale d'une réaction :

L'avancement maximale d'une réaction chimique, notée  $x_{\max}$ , est la valeur de son avancement final  $x_f$  lorsque le réactif limitant a disparu entièrement.

**Détermination de  $x_{\max}$**  : c'est la valeur de  $x$  la plus petite possible pour laquelle au moins l'une des quantités de réactif est nul dans l'état final. En effet si l'un des réactifs a disparu la transformation chimique s'arrête.

#### 1-2°) Réaction totale et réaction est limitée

**Une réaction est totale** : Si l'avancement final est égal à l'avancement maximal :  $x_f = x_{\max}$

**Une réaction est limitée (n'est pas totale)** : Si l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal :  $x_f < x_{\max}$ .

#### 1-3°) Le taux d'avancement d'une réaction chimique

a) **Définition** : Le taux d'avancement d'une réaction chimique noté  $\tau$  à un instant  $t$  est égal au quotient de son avancement à cet instant par son avancement maximal  $\tau = \frac{x(t)}{x_{\max}}$ .

Le taux d'avancement final est  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$

#### b) Remarque :

Si  $\tau_f = 1$  La réaction est totale et si  $0 < \tau_f < 1$  La réaction est limitée

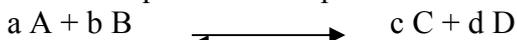
#### 1-4°) Etat d'équilibre d'un système chimique :

Un système est dit en état d'équilibre chimique si, en dehors de toute intervention extérieure, les réactifs et les produits de la réaction sont présents dans le système et leurs quantités de matière restent constantes. L'équilibre chimique est un équilibre dynamique si les réactions inverses continuent à évoluer avec la vitesse de façon que l'une annule l'effet de l'autre.

### 2°) Loi d'action de masse : Condition d'évolution spontanée

#### 2-1°) Loi d'action de masse :

Pour l'équation chimique



Avec  $a, b, c,$  et  $d$  sont les coefficients stœchiométriques, on associe la fonction des concentrations notée  $\pi$  et définie par :

$$\pi(t) = \frac{[C]_t^c \cdot [D]_t^d}{[A]_t^a \cdot [B]_t^b}$$

A l'équilibre dynamique, la fonction  $\pi$  prend une valeur constante notée  $K$  (ou  $\pi_{\text{éq.dyn.}}$ ) appelée **constante d'équilibre** qui ne dépend que de la température.

$$K = \pi_{\text{éq.dyn.}} = \frac{[C]_{\text{éq.}}^c \cdot [D]_{\text{éq.}}^d}{[A]_{\text{éq.}}^a \cdot [B]_{\text{éq.}}^b}$$

#### 2-2°) Conditions d'évolution spontanée :

- ⊙ Si  $\pi < K$ , la réaction directe (1) est possible spontanément.
- ⊙ Si  $\pi > K$ , la réaction inverse (2) est possible spontanément.
- ⊙ Si  $\pi = K$ , on n'observe ni la réaction directe ni la réaction inverse : la composition du système ne varie plus, on dit que le système a atteint **un état d'équilibre**

### 3°) Loi de modération : Déplacement d'un équilibre chimique.

#### 3-1°) Les facteurs dynamiques :

Les variables pouvant perturber un système en équilibre dynamique, appelés facteurs d'équilibre :

#### 3-2°) Loi de modération :

##### a) La pression :

✦ Si une perturbation tend, à température constante, à **augmenter** la pression d'un système fermé initialement en équilibre dynamique, ce système subit la réaction qui tend à **diminuer** la pression (c'est-à-dire qui tend à **diminuer** le nombre de moles total à l'état gazeux).

✦ Si une perturbation tend, à température constante, à **diminuer** la pression d'un système fermé initialement en équilibre dynamique, ce système subit la réaction qui tend à **augmenter** la pression (c'est-à-dire tend à **augmenter** le nombre de moles total à l'état gazeux).

##### b) La molarité d'un constituant :

\* Si une perturbation tend, à température constante, à **augmenter** une molarité dans un système initialement en équilibre dynamique, le système répond par la transformation qui tend à **diminuer** cette molarité.

\* Si une perturbation tend, à température constante, à **diminuer** une molarité dans un système initialement en équilibre dynamique, le système répond par la transformation qui tend à **augmenter** cette molarité.

Dans les deux cas, la réponse du système tend à modérer (c'est-à-dire réduire) la variation de molarité provoquée par la perturbation à température constante.

##### c) La température :

\* Si une perturbation tend, sous pression constante, à **élever** la température d'un système fermé initialement en équilibre dynamique, ce système subit la transformation endothermique c'est-à-dire qui tend à **abaisser** la température.

\* Si une perturbation tend, sous pression constante, à **abaisser** la température d'un système fermé initialement en équilibre dynamique, ce système subit la transformation exothermique c'est-à-dire qui tend à **élever** la température.

Dans les deux cas, la réponse du système tend à modérer (c'est-à-dire réduire) la variation de la température provoquée par la perturbation à pression constante.

#### Généralisation:

« Si, dans un système initialement en équilibre dynamique, une perturbation fait varier :

- soit la température, à pression constante, pour un système fermé :

- soit la pression, à température constante, pour un système fermé :

- soit la molarité d'une entité chimique à température constante (le système est alors ouvert) ; le

système subit, en réponse à cette perturbation, la réaction qui modère la variation de la température, de la pression ou de la molarité respectivement, se produit spontanément ».

**Exercice N°1 :**

On réalise un mélange referment **9,2g** d'acide méthanoïque ( $\text{HCOOH}$ ) et **9,2g** d'éthanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) avec quelques gouttes d'acide sulfurique.

1- a – Ecrire l'équation de la réaction qui se produit.

b- Montrer que le mélange est équimolaire.

On donne :  $M(\text{H}) = 1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{C}) = 12\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

2- On répartit ce mélange en différents échantillons de volume  $V$  chacun, qui sont placés à la date  $t = 0$  dans un bain-marie à  $100^\circ\text{C}$ . A différentes dates, on dose l'acide restant dans chaque échantillon par une solution de soude de concentration molaire  $C_B = 0,5\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

a- Dresser le tableau d'avancement de la réaction d'estérification.

b- Exprimer l'avancement  $x$  de la réaction en fonction de  $C_B$ ,  $V_B$  et  $n_0$  ( $n_0$  étant le nombre de mole d'acide initial dans le volume  $V$  d'un échantillon et  $V_B$  est le volume de base ajouté à l'équivalence).

c- Montrer que le taux d'avancement de la réaction à une date  $t$  s'écrit :

$$\tau = \frac{n_0 - 0,5 \cdot V_B}{n_0}$$

3- La courbe ci-contre représente la variation du taux d'avancement de la réaction en fonction du volume  $V_B$  de soude ajouté à l'échantillon.

a- Dédire de la courbe et de la relation de la question (2-c) la valeur de  $n_0$ .

b- Sur quel caractère de la réaction nous renseigne la courbe ? Justifier.

4- a – Enoncer la loi d'action de masse.

b- Lorsque l'équilibre dynamique est atteint  $V_B = 13,2\text{mL}$ .

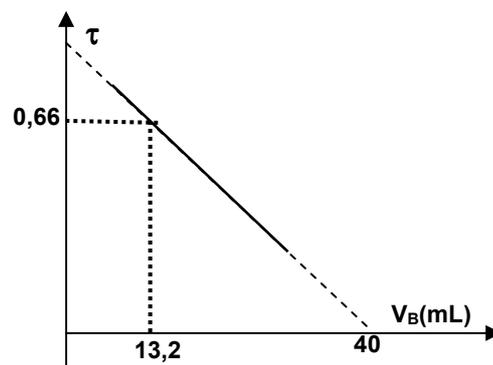
Déterminer alors la composition du mélange dans chaque échantillon.

c- En déduire la constante d'équilibre  $K$  de la réaction.

5- A l'équilibre on ajoute dans l'un des tubes  $10^{-3}\text{mol}$  d'acide,  $10^{-3}\text{mol}$  d'alcool,  $10^{-3}\text{mol}$  d'eau et  $10^{-3}\text{mol}$  d'ester.

a- Montrer que le système n'est plus en équilibre et préciser son sens d'évolution.

b- Déterminer la composition molaire du mélange lorsque de nouveau l'équilibre s'établit.

**Exercice N°2 :**

A l'origine des dates ( $t = 0$ ), on mélange **3 moles** d'éthanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) et **2 moles** d'acide éthanoïque  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  en présence de quelques gouttes d'acide sulfurique comme catalyseur. A chaque instant, on détermine la quantité de matière d'acide éthanoïque restant dans le mélange.

On trace ensuite la courbe qui donne la variation de l'avancement de la réaction au cours du temps.

1- Ecrire l'équation chimique de la réaction qui se produit.

2- Préciser les caractères de cette réaction.

3- Donner l'expression de la loi d'action de masse pour cette réaction sachant que tous les constituants sont dans une même phase.

4- Dresser le tableau descriptif d'évolution du système.

5- Déterminer la composition du mélange à l'équilibre chimique sachant que la constante d'équilibre est égale à **4**.

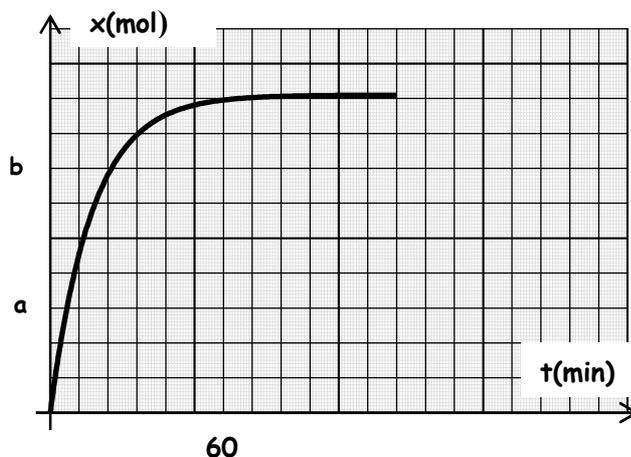
6- Préciser les valeurs de **a** et **b**.

7- Calculer le taux d'avancement final de cette réaction à l'équilibre chimique. La réaction étudiée est-elle totale ou limitée ?

8- On considère un système contenant à l'état initial **0,06 mol** d'éthanol ; **4,06 mol** d'acide éthanoïque ; **0,95 mol** de l'ester correspondant et **1,45 mol** d'eau.

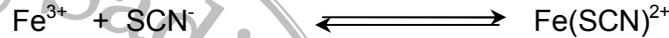
a- Quelle est la réaction possible spontanément dans ce système.

b- Donner la nouvelle composition du système à l'équilibre dynamique.



### Exercice N°3 :

A température constante, on mélange un volume  $V_1 = 80\text{mL}$  d'une solution aqueuse de thiocyanate de potassium ( $\text{K}^+ + \text{SCN}^-$ ) de concentration molaire  $C_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$  avec un volume  $V_2 = 80\text{mL}$  d'une solution de chlorure de fer ( $\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$ ) de concentration molaire  $C_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$ . Le mélange prend une couleur rouge sang due à la formation d'ions thiocyanatofer III  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ . L'équation de la réaction chimique qui a lieu :



- 1- a – Déterminer la quantité de matière initiale de chaque réactif.
- b- Dresser le tableau d'évolution descriptif.
- c- Montrer que  $\text{Fe}^{3+}$  est le réactif limitant et déduire  $x_{\text{max}}$ .
- 2- Sachant que l'avancement final de la réaction étudiée vaut  $x_f = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{mol}$ .
  - a- Calculer le taux d'avancement  $\tau_f$  et en déduire que la réaction est limitée.
  - b- Calculer la constante d'équilibre  $K$  relative à la réaction étudiée.
- 3- On ajoute au mélange obtenu  $20\text{mL}$  d'une solution de chlorure de fer(III) de concentration  $10^{-3} \text{mol.L}^{-1}$ .
  - a- Trouver le sens possible spontanément.
  - b- Déterminer la composition du système lorsque l'équilibre s'établit de nouveau.
  - c- Préciser si la couleur rouge sang est plus foncée ou bien moins foncée que précédemment. Justifier

### Exercice N°4 :

On étudie la cinétique d'estérification du méthanol de formule semi-développée :

$\text{CH}_3\text{-OH}$  par l'acide éthanóïque  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Pour cela, on dispose de **11** tubes à essai, et on réalise dans chacun de ces tubes, à l'instant  $t = 0$ , un mélange contenant  $n_0$  mole d'acide éthanóïque et  $n_0$  mole de **butan-1-ol** auxquelles on ajoute deux gouttes d'acide sulfurique concentré. On place immédiatement les tubes dans un bain-marie maintenu à une température de

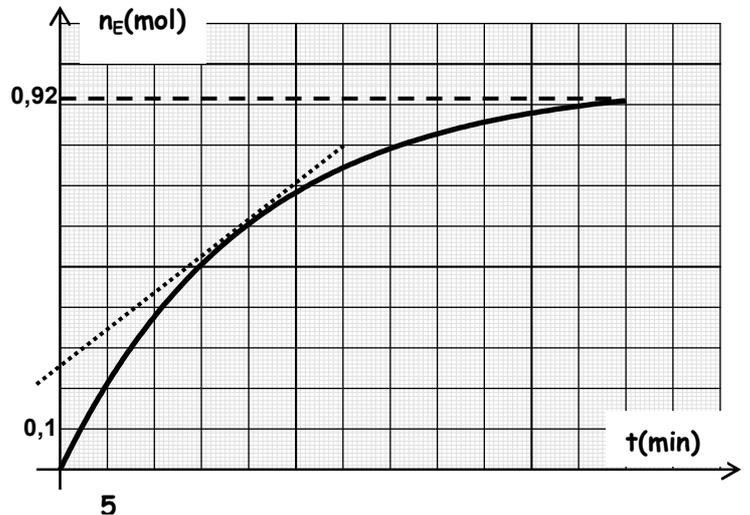
**60°C**. Toutes les cinq minutes, on verse de l'eau glacée dans l'un des tubes et on dose l'acide restant à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration connue. Ceci permet de tracer la courbe donnant les variations du nombre de moles d'ester formé  $n_E(t)$  en fonction de  $t$  et correspondant à la figure ci-dessous.

- 1- Quel sont les effets des actes :
  - L'utilisation de l'acide sulfurique concentré ?
  - L'ajout d'eau glacée avant le dosage ?
- 2- Lorsque l'équilibre dynamique est atteint, la quantité d'alcool estérifié est  $\frac{2}{3} \cdot n_0$  mole.

En exploitant la courbe  $n_E(t)$ , déduire la valeur de  $n_0$  et celle de la constante d'équilibre  $K$ .

- 3- Définir la vitesse de la réaction. Déterminer sa valeur en  $t_1 = 20\text{min}$ .
- 4- L'expérience précédente est refaite dans les mêmes conditions expérimentales, mais à **80°C**.

Tracer approximativement la nouvelle allure de la courbe  $n_E(t)$  sur le même graphique de la figure.



### Exercice N°5 :

On étudie la cinétique de formation d'un ester à partir d'acide éthanóïque et de propan-1-ol. On maintient à la température constante  $T_1 = 40^\circ\text{C}$ , sept erlenmeyer numérotés **1,2,.....7** contenant chacun un mélange de **0,5 mol** de propan-1-ol. Ces tubes sont tous préparés à l'instant  $t = 0$  et on dose toutes les heures l'acide restant dans le mélange.

- 1- a – En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction d'estérification et nommer l'ester formé.
- b- On dispose d'un flacon de propan-1-ol pur. Calculer le volume de cet alcool qu'on doit verser dans chacun des **sept** erlenmeyer ?

On donne :  $M(\text{H}) = 1\text{g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16\text{g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{C}) = 12\text{g.mol}^{-1}$  ;  $\rho(\text{propan-1-ol}) = 0,8\text{g.cm}^{-3}$
- c- Dresser le tableau d'évolution de ce système.

d- Exprimer la quantité de matière d'ester formé dans un erlenmeyer à une date  $t$  en fonction de la quantité de matière d'acide restant.

2- Le dosage de l'acide restant se fait avec une solution de soude de concentration  $C_B = 5 \text{ mol.L}^{-1}$

a- A la date  $t_1 = 10 \text{ min}$ , on dose le contenu de l'erlenmeyer n°1, le volume de soude utilisé pour atteindre est

$V_1 = 56,8 \text{ mL}$ . Calculer le nombre de moles d'ester formé à la date  $t_1$  considérée.

b- Le titrage des solutions contenues dans le sept erlenmeyer a permis de tracer la courbe de la **figure-1-**.

\* Dégager les caractères de l'estérification que l'on peut déduire de la courbe.

\* Calculer le taux d'avancement final de cette réaction et retrouver l'un de ses caractères cité dans la question précédente.

3- a - Exprimer la fonction  $\pi$  des concentrations relative à la réaction étudiée. Calculer sa valeur à la date  $t_1$ .

b- Calculer la valeur de cette fonction à la date  $t' = 50 \text{ min}$ . Que représente cette valeur pour le système étudié ?

c- Cette valeur sera-t-elle modifiée si on élève la température à  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . Justifier

4- A la date  $t'$ , on ajoute dans l'un des Erlenmeyers restants.  $0,2 \text{ mol}$  d'eau et  $0,03 \text{ mol}$  d'alcool.

a- Calculer la nouvelle valeur de  $\pi$ .

b- Prévoir dans quel sens le système évolue spontanément.

c- Déterminer la composition du mélange au nouvel état d'équilibre. On étudie la réaction d'estérification de l'acide méthanoïque ( $\text{HCOOH}$ ) avec le propan-1-ol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ).

Pour cela on mélange  $19,2 \text{ mL}$  d'acide avec  $37,5 \text{ mL}$  d'alcool et on maintient la température du mélange obtenu à une valeur constante tout au long de l'expérience.

1- Montrer que le mélange est équimolaire et que le nombre de mole de chacun des deux réactifs est de **0,5 mole**.

On donne : \*  $\rho(\text{propan-1-ol}) = 0,8 \text{ g.cm}^{-3}$  ;  $\rho(\text{acide méthanoïque}) = 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$  .

\* Les masses molaires :

$M(\text{propan-1-ol}) = 60 \text{ g.mol}^{-1}$  ;

$M(\text{HCOOH}) = 46 \text{ g.mol}^{-1}$

2- Ecrire l'équation de la réaction d'estérification et donner ses caractères.

3- On prélève un volume  $V = 2 \text{ mL}$  du mélange toutes les 5min et après refroidissement on dose l'acide restant avec une solution de soude ( $\text{NaOH}$ ) de concentration  $C_B = 1 \text{ mol.L}^{-1}$

a- Calculer la quantité de matière d'acide  $n_0$  contenu initialement dans le volume  $V$ .

b- Dresser le tableau d'avancement.

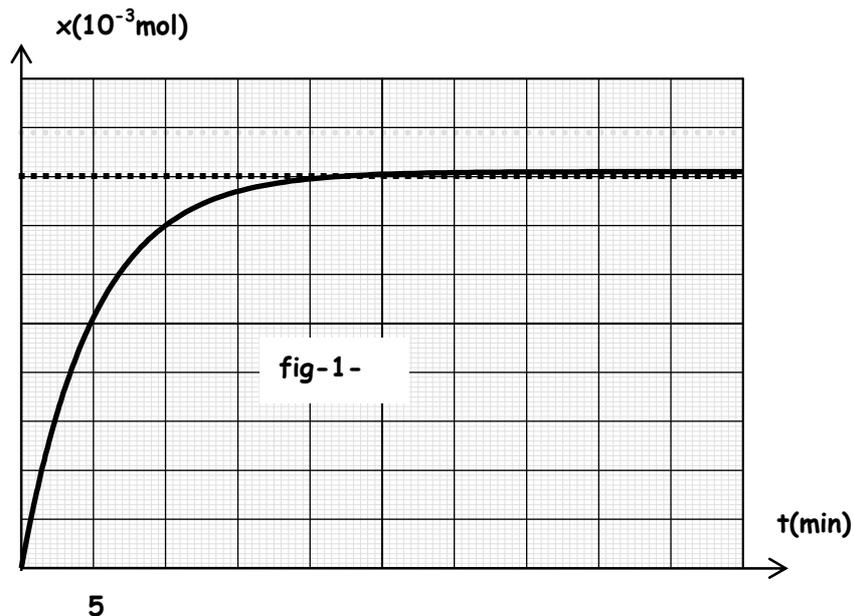
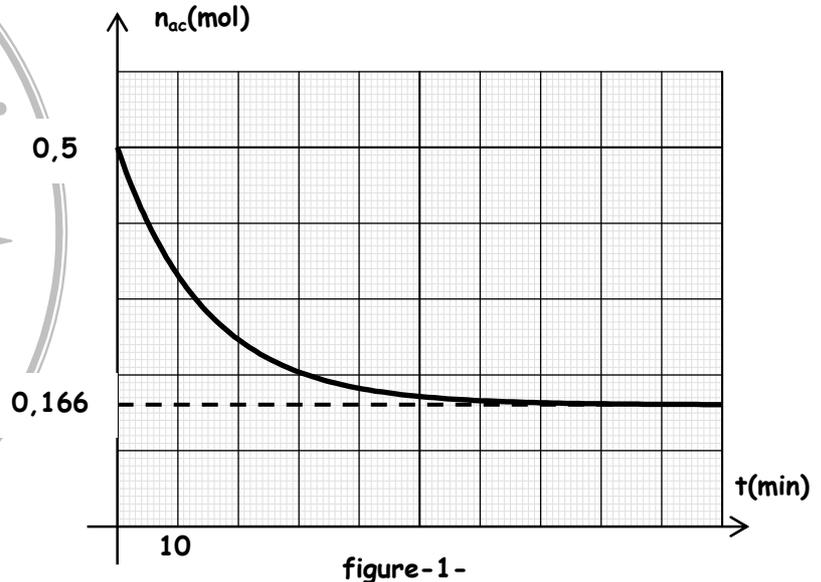
c- Etablir l'expression de la quantité de matière d'ester dans le volume  $V$  à un instant  $t$  en fonction de  $n_0$ ,  $C_B$  et  $V_B$ .

4- Les différents dosages ont permis de tracer la courbe traduisant la variation du nombre de moles d'ester formé au cours du temps (figure-1-).

a- Déterminer graphiquement la valeur de l'avancement final  $x_f$  de la réaction.

b- Calculer la valeur de l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  de la réaction.

c- La réaction étudiée est-elle limitée ou totale ?



**Exercice N°6 : Devoir de synthèse N°1 (collège Sadiki – A.S :2012/2013)**

A la date  $t=0$  et à une température constante, on introduit dans un bécher,  $n_1=1,45 \cdot 10^{-2}$  mole d'acide méthanoïque  $\text{HCOOH}$  et  $n_2=9,00 \cdot 10^{-3}$  mole d'éthanol  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré.

1- a- Ecrire l'équation de la réaction qui se produit en utilisant les formules semi développées. Donner le nom de l'ester formé.

b- Quel est le rôle de l'acide sulfurique concentré ?

2- a- Dresser le tableau descriptif d'évolution du système.

b- Déduire l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  de la réaction.

c- Sachant que la constante d'équilibre de la réaction d'estérification est  $K=4$ , déterminer la composition finale du système chimique.

d- Calculer le taux d'avancement final  $\tau_f$  de la réaction.

3- On divise le mélange en **10** volumes égaux, chaque prélèvement est versé dans un tube à essais. Par la suite, on ferme chaque tube par un bouchon troué muni d'un tube effilé. Juste après, à instant  $t_0$  choisi comme origine des temps ( $t_0=0$ ), on plonge tous les tubes dans un bain-marie maintenu à une température égale à **80°C** et on suit l'évolution du système par des dosages successifs de l'acide restant dans les différents tubes dégagés du bain-marie à des instants convenablement choisis par une solution aqueuse de soude de concentration molaire  $C_B=0,1\text{mol.L}^{-1}$ .

a- Préciser le rôle du tube effilé.

b- A un instant  $t_1$ , le volume de base versé pour atteindre l'équivalence acido-basique est  $V_{BE}=10\text{mL}$ . Calculer le nombre de mole d'acide dans le mélange. Déduire la composition du mélange à cet instant ( $t_1$ ).

c- Le système a-t-il atteint l'état d'équilibre chimique?

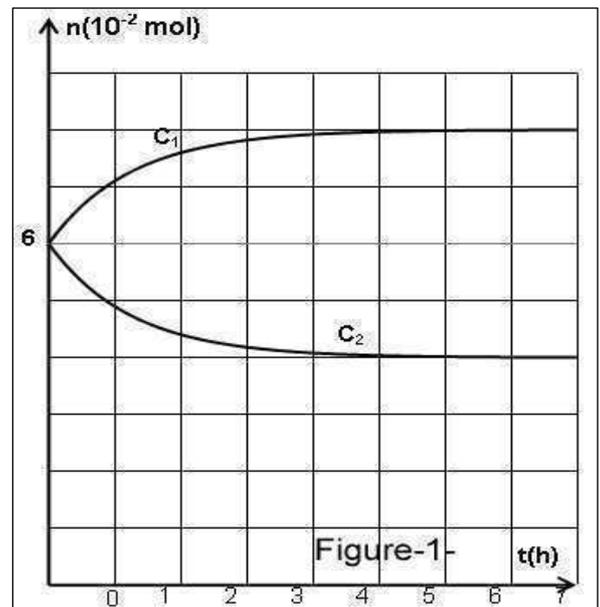
4- Dans une deuxième expérience, on mélange à  $t=0\text{min}$ , des quantités de matière égales ( $n_0$ ) d'acide, d'alcool, d'ester et d'eau.

a- Déterminer le sens d'évolution spontanée de la réaction.

b- Sur le graphe de la figure 1, on a représenté deux courbes  $C_1$  et  $C_2$  correspondant à l'évolution au cours du temps des quantités de matière d'acide et d'ester. Identifier  $C_1$  et  $C_2$ .

c- Prélever du graphe la composition initiale et finale du mélange.

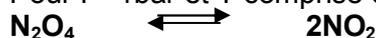
d- Calculer la nouvelle valeur du taux d'avancement final  $\tau'_f$  de la réaction. Comparer  $\tau'_f$  et  $\tau_f$ . Conclure.



## Loi de modération : Déplacement d'un équilibre chimique

### Exercice N°1 : Devoir de contrôle N°2 (L. . pilote Bourguiba – A.S :2008/2009)

On étudie à une température  $T$  et à une pression  $P$  un système contenant initialement  $n_0$  mol de  $N_2O_4$ . Pour  $P=1\text{bar}$  et  $T$  comprise entre  $T_1= 25^\circ\text{C}$  et  $T_2=45^\circ\text{C}$   $N_2O_4$  se dissocie selon l'équation



Une méthode expérimentale permet de déterminer la constante d'équilibre  $K$  et le taux d'avancement  $\tau$ , à la température  $T_1$  et à la température  $T_2$ . Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

| T en °C | 25    | 45    |
|---------|-------|-------|
| $\tau$  | 0,148 | 0,356 |
| K       | 0,14  | 0,58  |

- 1)
  - a) Dresser un tableau décrivant l'évolution du système chimique au cours de la réaction de dissociation de  $N_2O_4$ .
  - b) Déterminer l'expression de  $K$  en fonction de  $n_0$ ,  $\tau$  et  $V$ . Avec  $V$  volume du mélange.
- 2)
  - a) Enoncer la loi de modération.
  - b) En utilisant les données du tableau ci-dessus. Déterminer le caractère énergétique de la réaction de synthèse du peroxyde d'azote  $N_2O_4$ .
  - c) Quelle est l'influence d'une diminution de pression à température constante sur cet équilibre? Justifier.
- 3) Le mélange initial formé de  $n_0=0,05$  mol de  $N_2O_4$ , évolue pour atteindre un équilibre dynamique à la température  $T_1$ . On élève ensuite la température pression constante du mélange obtenu à jusqu'à la valeur  $T_2$ . Déterminer la composition molaire du mélange à la température  $T_2$ . En déduire la valeur du volume  $V$  du mélange à l'équilibre à la température  $T_2$ .

### Exercice N°2 : Devoir de contrôle N°2 (collège Sadiki – A.S :2010/2011)

On considère l'équilibre schématisé par l'équation :  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

$N_2O_4$  est un gaz incolore et  $NO_2$  est un gaz jaune brun. Les expériences sont réalisées dans un récipient de volume  $V=10\text{ L}$ .

1- Dans le récipient, initialement vide, on introduit 0,25 mole de  $NO_2$  à  $60^\circ\text{C}$ .

- a- Calculer la fonction des concentrations  $\pi$ . Déduire le sens d'évolution spontanée de la réaction.
- b- Comment varie l'intensité de la couleur du système chimique au cours de la réaction qui se produit.
- c- Le système étant en équilibre dynamique, on le refroidit jusqu'à la température  $25^\circ\text{C}$  en maintenant la pression constante. La couleur du mélange devient plus claire. Déduire, en le justifiant, le caractère énergétique de la réaction directe ( réaction de dissociation de  $N_2O_4$ ).

2- Dans une deuxième expérience, on introduit, dans le récipient vide,  $n_0=0,25$  mole de  $N_2O_4$  à la température de  $25^\circ\text{C}$ . A l'équilibre dynamique, le récipient renferme 0,304 mole gazeuse.

- a- Dresser le tableau d'avancement de la réaction.
- b- Calculer l'avancement final  $x_f$  de la réaction, puis déduire la valeur du taux d'avancement final  $\tau_f$ .
- c- Exprimer la constante d'équilibre  $K$  de la réaction en fonction de  $n_0$ ,  $V$  et  $\tau_f$ . Calculer  $K$ .
- d- Le système étant en équilibre dynamique et à température constante.
  - Faut-il augmenter ou diminuer la pression du système chimique pour rendre sa couleur plus foncée ?
  - Quel est l'effet d'une augmentation de pression du mélange sur la valeur de  $\tau_f$  et sur celle de  $K$  ?

---

**Exercice N°3 : Devoir de contrôle N°2 (collège Sadiki – A.S :2011/2012)**

---

On considère l'équilibre chimique auquel aboutit la réaction de formation du complexe de couleur rouge sang de thiocyanatofer  $\text{FeSCN}^{2+}$  à partir des ions fer III ( $\text{Fe}^{3+}$ ) et des ions thiocyanate ( $\text{SCN}^-$ ), dont l'équation est symbolisée par :  $(\text{Fe}^{3+})_{\text{aq}} + (\text{SCN}^-)_{\text{aq}} \rightleftharpoons (\text{FeSCN}^{2+})_{\text{aq}}$ .

A une température T constante, on réalise à  $t=0$ , un mélange de volume V constant contenant a mol d'ions  $\text{Fe}^{3+}$  et b mol d'ions  $\text{SCN}^-$ .

1°) Exprimer la constante d'équilibre K de la réaction étudiée en fonction de  $x_f$ , a, b et V.

2°) dans le cas où le mélange initial est équimolaire :

a- Montrer que le taux d'avancement final vérifie l'équation :  $\tau_f^2 + A \cdot \tau_f + 1 = 0$ . Donner l'expression de A en fonction de a, V et K et calculer sa valeur.

b- Calculer le taux d'avancement final de la réaction, en déduire alors les concentrations des différents constituants du système à l'équilibre dynamique.

On donne : **K=100** à la température T **V=0,5 L** et **a=10<sup>-2</sup> mol**.

3°) le mélange étant en équilibre, on diminue la température du mélange réactionnel, on constate que la couleur rouge sang du mélange s'atténue. Préciser, en le justifiant, le caractère énergétique de la réaction étudiée.

4°) Le système chimique est à l'équilibre à la température T, Dire en le justifiant, dans quel sens évolue la réaction suite à un ajout :

a- D'une masse m de chlorure de fer III ( $\text{FeCl}_3$ ), sans variation sensible du volume du système.

b- De **0,5 L** d'une solution de thiocyanate de sodium ( $\text{NaSCN}$ ) de concentration molaire **C=10<sup>-3</sup> mol.L<sup>-1</sup>**.

5°) L'augmentation de pression, à température constante, a-t-elle une influence sur l'équilibre chimique du système ? Justifier la réponse.

---

**Exercice N°4 : Devoir de contrôle N°2 (collège Sadiki – A.S :2009/2010)**

---

Dans une enceinte, initialement vide, de volume constant  $V = 2 \text{ L}$ , on introduit 0,5 mole d'ammoniac  $\text{NH}_3$  gazeux et 1,5 mole de dioxygène gazeux à la température  $T_1$ , on obtient un système en équilibre chimique schématisé par l'équation :



1- A l'équilibre, il se forme 0,6 mole de vapeur d'eau.

a- Déterminer, en nombre de mole, la composition du mélange à l'équilibre.

b- Calcule la valeur de la constante d'équilibre  $K_1$ .

c- Calculer le taux d'avancement final  $\tau_{f1}$  de la réaction.

2- Le système chimique étant en équilibre à la température  $T_1$ , on le porte à la température  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ ). Un nouvel état d'équilibre s'établit dans lequel le nombre de mole d'ammoniac présent est égal à 0,2mole.

a- Déterminer la nouvelle composition du mélange à l'équilibre.

b- Que peut-on conclure quant au caractère énergétique de la réaction étudiée. Justifier la réponse.

c- Comparer sans calcul  $T_1$  et  $T_2$ .

3- La température étant maintenue constante et égale à  $T_2$ , quel est l'effet d'une diminution de la pression

a- sur la valeur de la constante d'équilibre ?

b- sur l'équilibre du système chimique ?

---

**Exercice N°5 :**

---

Dans une enceinte de volume constant  $V = 2 \text{ L}$ , on introduit 1,5 moles de chlorure d'hydrogène gazeux et 0,3 mole de dioxygène gazeux à la température T, La réaction ainsi réalisée est limitée et elle est schématisée par l'équation :



1- A l'équilibre chimique, il se forme 0,16 mole de vapeur d'eau.

a- Montrer que les nombres de mole de dichlore, de dioxygène et de chlorure d'hydrogène présents à l'équilibre sont respectivement 0,16 mole; 0,22 mole et 1,18 mole.

b- En déduire la valeur de la constante d'équilibre K.

c- Calculer le taux d'avancement final de la réaction. Ce résultat est il en accord avec la nature de la réaction.

2- On répète l'expérience précédente mais à une température  $T' > T$ . Un nouvel état d'équilibre s'établit lorsque 17,2 % du chlorure d'hydrogène initial ont été consommés.

- a- Déterminer la nouvelle composition du mélange à l'équilibre .
  - b- Calculer la nouvelle valeur de la constante d'équilibre  $K'$  à la température  $T'$ .
  - c- Que peut-on conclure quant au caractère énergétique de la réaction étudiée. Justifier la réponse.
- 3- La température étant maintenue constante, quel est l'effet d'une augmentation de la pression
- c- sur la valeur de la constante d'équilibre ?
  - d- sur l'équilibre du système chimique ?

**Exercice N°6 :**

On considère l'équilibre schématisé par l'équation :



Les constantes d'équilibre relatives à cette équation à deux températures différentes sont :

$$K = 2 \cdot 10^4 \text{ à } T = 500 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{et } K' = 10 \text{ à } T' = 800 \text{ }^\circ\text{C}.$$

- 1- La température étant fixée à  $T = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ . la réaction inverse est-elle totale où très limitée ?
- 2- Quel est le caractère énergétique de la réaction inverse ? Justifier la réponse.
- 3- La température étant fixée à  $T' = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A un instant pris comme origine des dates, on prépare un système chimique A en mettant en contact dans une enceinte de volume constant et égale à 4 L, une mole d'oxyde de carbone et une mole de dioxyde de carbone.

a- Calculer la valeur de la fonction  $\pi$  des concentrations du système A. quelle est la réaction qui se produit spontanément.

b- Déterminer la composition en mol.L-1 du système A à l'équilibre chimique. En déduire le taux d'avancement final.

c - Le système A est en équilibre chimique, une variation de la pression du mélange déplace cet équilibre dans le sens de la réaction inverse.

\* Cette variation est-elle une augmentation ou une diminution de la pression ? Justifier la réponse.

\* Quelle est l'influence de cette variation de pression sur la constante d'équilibre et sur le taux d'avancement final. Justifier la réponse.

**Exercice N°7 :**

1°) Écrire l'équation de la réaction de l'acide éthanoïque  $\text{CH}_3\text{COOH}$  avec l'eau.

2°) A la température  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , on dissout 0,010 mol de cet acide dans 1,0 L d'eau pur, le pH de la solution obtenue est 3,4.

- a- Calculer la concentration molaire  $C$  de la solution d'acide éthanoïque.
- b- Dresser le tableau descriptif d'évolution de ce système chimique en utilisant l'avancement volumique.
- c- En déduire les concentrations dans l'état final  $[\text{H}_3\text{O}^+]_f$ ,  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_f$  et  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]_f$ .

3°) Montrer que le taux d'avancement final de cette réaction s'écrit sous la forme  $\tau_f = \frac{10^{-\text{pH}}}{C}$ . Calculer sa valeur.

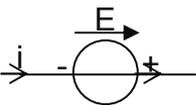
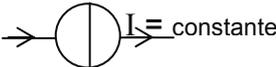
4°) Exprimer la constante  $K$  d'équilibre en fonction de  $C$  et  $\tau_f$ . Calculer sa valeur.

5°) On dilue dix fois la solution d'acide éthanoïque précédente, on trouve que son pH est égal à 3,9. En utilisant la loi de modération peut on prévoir l'effet de la dilution sur l'ionisation de l'acide ? si non comment peut on répondre à cette question ?

# Travaux dirigés Physique

I

**Générateur de tension, générateur de courant**

|           | Générateur de tension  | Générateur de courant  |
|-----------|--|--|
| Propriété | Maintient la tension électrique constante entre ses bornes quelque soient les éléments du circuit électrique ( cette tension est égale à sa f.e.m E) | Maintient l'intensité du courant électrique constante dans le circuit quelque soient ses éléments. |
| Symbole   |   |                 |

II

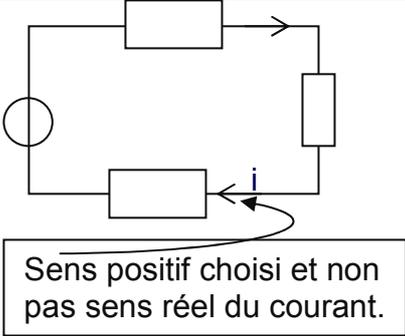
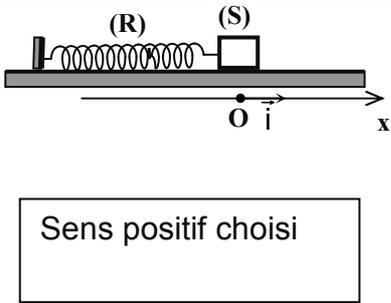
**Relation entre charge et intensité de courant**

Lorsque l'intensité du courant est constante dans un circuit électrique, la charge  $q = I.t$  avec I est l'intensité du courant dans le circuit et t la durée de passage du courant.

III

**Orientation d'un circuit électrique**

Comme en mécanique, lors d'une étude d'un mouvement on choisit un repère et on oriente le mouvement, de même, ici, pour étudier un circuit électrique on doit l'orienter en choisissant un sens positif arbitraire.

| Électricité   | Mécanique   |
|---|---|
|    |   |
| <p>Si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>i &gt; 0</math> le sens réel du courant est le sens positif choisi.</li> <li>• <math>i &lt; 0</math> le sens réel du courant est l'opposé du sens positif choisi.</li> </ul> | <p>Si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v &gt; 0</math> le sens de mouvement est le sens positif choisi.</li> <li>• <math>v &lt; 0</math> le sens de mouvement est l'opposé du sens positif choisi.</li> </ul> |

1

**Définition**

Un condensateur est un dipôle constitué de deux armatures métalliques très faiblement espacées et séparées par un diélectrique (isolant).

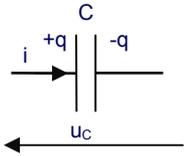
Symbole du condensateur : 

## 2 Tension aux bornes d'un condensateur

En alimentant un condensateur par un générateur de courant, on peut étudier les variations de sa charge  $q$  ( $q=I.t$  avec  $I$  intensité constante de courant et  $t$  durée de charge) en fonction de la tension  $u$  entre ses bornes, on trouve le graphe suivant :

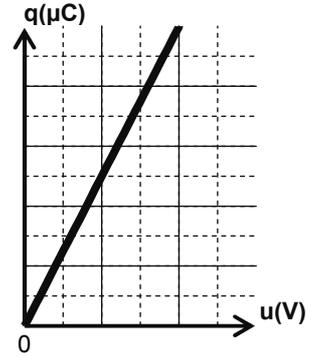
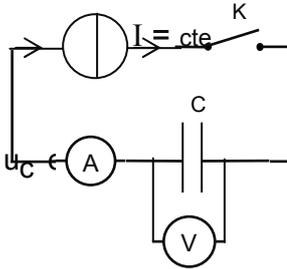
D'après le graphe,  $q=C.u$  ( $q=f(u)$  est une fonction linéaire croissante) avec  $C$  est la capacité du condensateur exprimée en Farad (F) ( $1\mu F = 10^{-6}F$ ,  $1nF=10^{-9}F$  et  $1pF=10^{-12}F$ ).

La tension aux bornes d'un condensateur :



$$u_c = \frac{q}{C}$$

$\left\{ \begin{array}{l} q \text{ est en C} \\ C \text{ est en F} \end{array} \right.$  pour avoir  $u_c$



**Remarque :** La capacité du condensateur ne dépend que de ses caractéristiques ( elle ne varie ni avec la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur ni avec sa charge  $q$ ).

### IV

#### Energie électrique emmagasinée $E_e$ par un condensateur

$q$  : Charge du condensateur en (C) ;  $C$  : Capacité du condensateur en (F) ;  $u_c$  : tension aux bornes du condensateur en (V) et  $E$  : énergie emmagasinée en Joule (J)

$$E_e = \frac{1}{2} q.U_c = \frac{1}{2} C.U_c^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

### V

#### Capacité d'un condensateur plan

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$$

\*  $\epsilon_0$ : permittivité absolue du diélectrique (isolant) (en  $F.m^{-1}$ )  
 \*  $S$ : surface commune en regard (en  $m^2$ )  
 \*  $e$ : épaisseur du diélectrique (en m)  
 \*  $C$ : capacité du condensateur plan (en F)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \text{ avec } \begin{array}{l} * \epsilon_0 \text{ permittivité absolue de l'air ou du vide} \\ * \epsilon_r \text{ permittivité relative du diélectrique} \end{array}$$

## LE DIPÔLE RC

### I

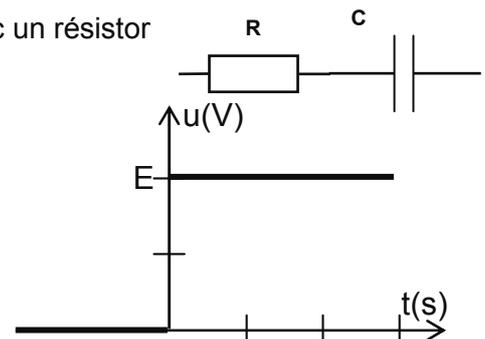
#### Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension

##### 1 Dipôle RC

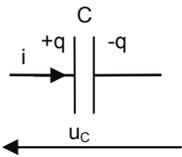
Le dipôle RC est constitué d'un condensateur associé en série avec un résistor (conducteur ohmique).

##### 2 Echelon de tension

$u$  tension aux bornes du dipôle RC  
 Pour  $t < 0$  ;  $u = 0$   
 Pour  $t \geq 0$  ;  $u = E$ .



### 3 Relation entre $i(t)$ et $u_c(t)$



$$i = \frac{dq}{dt} \text{ avec } q = C \cdot u_c \text{ donc } i = \frac{d(Cu_c)}{dt} = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$

### 4 Equation différentielle

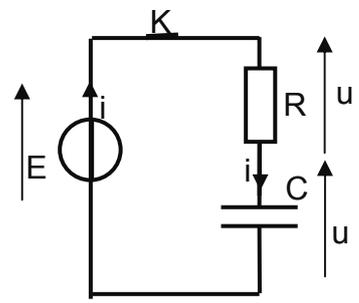
(on doit représenter les flèches des tensions avant d'établir l'équation différentielle).

Le condensateur est initialement déchargé, à la date  $t=0$ , on ferme l'interrupteur K.

d'après la loi des mailles :  $u_R + u_c = E$  avec  $u_R = Ri$

$Ri + u_c = E$  avec  $i = C \cdot \frac{du_c}{dt} \Rightarrow RC \frac{du_c}{dt} + u_c = E$ , on pose  $\tau = RC \Rightarrow$

$$\tau \frac{du_c}{dt} + u_c = E \text{ ou } \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{\tau} = \frac{E}{\tau}$$



### 5 Solution de l'équation différentielle

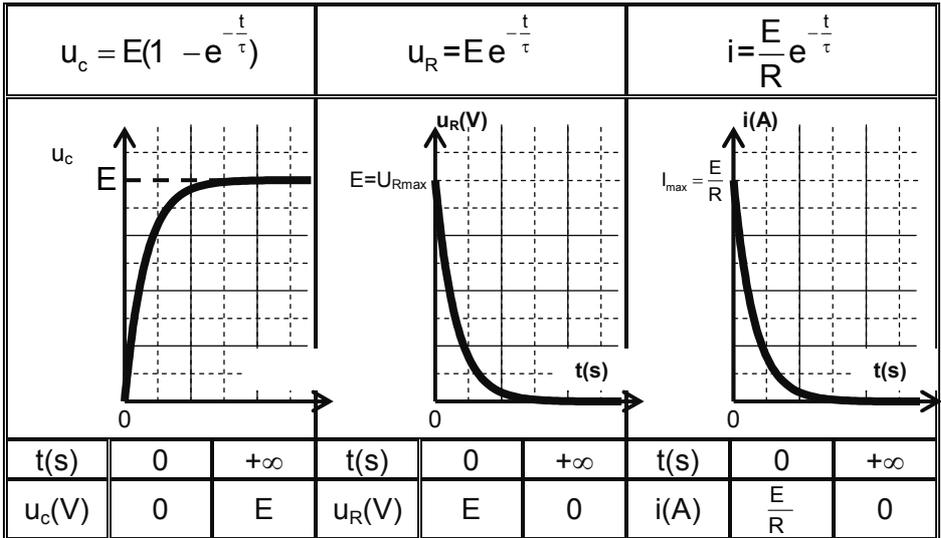
L'équation différentielle précédente a pour solution  $u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ . Avec  $\tau = RC$ .

### 6 Expression de $u_R(t)$ et de $i(t)$

Expression de  $u_R(t)$ :  $u_R = E - u_c = E - E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = E - E + Ee^{-\frac{t}{\tau}}$  d'où  $u_R = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

Expression de  $i(t)$  :  $i = \frac{u_R}{R}$  donc  $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

### 7 Graphes de $u_c(t)$ , $u_R(t)$ et de $i(t)$



### 8 La constante de temps $\tau$

a- Définition :

La constante de temps  $\tau$  est une grandeur caractéristique du dipôle RC, elle nous renseigne sur la rapidité avec laquelle s'effectue la charge ou la décharge d'un condensateur.

**b-Unité de  $\tau$  :**

$$\tau = RC \text{ avec } \begin{cases} R = \frac{u_R}{i} \text{ donc } R \text{ est en } \frac{V}{A} \\ C = \frac{q}{u_C} \text{ or } q = It \text{ donc } C \text{ est en } \frac{As}{V} \end{cases} \text{ d'où } \tau \text{ est en } \frac{V}{A} \cdot \frac{As}{V} = s \text{ (seconde) donc } \tau \text{ est un temps.}$$

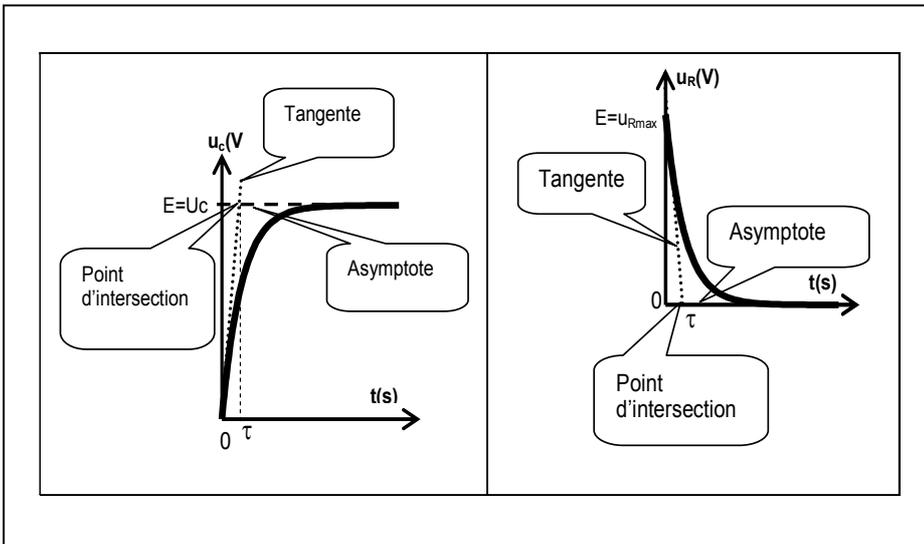
**c- Détermination de  $\tau$  :**

• **Par calcul :**

Ayant les valeurs de R(en  $\Omega$ ) et de C(en F), on peut calculer directement  $\tau$ (en s) .

• **Graphiquement :**

- **1<sup>ère</sup> méthode (utilisation de la tangente à l'origine) :** on peut montrer que  $\tau$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à la courbe de  $u_c(t)$  [de même pour  $u_R(t)$ ,  $i(t)$  et  $q(t)$ ] à la date  $t=0$  avec l'asymptote (lorsque  $t \rightarrow +\infty$ ).



- **2<sup>ème</sup> méthode (lecture graphique) :**

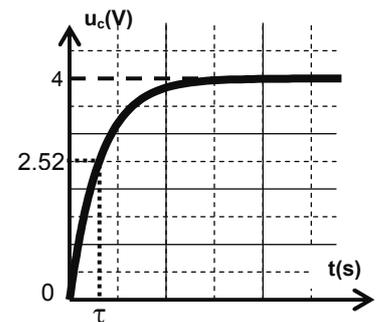
**1<sup>er</sup> cas :** à partir du graphe de  $u_c(t)$

Pour  $t=\tau$ , quelle est la valeur de  $u_c$  ?

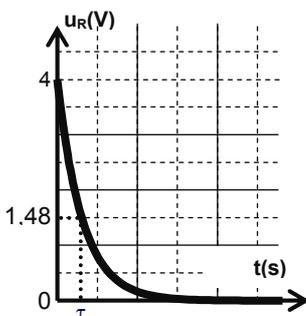
$$u_c(\tau) = E(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) = E(1 - e^{-1}) \approx 0,63E \text{ car } e^{-1} \approx 0,37$$

**Exemple :**

On a  $E=4\text{ V}$  d'où  $0,63 \cdot 4 = 2,52\text{ V}$  donc l'abscisse du point d'ordonnée  $2,52\text{ V}$  est égale à  $\tau$



**2<sup>ème</sup> cas :** à partir du graphe de  $u_R(t)$



Pour  $t=\tau$ , quelle est la valeur de  $u_R$  ?

$$u_R(\tau) = E \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau}} = E \cdot e^{-1} \approx 0,37E$$

**Exemple :**

On a  $E=4\text{ V}$  d'où  $0,37 \cdot 4 = 1,48\text{ V}$  donc l'abscisse du point d'ordonnée  $1,48\text{ V}$  est égale à  $\tau$ .

**9 Durée de charge d'un condensateur**

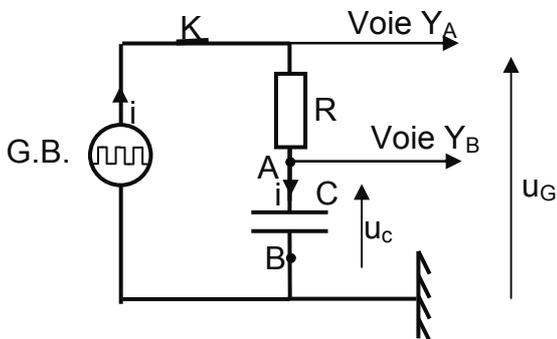
On peut considérer qu'un condensateur est complètement chargé lorsque sa tension  $u_c = 0,99E$  ce qui donne une durée de charge  $t \approx 5\tau = 5RC$

Le temps de charge augmente avec R et avec C.

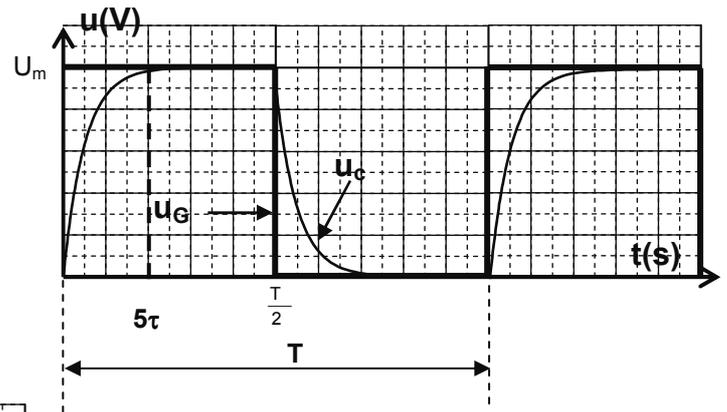
Pour  $t < 5\tau$ , on a le régime transitoire.  
 Pour  $t \geq 5\tau$ , on a le régime permanent.

**Remarque :**

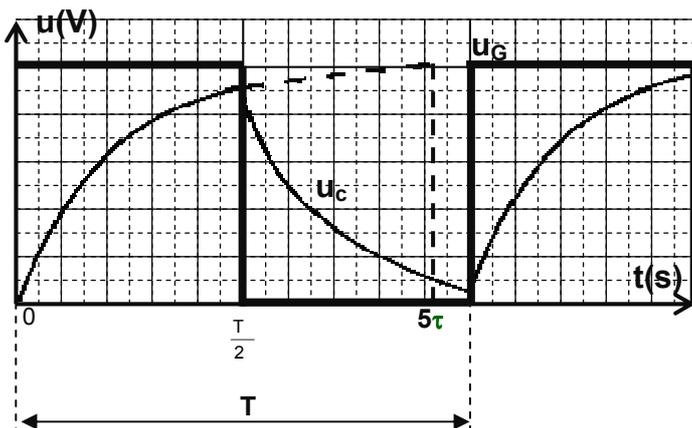
- la réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension est la charge progressive du condensateur : c'est un phénomène transitoire.
- Charge d'un condensateur par une tension créneaux.



Pour  $5\tau < \frac{T}{2}$ , pendant une demi-période la tension  $u_c$  peut atteindre sa valeur finale donc on observe les courbes suivantes (les deux voies ont la même sensibilité verticale) :



Pour  $5\tau > \frac{T}{2}$ , pendant une demi-période la tension  $u_c$  ne peut pas atteindre sa valeur finale donc on observe les courbes suivantes :



**II La décharge d'un condensateur**

**1- Equation différentielle :**

(on doit garder la même orientation du circuit).

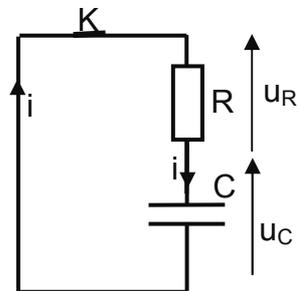
Le condensateur est initialement chargé, à la date  $t=0$ , on ferme l'interrupteur K.

D'après la loi des mailles :

$$u_R + u_c = 0 \text{ avec } u_R = Ri$$

$$Ri + u_c = 0 \text{ avec } i = C \cdot \frac{du_c}{dt} \Rightarrow RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0, \tau = RC$$

$$\Rightarrow \tau \frac{du_c}{dt} + u_c = 0 \text{ ou } \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{\tau} = 0$$



**2- Solution de l'équation différentielle :**

L'équation différentielle précédente a pour solution  $u_c = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ .

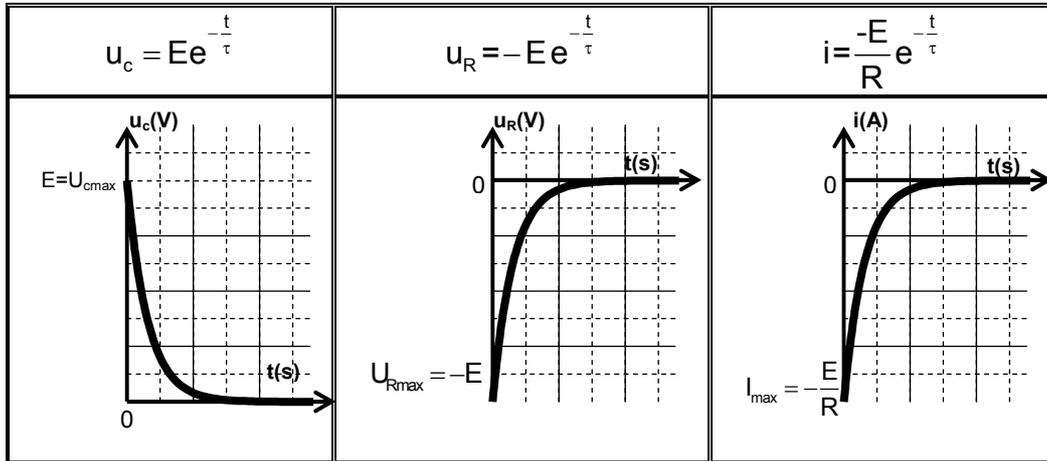
Avec  $\tau = RC$ .

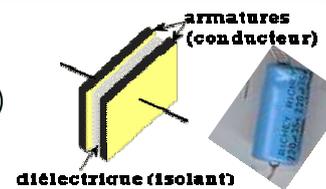
3- Expression de  $u_R(t)$  et de  $i(t)$  :

Expression de  $u_R(t)$  :  $u_R = 0 - u_C = -Ee^{-\frac{t}{\tau}}$  d'où  $u_R = -Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

Expression de  $i(t)$  :  $i = \frac{u_R}{R}$  donc  $i = \frac{-E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

4- graphes de  $u_C(t)$ ,  $u_R(t)$  et de  $i(t)$  :





Exercice N° 01

Un condensateur de capacité  $C = 20 \mu\text{F}$  présente entre ses bornes une tension  $u_{AB} = 6\text{V}$

1°) Représenter le schéma normalisé du condensateur et indiquer sur le schéma la flèche de la tension  $u_{AB}$ , le sens du courant et le signe des charges électriques portées par les armatures du condensateur ;

2°) Calculer la valeur de la charge emmagasinée par le condensateur.

3°) Sachant que :

- Le condensateur est plan
- La distance entre les deux armatures est  $e = 0,1 \text{ mm}$ .
- La permittivité du diélectrique vaut  $\epsilon = 5.10^{-9} \text{ F.m}^{-1}$

Calculer l'aire de la surface en regard des deux armatures.



Exercice N° 02

Un condensateur de capacité  $C = 1,5\text{mF}$  est chargé à l'aide d'un générateur de courant d'intensité constante  $I_0 = 20\mu\text{A}$ .

A l'instant  $t=0$  le condensateur est complètement déchargé.

1°) Quelle est la différence entre les générateurs de courants et les générateurs de tension habituellement utilisés.

2°) Donner l'expression de la charge  $q$  de l'armature reliée au point A en fonction de  $I_0$  et  $t$ .

3°) Au bout d'une durée de charge d'une minute, que vaut :

a°) La charge  $q_A$  portée par l'armature A ?

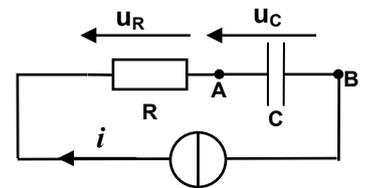
b°) La charge  $q_B$  portée par l'armature B ?

c°) La tension du condensateur  $u_C$  ?

d°) L'énergie  $E$  emmagasinée par le condensateur ?

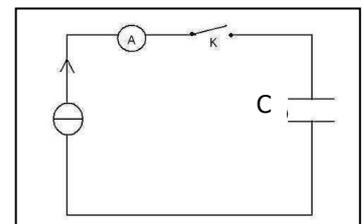
4°) Au bout de combien de temps l'énergie  $E'$  emmagasinée par le condensateur vaudra-t-elle  $2E$  ?

5°) La tension du condensateur ne doit pas dépasser  $40\text{V}$ . Déterminer la durée maximale  $t_{\text{max}}$  de la charge.



Exercice N° 03

On veut déterminer la capacité  $C$  d'un condensateur, pour cela on réalise sa charge avec un générateur de courant. Ce générateur débite un courant d'intensité  $I = 0,5 \text{ mA}$ . On réalise la saisie automatique de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur en fonction du temps. Le montage utilisé est schématisé ci-contre :



1- Refaire le schéma du montage ; représenter  $u_C$ ,  $q$  ( $q > 0$ ), la voie Y et la masse de l'oscilloscope afin que l'on puisse visualiser  $u_C$ .

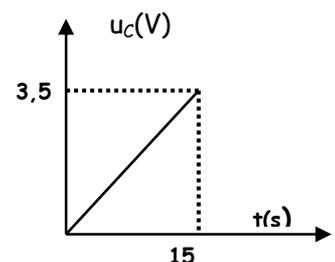
2-A l'instant  $t = 0$  on ferme l'interrupteur K. Etablir la relation entre  $I$ ,  $C$ ,  $u_C$  et  $t$ .

3-On obtient la courbe  $u_C(t)$ : (voir document ci-contre). A l'aide de la courbe, déterminer la valeur de la capacité  $C$  du condensateur.

4- Afin de ne pas détériorer le condensateur, la durée de charge ne doit pas dépasser  $t_{\text{max}} = 2 \text{ min}$ .

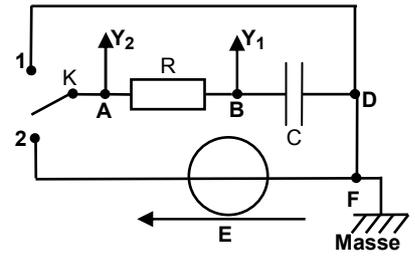
a- Calculer la tension de claquage du condensateur.

b- Déduire l'énergie électrique maximale emmagasinée par le condensateur.



**I-**

On souhaite étudier la charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers une résistance  $R = 4k\Omega$  à l'aide d'un générateur de tension constante  $E$ . Pour cela on réalise le montage schématisé ci-contre. Les points **A** et **B** sont reliés aux entrées d'un oscilloscope à mémoire (ou d'un ordinateur) tandis que le point **F** est relié à sa masse.



Sous le schéma figure l'enregistrement des tensions visualisées sur les voies 1 et 2 à partir de l'instant  $t=0$  où l'interrupteur bascule de la position **1** à la position **2**.

1°) a°) quel tension est visualisée sur la voie 1 de l'oscilloscope ?

b°) Par quel courbe cette tension est représentée ?

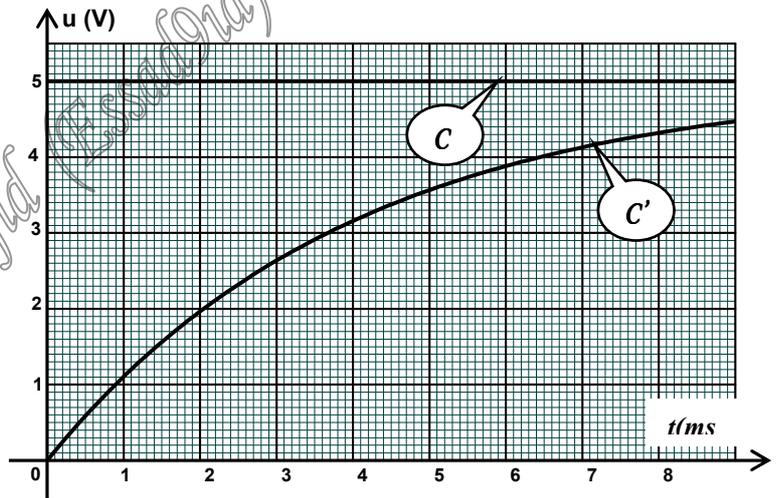
2°) Déterminer les valeurs de :

a) La tension  $E$  délivrée par le générateur ;

b) La tension  $U_{Cmax}$  du condensateur lorsque sa charge est terminée ;

c) La constante de temps  $\tau$  de charge du condensateur (en utilisant deux méthodes différentes)

d) la capacité  $C$  du condensateur.



**II- Etude théorique**

Afin de justifier l'allure de cette courbe de  $u_c(t)$  on se propose de faire une étude théorique.

1°) Représenter sur le schéma du montage

- Le sens de circulation du courant  $i$ ,
- les charges accumulées sur les armatures du condensateur
- Les flèches tensions aux bornes de chaque dipôle
- L'expression de chaque flèche tension en fonction des caractéristiques du dipôle.

2°) Etablir l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_c(t)$ .

3°) La fonction  $u_c(t)$  solution de cette équation différentielle s'écrit de la forme  $u_c(t) = Ae^{-\alpha t} + B$ . Déterminer les expressions de  $A$ ,  $\alpha$  et  $B$  en fonction des caractéristiques des dipôles.

**III- Etude énergétique**

Un condensateur chargé constitue un petit réservoir d'énergie.

1°) De quelle forme d'énergie s'agit-il ?

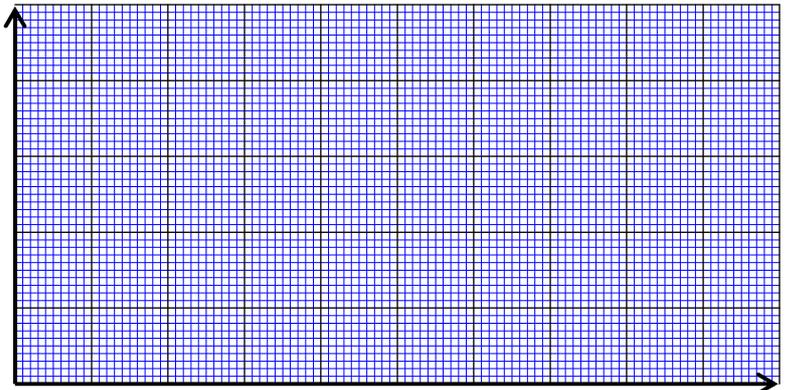
2°) Calculer la valeur de l'énergie accumulée par le condensateur au bout d'un intervalle de temps  $\Delta t_1 [0 ; \tau]$

3°) En utilisant le graphe de  $u_c(t)$  ; Déterminer la date à laquelle le condensateur accumule une énergie égale à la moitié de l'énergie maximale qu'il peut accumuler

4°)

a) Déterminer l'expression de l'intensité  $i(t)$  qui circule dans le montage.

b) Représenter l'allure de la courbe  $i(t)$  en indiquant les coordonnées des points particuliers.

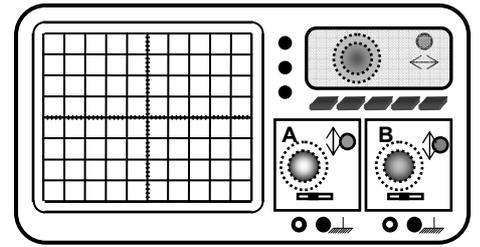
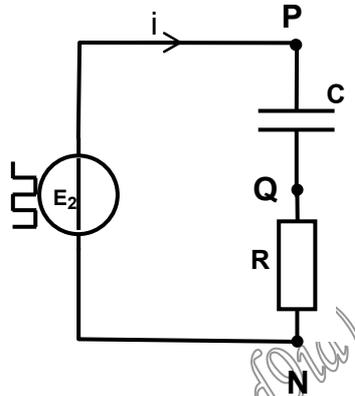


#### IV- Visualisation de i

On remplace :

Le générateur de tension constante par un générateur de signaux carrés, fournissant une tension périodique alternativement constante et nulle, d'amplitude  $E_2$  et de fréquence  $f$ .

Le résistor par un autre de résistance  $R' = 1 \text{ k}\Omega$ .



On se propose de visualiser

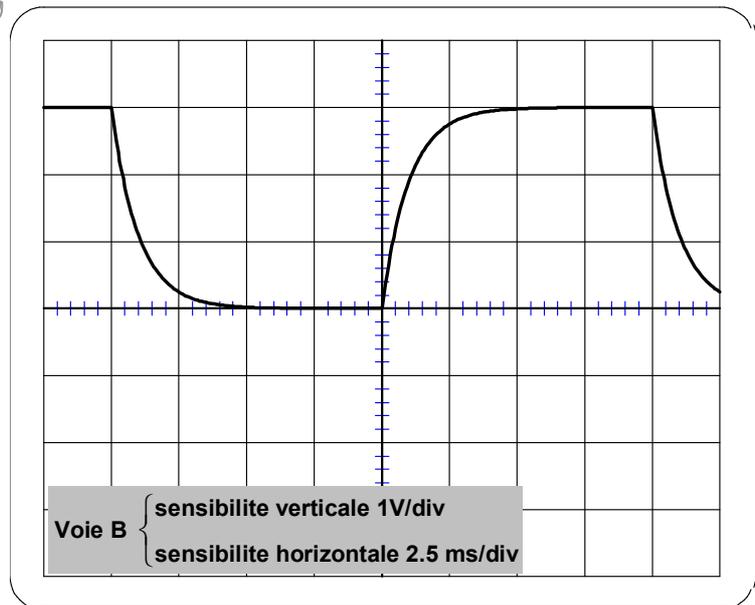
simultanément la tension aux bornes de la résistance et la tension aux bornes du condensateur à l'aide d'un oscilloscope bi courbe.

1°) Indiquer sur le schéma de la figure ci dessus branchements nécessaires afin de visualiser simultanément la tension aux bornes du résistor voie A et la tension aux bornes du condensateur voie B.

2°) On représente sur la figure suivante l'oscillogramme obtenu sur la voie B.

- Déterminer la valeur de  $E_2$ .
- Déterminer la fréquence  $f$  du générateur.

3°) Représenter l'allure de l'oscillogramme obtenu sur la voie A en indiquant les coordonnées des points particuliers. On se limitera à l'intervalle de temps  $[0, \frac{T}{2}]$



les  
sur la  
sur la

#### Exercice N° 05

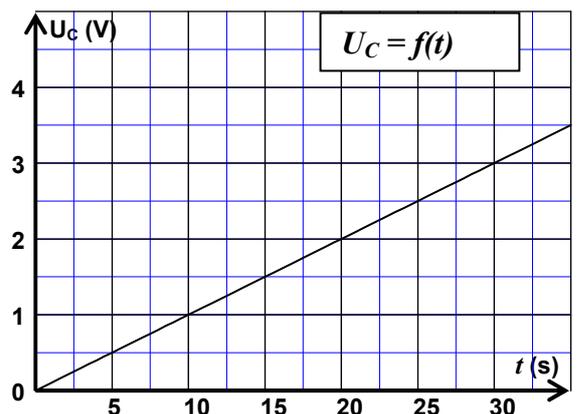
On dispose au laboratoire d'un condensateur de capacité  $C$  inconnue, pour déterminer expérimentalement la valeur de  $C$ , deux groupes d'élèves proposent deux solutions différentes.

##### I- Le premier groupe réalise un circuit électrique comportant :

- \*Un générateur idéal de courant débitant un courant d'intensité constante  $I = 20 \mu\text{A}$ .
- \*Un voltmètre.
- \*Le condensateur de capacité  $C$  inconnue.
- \*Un conducteur ohmique de résistance  $R$
- \*Un interrupteur  $K$  et un chronomètre.

A la date  $t=0$ , ils ferment l'interrupteur  $K$  et mesurent à différentes dates la tension aux bornes du condensateur, ce qui leur permis de tracer la courbe de variation de la tension  $u_c$  aux bornes condensateur en fonction du temps (**figure ci-contre**).

- Représenter le schéma du circuit en indiquant le branchement du voltmètre.
- Etablir l'expression de  $u_c$  en fonction de  $I$ ,  $C$  et  $t$ .
- Déterminer graphiquement la valeur de la capacité  $C$ .
- Calculer à la date  $t=20 \text{ s}$ , l'énergie emmagasinée dans le condensateur.



a  
du

## II- Le deuxième groupe réalise un circuit électrique comportant :

- Un générateur basse fréquence G.B.F de signaux carrés, de fréquence  $N$ , fournissant alternativement une tension nulle ou positive  $U_m$  (Tension crêteaux).
- Un oscilloscope bicourbe,
- Le condensateur de capacité  $C$  inconnue.
- Un conducteur ohmique de résistance  $R$  réglable et un interrupteur  $K$ .

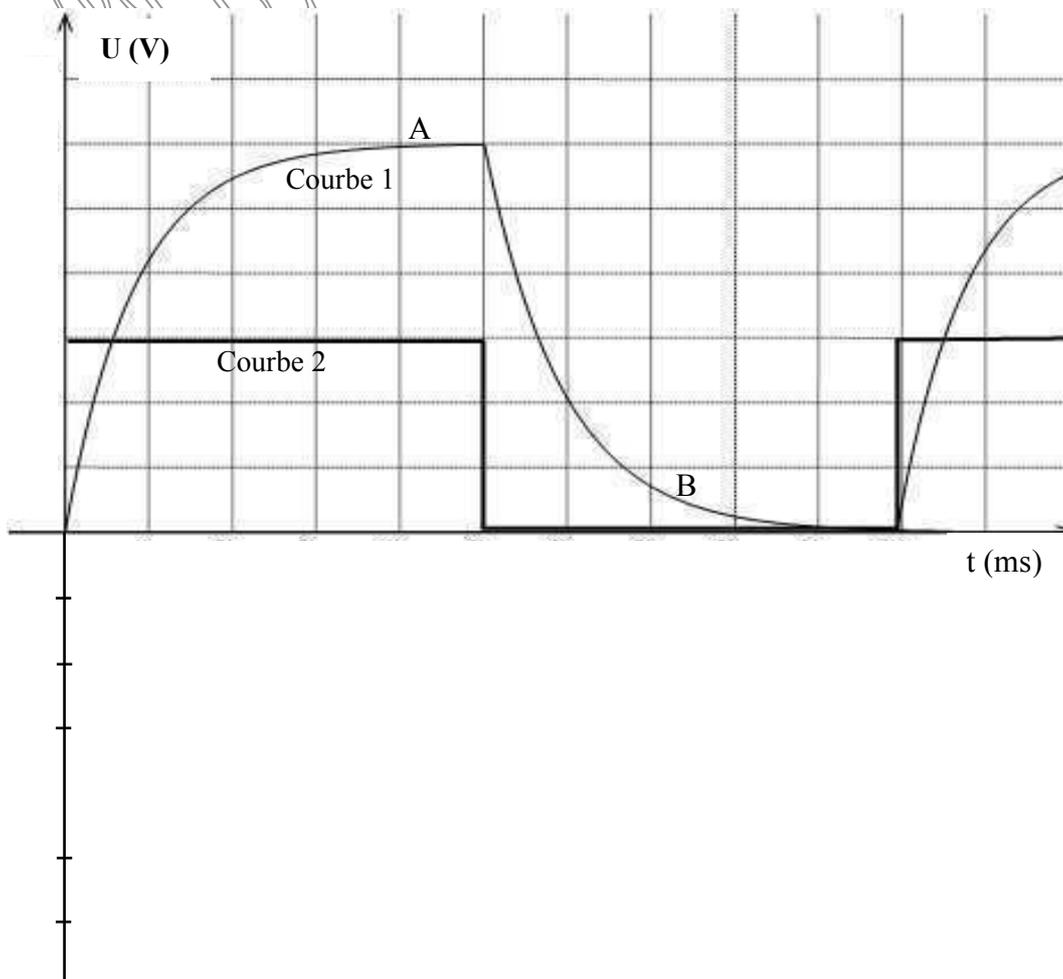
1- Représenter le schéma du circuit en indiquant les branchements des fils de masse et les entrées  $Y_A$  et  $Y_B$  de l'oscilloscope nécessaire pour visualiser respectivement la tension fournie par le G.B.F et la tension aux bornes du condensateur.

2- Avec  $R = 40 \Omega$ , on observe sur l'écran de l'oscilloscope les courbes de la figure (ci-après).

Les réglages de l'oscilloscope indiquent **Sensibilité verticales sur  $Y_A : 2V.div^{-1}$  et sur  $Y_B : 1V.div^{-1}$ .**

**Sensibilité horizontale :  $10 ms.div^{-1}$ .**

- Identifier les courbes 1 et 2, interpréter le phénomène observé principalement, dans les zones OA et AB.
  - Etablir l'équation différentielle régissant les variations de  $u_c$  dans la zone OA. Donner l'expression de sa solution en fonction de  $U_m$ ,  $R$ ,  $C$  et  $t$ .
  - Déterminer graphiquement
    - La période  $T$  du G.B.F et la tension maximale  $U_m$  fournie. Calculer la fréquence  $N$ .
    - la constante de temps  $\tau$ . Déduire, la valeur de la capacité  $C$  du condensateur, la comparer à celle trouvée par le premier groupe.
  - Tracer sur le même graphe l'allure de la courbe de variation de la tension  $u_R$  aux bornes du résistor en fonction du temps. Préciser sur le graphe les deux régimes.
- 3- On règle la résistance  $R$  à la valeur  $60 \Omega$ .
- Calculer la nouvelle valeur de la constante de temps.
  - Tracer, sur le même graphe, l'allure de la courbe représentant  $u_c$  en fonction du temps.

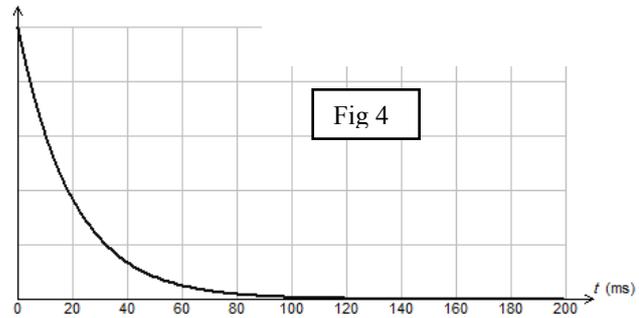
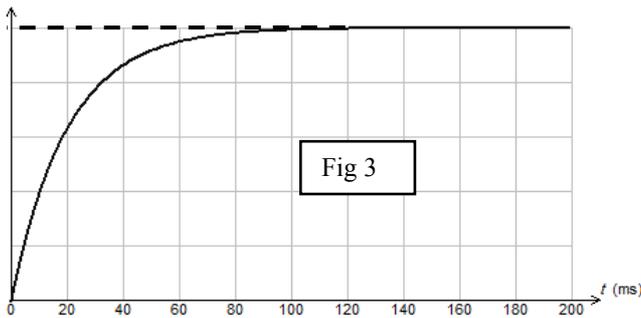
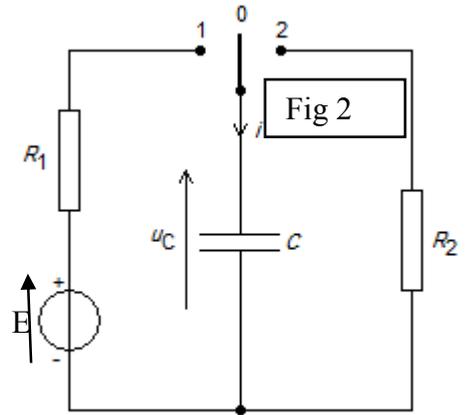


**Exercice N° 06**

Le circuit électrique représenté par la figure ci-contre (fig 2) est constitué des éléments suivants :

- Un générateur de tension idéale de fem  $E$ .
- Deux conducteurs ohmiques de résistances  $R_1$  et  $R_2$ .
- Un condensateur de capacité  $C$  initialement déchargé.
- Un commutateur  $K$ .

I- A l'instant  $t=0$ , on place le commutateur  $K$  dans la position 1. Un système d'acquisition approprié permet d'obtenir les courbes de variation de la charge  $q(t)$  du condensateur et la tension  $u_{R1}(t)$  aux bornes du résistor  $R_1$ . (voir fig 3 et fig 4)



1-a- Préciser, en le justifiant, le graphe correspondant à la charge  $q=f(t)$  et celui correspondant à la tension  $u_{R1}=g(t)$ .

b- Etablir, à un instant de date  $t$  quelconque la relation entre  $q$ ,  $u_{R1}$ ,  $E$  et  $C$ .

c- Montrer qu'à la date  $t=0$ , la tension  $u_{R1}$  est égale à  $E$ . En déduire sa valeur.

(Pour le graphe de  $u_{R1}(t)$  : **1 carreau**  $\longrightarrow$  **2 V**).

d- A partir du graphe de  $q(t)$ , prélever la valeur de la charge électrique maximale  $Q_{max}$  du condensateur.

( **1 carreau**  $\longrightarrow$   **$2 \cdot 10^{-4} C$**  ).

2- a- Définir la constante de temps  $\tau$  d'un dipôle RC. Montrer que  $\tau$  est un temps.

b- Montrer que l'équation différentielle régissant les variations de  $u_{R1}$  au cours du temps peut s'écrire sous la forme  $\tau \frac{du_{R1}}{dt} + u_{R1} = 0$  avec  $\tau_1 = R_1 C$ .

$\frac{du_{R1}}{dt} + u_{R1} = 0$  avec  $\tau_1 = R_1 C$ .

c- La solution générale de cette équation est de la forme :  $u_{R1} = A e^{-\alpha t}$ . Déterminer  $A$  et  $\alpha$ .

d- Montrer que lorsque le condensateur est complètement chargé, sa tension est égale à  $E$ .

Déduire la valeur de la capacité  $C$ .

3- a- Déterminer graphiquement  $\tau_1$ . Préciser la méthode utilisée.

b- Calculer la valeur de  $R_1$ .

c- Calculer l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur lorsque  $u_{R1} = u_C$ .

II- Lorsque le condensateur est complètement chargé, on bascule le commutateur  $K$  à la position 2 à un instant choisi comme nouvelle origine des dates.

1-a- Ecrire la loi des mailles correspondante.

b- Montrer qu'à la date  $t=0$ , la tension aux bornes du résistor  $R_2$  est  $u_{R2} = - E$ .

2- La tension aux bornes du résistor  $R_2$  est donnée par l'expression  $u_{R2} = - E \cdot e^{-t/\tau_2}$  avec  $\tau_2 = R_2 C$ .

a- Sachant qu'à la date  $t_2 = 4 \cdot 10^{-2} s$ , la charge du condensateur est  $q = 3,7 \cdot 10^{-4} C$ . Calculer  $R_2$ .

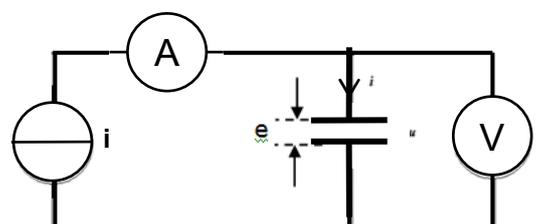
b- Représenter sur le même graphe l'allure de la courbe représentant  $q$  en fonction du temps au cours de la décharge. Même question pour la tension  $u_{R2}(t)$

Partie physique du DC<sub>1</sub> Collège Sadiki (A.S : 2013-2014)

**Exercice 1 (5 pts) :**

Afin de déterminer la permittivité absolue d'un condensateur plan, on étudie la variation de sa capacité  $C$  en fonction de l'épaisseur  $e$  du diélectrique. La surface commune en regard  $S$  des deux armatures est constante et égale à  $1 m^2$ . Pour cela, on réalise le circuit schématisé ci-contre :

Le générateur de courant débite un courant constant



$I = 1 \mu A$ , on fait varier l'épaisseur  $e$  du diélectrique du condensateur et on mesure sa tension au bout d'une durée  $\Delta t = 10 s$ .

1- Calculer la valeur de la charge  $q$  du condensateur commune aux différentes mesures effectuées.

2-

a- Compléter le tableau de mesure suivant

|                                     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| e(mm)                               | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| $U_c(v)$                            | 28  | 56  | 85  | 114 | 141 |
| C(nF)                               |     |     |     |     |     |
| $1/e(10^3 m^{-1})$                  |     |     |     |     |     |
| Energie électrique $E_c(10^{-4} J)$ |     |     |     |     |     |

b- Tracer la courbe représentant l'évolution de la capacité  $C$  du condensateur en fonction de  $1/e$ .

Echelle :  $\begin{cases} \frac{1}{e} : 10^3 m^{-1} \rightarrow 1cm \\ C : 50nF \rightarrow 1cm \end{cases}$

c- Justifier l'allure de la courbe.

d- Identifier le diélectrique utilisé en se référant au tableau suivant. On donne :

|                     |     |             |            |           |
|---------------------|-----|-------------|------------|-----------|
| Nom du diélectrique | PVC | Polystyrène | Caoutchouc | Plexiglas |
| $\epsilon_r$        | 5   | 2,4         | 4          | 3,3       |

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ usi}$ .

e- Justifier la variation de l'énergie électrique en fonction de l'épaisseur du diélectrique en établissant l'expression de  $E_c$  en fonction de  $e$ .

### Exercice n° 2 : (8 pts)

Le circuit électrique représenté par la figure ci-contre (fig 2) est constitué des éléments suivants :

- Un générateur de tension idéale de f.e.m  $E$ .
- Deux conducteurs ohmiques de résistances  $R_1$  et  $R_2$ .
- Un conducteur ohmique de résistance  $R$  variable.
- Un condensateur de capacité  $C$ , initialement déchargé.
- Un commutateur  $K$ .

### Partie A

A l'instant  $t=0$ , on place le commutateur  $K$  sur la position 1.

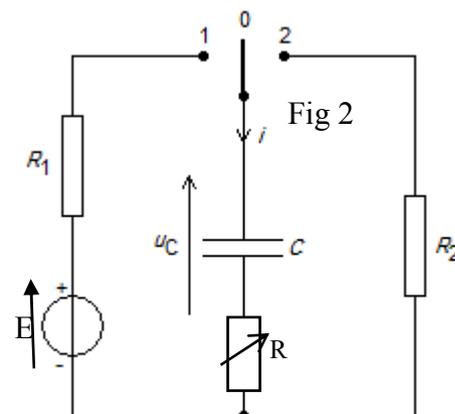
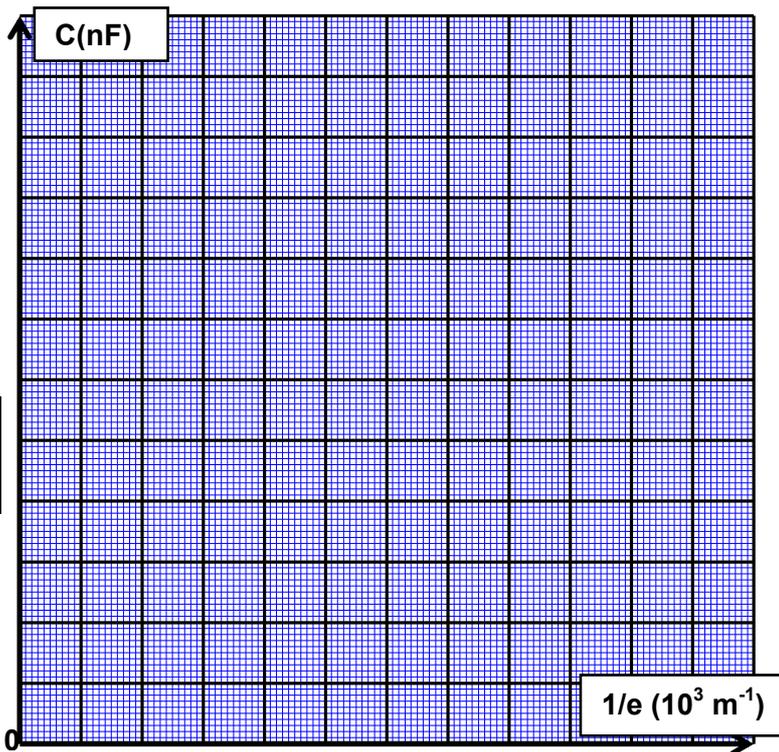
#### I-

1. Etablir l'équation différentielle régissant les variations de l'intensité du courant électrique  $i(t)$  en fonction du temps. Dédire l'expression de la constante de temps  $\tau$  en fonction de  $R$  ;  $R_1$  et  $C$ .

2. La solution générale de cette équation est de la forme :  $i(t) = Ae^{-\alpha t}$ .

Montrer que  $A = \frac{E}{R+R_1}$  et  $\alpha = \frac{1}{(R+R_1)C}$ .

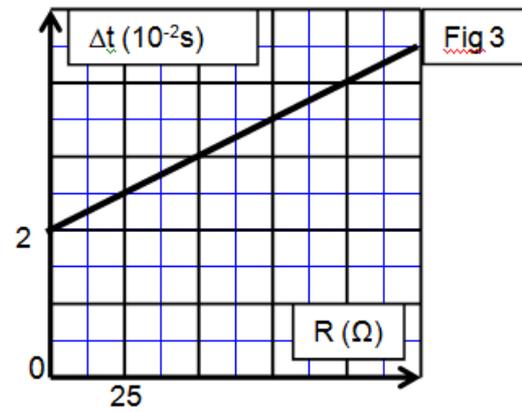
3. Dédire l'expression de la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur en fonction de  $E$  ;  $t$  et  $\tau$ .



## II- Expérience 1

On veut déterminer expérimentalement la valeur de la capacité  $C$  du condensateur et la résistance du résistor  $R_1$ . Pour cela on fait varier la résistance  $R$  et on mesure la durée  $\Delta t$  au bout de laquelle le condensateur est complètement chargé.

Un système d'acquisition muni d'une interface et d'un ordinateur nous a permis de tracer la courbe d'évolution de  $\Delta t$  en fonction de  $R$ . (fig 3)



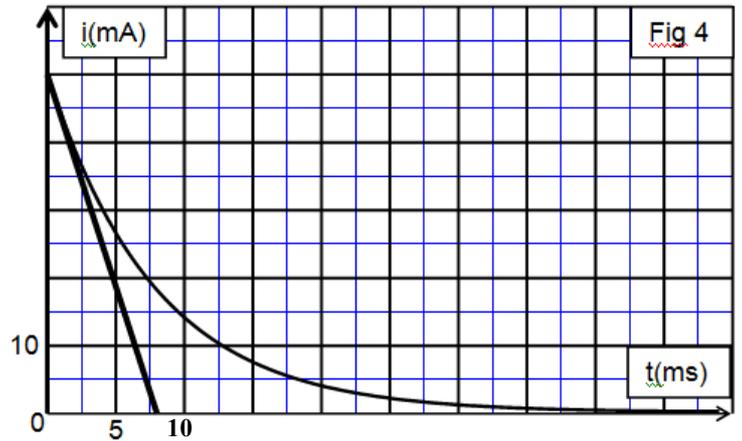
- Justifier théoriquement l'allure de la courbe de  $\Delta t = f(R)$ .
- Déterminer graphiquement la capacité  $C$  du condensateur et la résistance  $R_1$ .

## III- Expérience 2

Au cours de cette expérience, on fixe la valeur de  $R$  à une valeur  $R_0$

et à l'aide du système d'acquisition on a tracé la courbe d'évolution de l'intensité  $i$  du courant électrique en fonction du temps. (fig 4)

- Déterminer la valeur de la constante de temps  $\tau$ . Préciser la méthode utilisée.
- Calculer la valeur de  $R_0$ .
- Prélever la valeur initiale de l'intensité du courant électrique dans le circuit. Déduire la valeur de la fem  $E$  du générateur.



### Partie B

Lorsque l'intensité du courant s'annule dans le circuit, on bascule le commutateur  $K$  sur la position 2, le condensateur se décharge progressivement dans les résistors  $R$  et  $R_2$ .

- Etablir l'équation différentielle régissant les variations de l'intensité du courant électrique  $i(t)$  en fonction du temps.

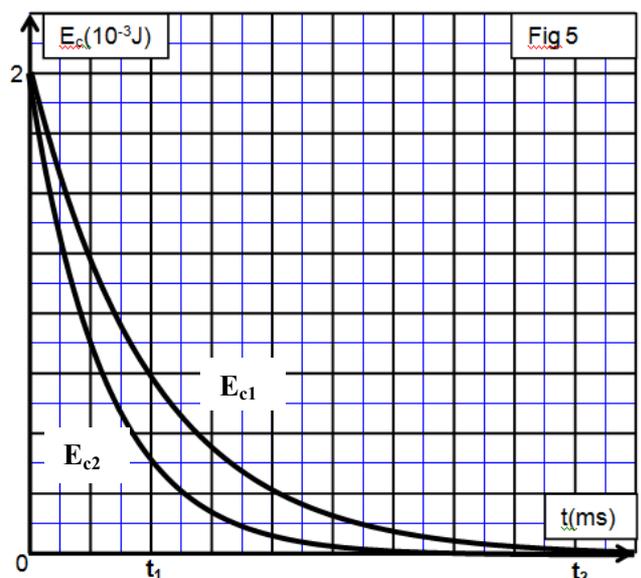
2. Vérifier que  $i(t) = -\frac{E}{R+R_2} e^{-\frac{t}{\tau}}$  est une solution de l'équation différentielle précédente avec  $\tau_2 = (R+R_2)C$ .

- A l'aide du système d'acquisition on a pu tracer les courbes d'évolution de l'énergie électrique  $E_c$  emmagasinée dans le condensateur en fonction du temps pour deux valeurs de la résistance  $R$ .

$E_{c1}$  —→ pour  $R = R_{01}$

$E_{c2}$  —→ pour  $R = R_{02}$

- Comparer en le justifiant  $R_{01}$  et  $R_{02}$ .
- En utilisant le graphe, calculer à  $t=t_1$ , l'énergie dissipée dans le circuit pour  $R=R_{01}$  et  $R=R_{02}$ . Conclure.
- Comparer les énergies dissipées dans le circuit pour  $R=R_{01}$  et  $R=R_{02}$  à l'instant  $t=t_2$ .



# LE DIPÔLE RL

I

## L'induction magnétique

### 1 La bobine

Une bobine est un dipôle constitué de l'enroulement d'un fil conducteur, recouvert d'une gaine isolante, sur un support cylindrique.

### 2 L'induction magnétique

Toute variation de champ magnétique à proximité d'une bobine en circuit fermé produit un courant induit. Le phénomène s'appelle induction magnétique.

L'élément qui crée le champ magnétique est l'inducteur et la bobine est l'induit.

### 3 La Loi de Lenz

Le sens du courant induit est tel qu'il s'oppose par ses effets à la cause qui lui a donné naissance.

### 4 La f.e.m induite

Le courant induit est dû à une f.e.m délocalisée appelée f.e.m induite.

I

## L'auto-induction

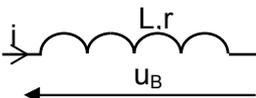
### 1 L'auto-induction

- lorsque la bobine est à la fois l'inducteur et l'induit le phénomène s'appelle auto-induction.
- Une bobine traversée par un courant électrique **variable** est le siège d'une auto-induction.
- L'auto-induction traduit l'opposition d'une bobine à toute variation de courant.

### 2 La f.e.m d'auto-induction

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} * \text{dien A} \\ * \text{dt en s} \\ * L \text{ en henry (H)} \\ * e \text{ en V} \end{cases}$$

### 3 La tension aux bornes d'une bobine

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


- L'inductance L est une grandeur qui ne dépend que des caractéristiques de la bobine, elle caractérise la faculté de la bobine d'emmagasiner de l'énergie magnétique.

- Pour une bobine idéale ou inductance pure ( $r=0$ ), la tension aux bornes de la bobine est  $u_B = u_L = L \frac{di}{dt}$ .

### 4 L'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine

$$E_L = E_m = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{avec} \quad \begin{matrix} i \text{ en A} \\ L \text{ en H} \end{matrix}$$

pour avoir  $E_L$  ou  $E_m$  en J

I

## Réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension

### 1 Le dipôle RL

Le dipôle RL est constitué d'une bobine associée en série avec un résistor (conducteur ohmique).



## 2 L'équation différentielle

**Conseil** : on doit représenter les flèches des tensions avant d'établir l'équation différentielle.

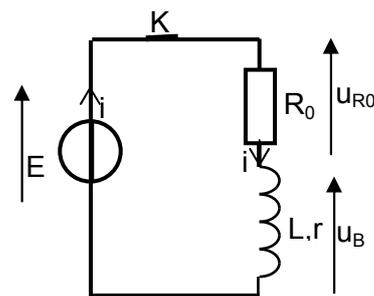
A la date  $t=0$ , on ferme l'interrupteur K. d'après la loi des mailles :

$$u_{R_0} + u_B = E \text{ avec } u_R = Ri \text{ donc } R_0 i + L \frac{di}{dt} + ri = E \Rightarrow L \frac{di}{dt} + (R_0 + r)i = E, \text{ on}$$

pose  $R = R_0 + r$  :  $L \frac{di}{dt} + Ri = E$  on divise l'équation par R

$$\frac{L}{R} \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R} \text{ on pose } \tau = \frac{L}{R} = \frac{L}{R_0 + r} \text{ soit}$$

$$\tau \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R}$$



**Remarque** :

On peut avoir l'équation différentielle régissant les variations de

$$u_{R_0} \text{ en remplaçant } i \text{ par } \frac{u_{R_0}}{R_0}, \text{ on trouve } \tau \frac{d(u_{R_0}/R_0)}{dt} + \frac{u_{R_0}}{R_0} = \frac{E}{R} \Rightarrow \frac{\tau}{R_0} \frac{du_{R_0}}{dt} + \frac{u_{R_0}}{R_0} = \frac{E}{R} \text{ en multipliant}$$

$$\text{l'équation par } R_0 : \tau \frac{du_{R_0}}{dt} + u_{R_0} = \frac{R_0 E}{R}$$

## 3 Solution de l'équation différentielle

La solution de l'équation différentielle  $L \frac{di}{dt} + Ri = E$  s'écrit sous la forme  $i(t) = A + Be^{-\alpha t}$  avec A, B et  $\alpha$

sont des constantes positives qui dépendent des caractéristiques du circuit.

Déterminons A, B et  $\alpha$  :

• A  $t=0$ , on ferme le circuit donc à cette date l'intensité du courant est nulle d'où  $i(0) = 0$

$$A + Be^0 = 0 \quad A + B = 0 \quad A = -B. \Rightarrow i(t) = A - Ae^{-\alpha t}.$$

• Cette solution vérifie l'équation différentielle :

$$L \frac{d(A - Ae^{-\alpha t})}{dt} + R(A - Ae^{-\alpha t}) = E \Rightarrow L(0 + A\alpha e^{-\alpha t}) + RA - RAe^{-\alpha t} = E \Rightarrow LA\alpha e^{-\alpha t} + RA - RAe^{-\alpha t} = E$$

$(L\alpha - R)Ae^{-\alpha t} + RA = E$  cette égalité est valable quelque soit t. Lorsque  $t \longrightarrow +\infty$ ;  $Ae^{-\alpha t} \longrightarrow 0$  d'où

$$0 + RA = E \text{ donc } A = \frac{E}{R} = \frac{E}{R_0 + r} \text{ En remplaçant A par son expression, on aura :}$$

$$(L\alpha - R) \frac{E}{R} e^{-\alpha t} + R \frac{E}{R} = E \Rightarrow (L\alpha - R) \frac{E}{R} e^{-\alpha t} + E = E \text{ d'où } (L\alpha - R) \frac{E}{R} e^{-\alpha t} = 0$$

$$\frac{E}{R} e^{-\alpha t} \neq 0 \text{ d'où } L\alpha - R = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{R}{L} = \frac{R_0 + r}{L} = \frac{1}{\tau}$$

Donc

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{E}{R_0 + r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ avec } \tau = \frac{L}{R} = \frac{L}{R_0 + r}$$

## 4 Expression de $u_{R_0}(t)$ et de $u_B(t)$

**a- Expression de  $u_{R_0}(t)$  :**

$$U_{R_0}(t) = R_0 i(t) = \frac{R_0 E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{R_0 E}{R_0 + r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ avec } U_{R_0 \text{ max}} = \frac{R_0 E}{R_0 + r} < E$$

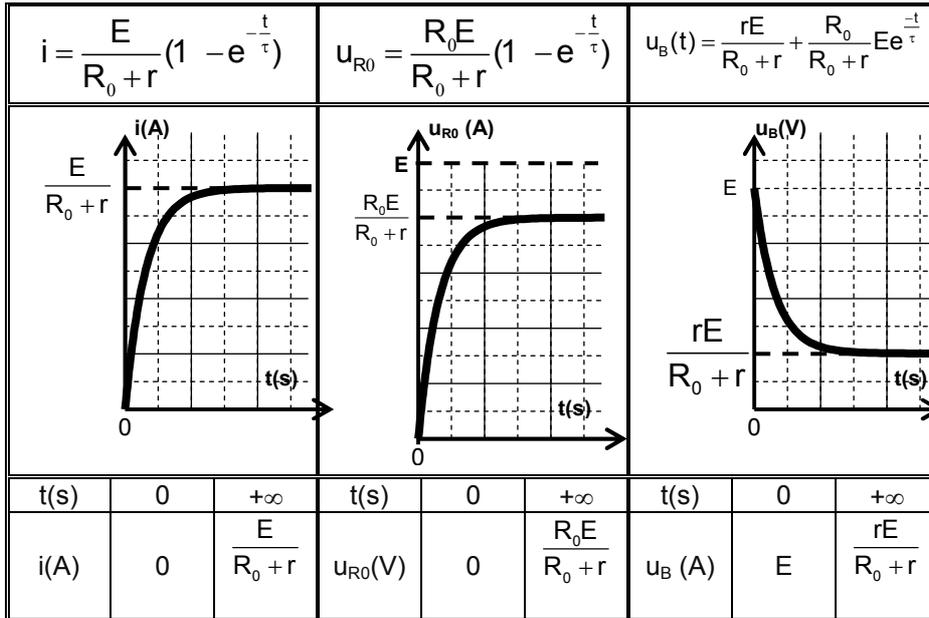
**b-Expression de  $u_B(t)$  :**

$u_B = E - u_{R0} = E - \frac{R_0 E}{R_0 + r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  on va mettre les deux quantités au même dénominateur

$$u_B = \frac{(R_0 + r)E}{R_0 + r} - \frac{R_0 E}{R_0 + r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{R_0 E + rE - R_0 E (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}{R_0 + r} = \frac{R_0 E + rE - R_0 E + R_0 E e^{-\frac{t}{\tau}}}{R_0 + r}$$

$$= \frac{rE + R_0 E e^{-\frac{t}{\tau}}}{R_0 + r} \text{ soit } \boxed{u_B(t) = \frac{rE}{R_0 + r} + \frac{R_0}{R_0 + r} E e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

**5 graphes de  $i(t)$ ,  $u_{R0}(t)$  et de  $u_B(t)$**



**6 La constante de temps  $\tau$**

**a- Définition :**

La constante de temps  $\tau$  est une grandeur caractéristique du dipôle RL, elle nous renseigne sur la rapidité avec laquelle s'effectue l'établissement du courant dans le circuit.

**b-Unité de  $\tau$  :**

$\tau = \frac{L}{R}$  avec  $\begin{cases} *R = \frac{u_R}{i} \text{ donc } R \text{ est en } \frac{V}{A} \\ *L = \frac{u_B}{\frac{di}{dt}} = \frac{u_B dt}{di} \text{ donc } L \text{ est en } \frac{V \cdot s}{A} \end{cases}$  d'où  $\tau$  est en  $\frac{Vs}{\frac{V}{A}} = s$  (seconde) donc  $\tau$  est un temps.

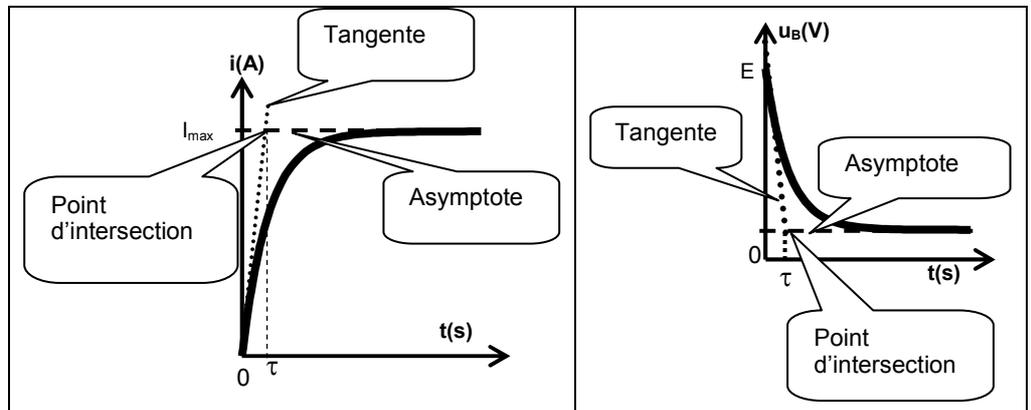
**c- Détermination de  $\tau$  :**

**• Par calcul :**

Ayant les valeurs de R(en  $\Omega$ ) et de L(en H), on peut calculer directement  $\tau$ (en s).

**• Graphiquement :**

**1<sup>ère</sup> méthode (utilisation de la tangente à l'origine) :** on peut montrer que  $\tau$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à la courbe de  $i(t)$  [de même pour  $u_R(t)$  et  $u_B(t)$ ] à la date  $t=0$  avec l'asymptote (lorsque  $t \rightarrow +\infty$ ).



o **2<sup>ème</sup> méthode (lecture graphique) :**

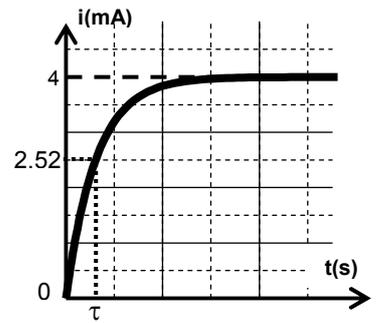
à partir du graphe de  $i(t)$

Pour  $t=\tau$ , quelle est la valeur de  $i$  ?

$$i(\tau) = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) = \frac{E}{R}(1 - e^{-1}) \approx 0,63 \cdot \frac{E}{R} = 0,63 \frac{E}{R_0 + r} = 0,63 I_{\max}$$

Exemple :

On a  $I_{\max} = 4 \text{ mA}$  d'où  $0,63 \cdot 4 = 2,52 \text{ mA}$  donc l'abscisse du point d'ordonnée  $2,52 \text{ mA}$  est égale à  $\tau$



**7** **Durée de l'établissement du courant dans le dipôle RL**

On peut considérer que le courant s'établit dans le dipôle RL lorsque  $i = 0,99 I_{\max} = 0,99 \frac{E}{R_0 + r}$  ce qui donne

$$\text{une durée } t \approx 5\tau = 5 \frac{L}{R_0 + r}$$

La durée de l'établissement de courant augmente :

- $R_0$  ou  $r$  diminue.
- $L$  augmente.

Pour  $t < 5\tau$ , on a le régime transitoire.

Pour  $t \geq 5\tau$ , on a le régime permanent.

**Remarque :**

- la réponse d'un dipôle RL à un échelon de tension  $E$  est un courant continu d'intensité  $I_{\max} = \frac{E}{R}$  qui ne s'établit pas instantanément à cause de l'inductance  $L$  de la bobine ( la bobine s'oppose à l'établissement du courant dans le circuit). Avant d'atteindre le régime permanent, on passe par un régime transitoire.
- On peut déterminer l'expression de  $I_{\max}$  en utilisant l'équation différentielle en régime permanent : en régime permanent  $i = I_{\max} = \text{constante}$  et l'équation différentielle est

$$L \frac{dI_{\max}}{dt} + R I_{\max} = E \text{ or } \frac{dI_{\max}}{dt} = 0 \text{ car } I_{\max} \text{ est constante, d'où : } \boxed{I_{\max} = \frac{E}{R}}$$

- Dans le cas où la bobine est une inductance pure (on remplace dans les expressions précédentes  $r$  par  $0$ ).

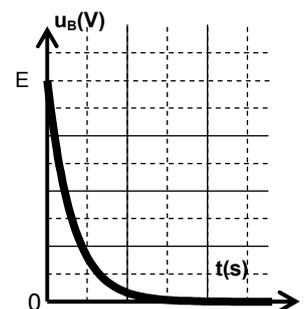
$$\boxed{\tau = \frac{L}{R_0}}$$

$$\boxed{i = \frac{E}{R_0} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$$

$$\boxed{u_{R_0} = E (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})}$$

$$\boxed{u_B = E e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

et le graphe de  $u_B(t)$  est :

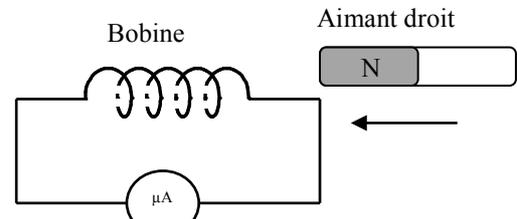




Exercice N° 01

I- Une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable est reliée à un microampèremètre, comme l'indique la figure ci-contre, On rapproche l'aimant vers la bobine,

- 1- Quel est le phénomène observé ?
- 2- Indiquer le sens de circulation du courant induit dans la bobine.
- 3- Préciser l'inducteur et l'induit.



II- Avec la bobine précédente, on branche en série un résistor de résistance  $R=10\text{ K}\Omega$  et un générateur basse fréquence (G.B.F à masse flottante) qui délivre une tension triangulaire alternative. Sur l'écran d'un oscilloscope bicourbe, on visualise la tension  $u_{AB}$  sur la voie  $Y_A$  et la tension  $u_{CB}$  sur la voie  $Y_B$  (figure ci-contre).

1- On note  $i(t)$  l'intensité instantanée du courant qui traverse le circuit, son sens positif choisi est indiqué sur le schéma du montage.

a- Montrer, sans calcul, que la bobine est le siège d'un phénomène d'auto-induction

b- Montrer que la tension aux bornes de la bobine est  $u_{AB} = -\frac{L}{R} \frac{du_{CB}}{dt}$ .

c- Justifier littéralement l'allure de la tension sur la voie  $Y_A$ .

2- Les réglages de l'oscilloscope sont :

Sensibilité verticale de la voie  $Y_A$  :  $0,2\text{V}\cdot\text{div}^{-1}$

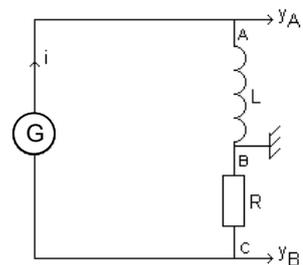
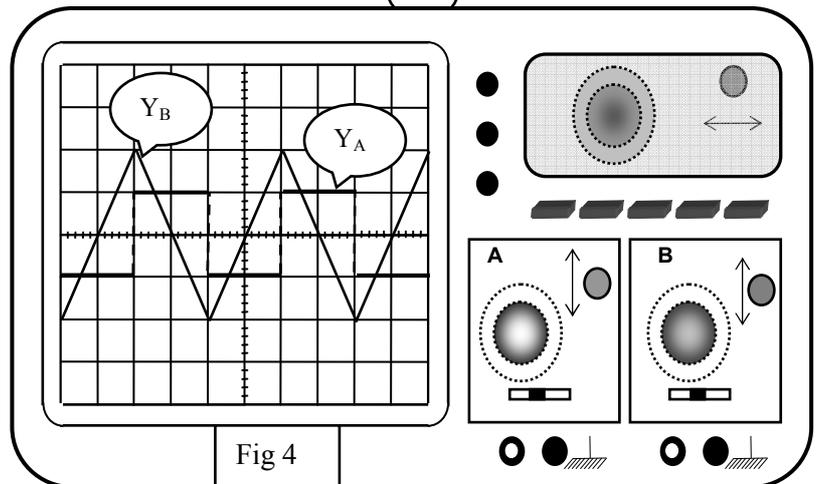
Sensibilité verticale de la voie  $Y_B$  :  $2\text{V}\cdot\text{div}^{-1}$

Sensibilité horizontale :  $0,2\text{ ms}\cdot\text{div}^{-1}$

A partir des oscillogrammes :

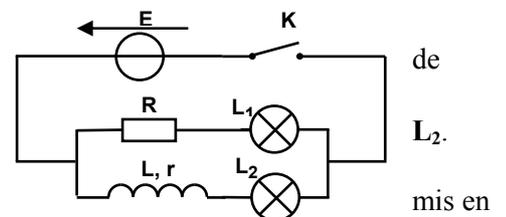
a- Calculer la période  $T$  et la fréquence  $N$  des tensions.

b- Pendant la première demi-période, déterminer les expressions de  $u_{AB}$  et de  $u_{CB}$  en fonction du temps. En déduire la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine. Puis indiquer sa signification physique



Exercice N° 02

1°) Soit le circuit de la figure ci-contre, constitué d'un générateur de tension contenu, d'un interrupteur  $K$ , de 2 lampes identiques  $L_1$  et  $L_2$ , d'un résistor résistance  $R=0,5\Omega$  associé en série avec la lampe  $L_1$  et d'une bobine d'inductance  $L=1\text{H}$  et de résistance  $r=0,5\Omega$  associée en série avec la lampe  $L_2$ . Lorsqu'on ferme l'interrupteur  $K$ , on constate que l'une des deux lampes s'allume après un retard  $\Delta t$ . Identifier cette lampe et expliquer le phénomène jeu.



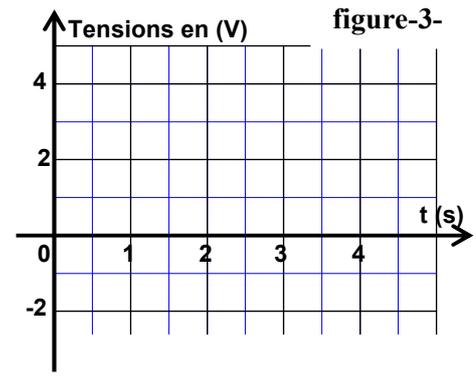
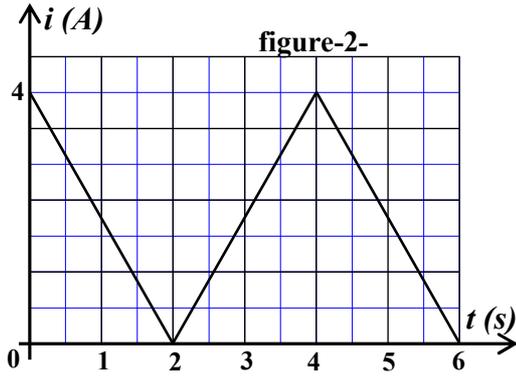
2°) On alimente maintenant la bobine par un générateur de courant variable  $i(t)$  dont la représentation est donnée par la figure-2-

a) Déterminer la période de  $i(t)$  et établir ses expressions sur une période  $T$ .

b) Déterminer les valeurs de la fem induite  $e(t)$  sur une période  $T$

c) En déduire les expressions de la tension  $u_b(t)$  aux bornes de la bobine sur une période  $T$ .

d) Représenter, soigneusement et avec deux couleurs différentes, les tensions  $e(t)$  et  $u_b(t)$  pour  $t \in [0 ; T]$  sur le même graphe donné par la **figure-3-**.



### Exercice N° 03

On se propose d'étudier l'établissement du courant dans un dipôle série comportant une bobine d'inductance  $L$  et une résistance  $r$  et un conducteur ohmique de résistance  $R = 30 \Omega$  lorsque celui-ci est soumis à un échelon de tension de valeur  $E$  délivrée par un générateur de tension idéal. Un oscilloscope à mémo/re, est branché comme l'indique la **figure -1-**, permet d'enregistrer au cours du temps les valeurs des tensions.

1°) A l'instant  $t=0$ , on ferme l'interrupteur  $K$ , et on procède à l'enregistrement. On obtient les courbes  $y_1=f(t)$  et  $y_2=g(t)$  (**figure -2-**).

a- Quelles sont les grandeurs électriques observées sur les voies A et B ? Identifier  $y_1$  et  $y_2$ . Justifier la réponse.

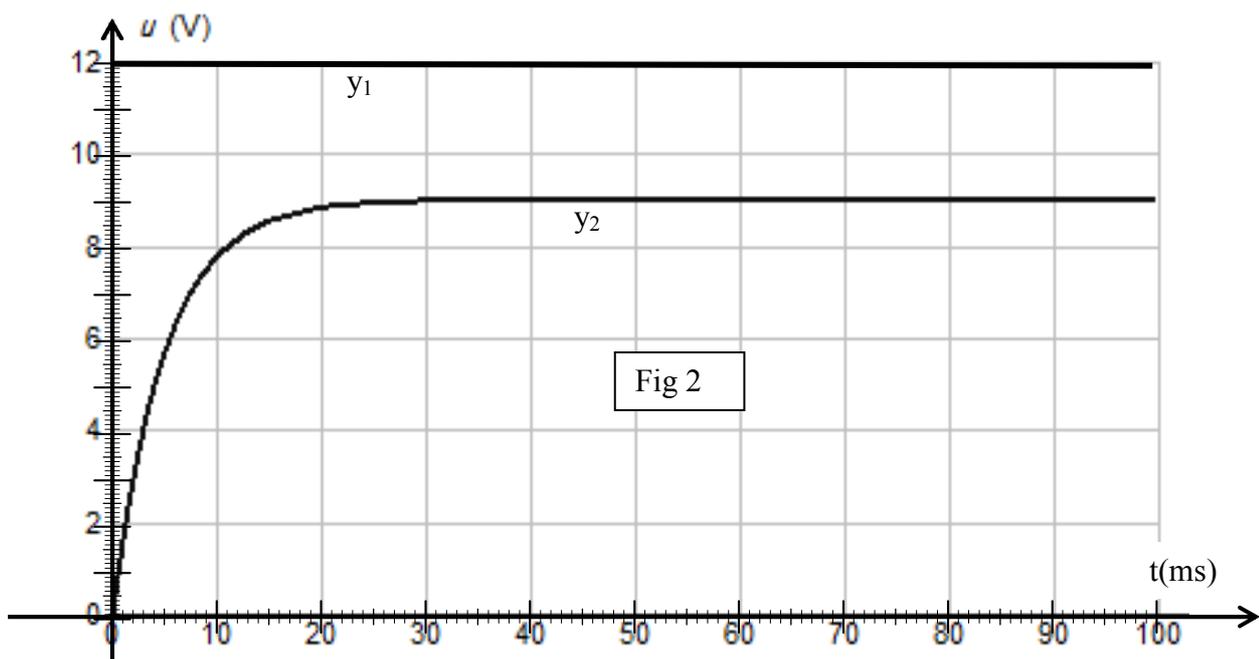
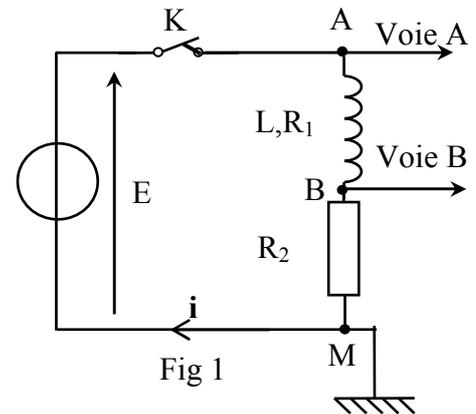
b- Quelle est la courbe qui permet de déduire la variation de l'intensité de courant  $i$  au cours du temps ? Expliquer brièvement le comportement électrique de la bobine.

c- Prélever du graphe la valeur de la force électromotrice du générateur.

2°) Lorsque le régime permanent est établi, l'intensité  $i$  prend la valeur  $I_p$ , tandis que  $y_2$  prend la valeur  $Y_p$ .

a- Donner, dans ces conditions, les expressions littérales des tensions  $u_{AM}$ ,  $u_{AB}$  et  $u_{BM}$ .

b- Montrer, en utilisant les courbes de la figure 2, que la bobine a une résistance  $R_1$  non nulle.



c- Calculer :

- L'intensité  $I_p$ .
- La résistance  $R_l$  de la bobine.

3°) Le circuit étudié peut être caractérisé par une constante de temps  $\tau$ , qui permet d'évaluer la durée nécessaire à l'établissement d'un régime permanent dans ce circuit. Pour un circuit (RL), on pose  $\tau=L/R$ .

a- Montrer que  $\tau$  est homogène à un temps.

b- Que représentent R dans le circuit étudié ? Quelle est sa valeur numérique ?

4°) On admet que, si  $i(t)$  est l'intensité du courant dans le circuit à un instant  $t$ , alors :  $i(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$ , montrer que  $A = I_p$ .

5°)

a- Déterminer graphiquement  $\tau$ .

b- En déduire la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine, et calculer l'énergie emmagasinée par celle-ci quand le régime permanent est établi.

### Exercice N° 04

On se propose d'étudier l'établissement du courant dans un dipôle comportant une bobine et un conducteur ohmique lorsque celui-ci est soumis à un échelon de tension de valeur  $E$ . Le conducteur ohmique a une résistance  $R$  variable. La bobine sans noyau de fer doux, a une inductance  $L$  variable ; et une résistance  $r$ . Les valeurs  $E$ ,  $R$ ,  $L$  et  $r$  sont inconnues.

On dispose d'un oscilloscope numérique qui est branché comme l'indique la figure de chaque expérience.

#### A- Etude analytique :

1°) Etablir l'équation différentielle du circuit RL régissant les variations de la tension  $u_R$  aux bornes du résistor.

2°) Montrer que la solution de l'équation différentielle précédemment établie peut être mise sous la forme :  $u_R(t) = A(1 - e^{-\alpha t})$ . Identifier  $A$  et  $\alpha$ . En déduire l'expression de  $i(t)$ .

3°) En utilisant la loi des mailles, Etablir l'expression de la tension  $u_B$  aux bornes de la bobine en fonction de  $E$ ,  $r$ ,  $R$ ,  $L$  et  $t$ .

4°) Représenter l'allure des tensions  $u_R$  et  $u_B$  en précisant leurs valeurs initiales et finales en fonction de  $E$ ,  $r$ ,  $R$ .

#### B- Etude expérimentale :

I-

On réalise une première expérience (**expérience A**) pour laquelle  $L = L_1$  ;  $R = R_1$  ;  $E = E_1$ . Le schéma du circuit est représenté par la figure ci-contre :

À l'instant de date  $t = 0$  s, on ferme l'interrupteur  $K$ , lorsque le régime permanent est établi l'ampèremètre indique la valeur  $I = 0,20$  A.

1°) Quelles sont les tensions visualisées sur l'écran de l'oscilloscope.

2°) L'oscillogramme obtenu est donné par la **figure 1** :

a- Prélever du graphe les valeurs de  $E_1$  et de  $u_{Rmax}$ .

En déduire  $r$  et  $R_1$ .

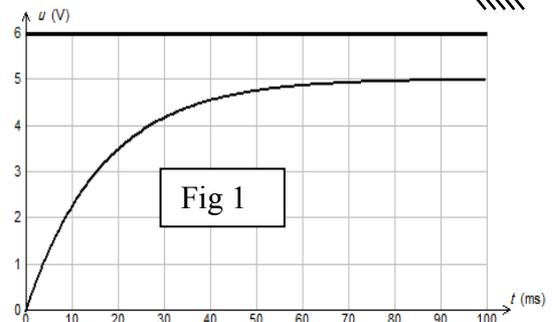
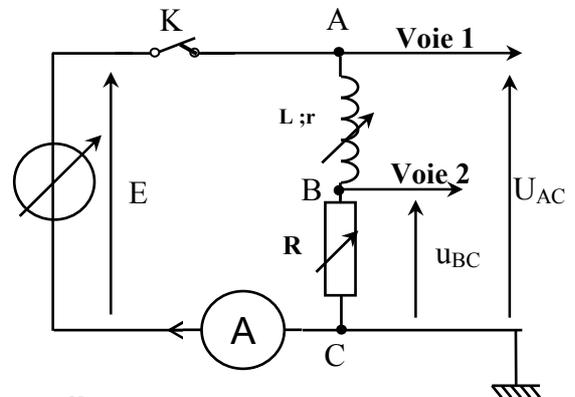
b- Ecrire l'expression de la constante de temps  $\tau_1$ . Montrer qu'elle est homogène à un temps.

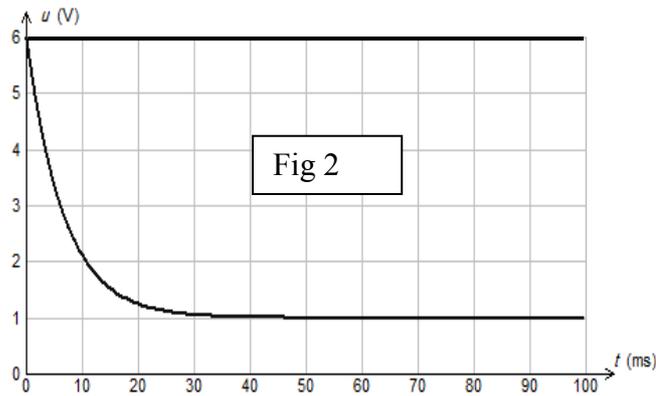
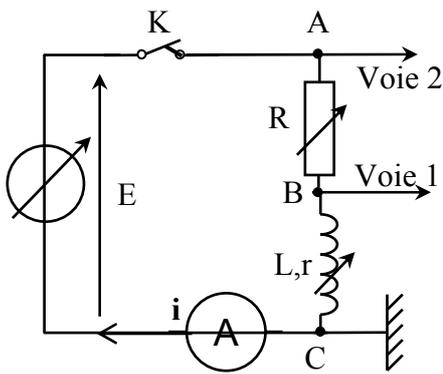
c- Déterminer graphiquement  $\tau_1$ . Déduire la valeur de  $L_1$ .

d- A quelle date le régime permanent est établi. Comment se comporte la bobine à partir de cette date.

II-

On réalise une deuxième expérience (**expérience B**) en faisant varier l'une des caractéristiques du circuit  $R$  ou  $L$  et en changeant les branchements de l'oscilloscope. Le schéma du circuit et l'oscillogramme obtenu sur l'écran de l'oscilloscope (**fig 2**) sont donnés ci-dessous :





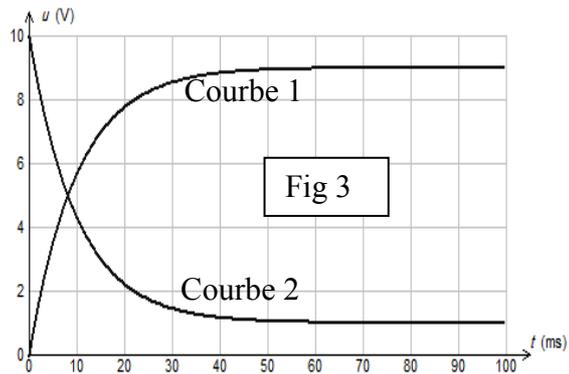
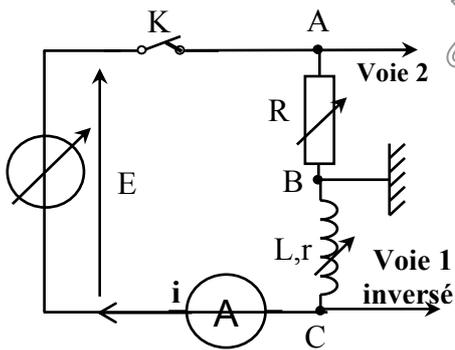
1°) Quelles sont les tensions visualisées sur l'écran de l'oscilloscope ?

2°) Déterminer graphiquement la nouvelle valeur de la constante de temps  $\tau_2$ . Peut-on affirmer laquelle des valeurs des deux grandeurs  $R$  ou  $L$  a été changée ?

3°) En examinant le graphe de la **fig-2**, déterminer la grandeur dont la valeur a été variée ? En déduire la nouvelle valeur de cette grandeur.

### III-

Au cours d'une troisième expérience (**expérience C**) on fait varier les valeurs de deux des grandeurs  $R$ ,  $L$  et  $E$ . On change les branchements de l'oscilloscope. Le schéma du circuit et l'oscillogramme (**fig3**) obtenu sur l'écran de l'oscilloscope sont donnés ci-dessous :



1°) Identifier les courbes 1 et 2.

2°) Déterminer graphiquement et en le justifiant :

- la valeur de la f.é.m.  $E$  du générateur.
- La valeur de la constante de temps  $\tau_3$ .

3°) Quelles sont les deux grandeurs dont les valeurs ont été changées ? Justifier la réponse.

4°) Déterminer la date correspondant à  $u_R = u_L$ , vérifier cette valeur graphiquement.

# OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES

## A-LES OSCILLATIONS ELECTRIQUES LIBRES AMORTIES

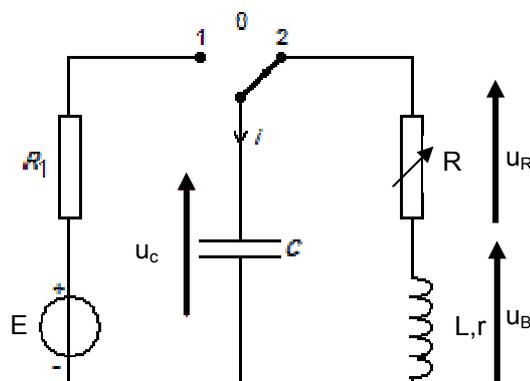
### I Production des oscillations libres amorties

On place l'interrupteur sur la position 1 pour charger le condensateur puis on le place sur la position 2 pour avoir les oscillations électriques libres amorties ( en cas de résistance R faible).

Avant la décharge, la charge initiale du condensateur est  $Q_0 = C.E$

Cette décharge s'appelle décharge oscillante car elle s'effectue dans une bobine.

Avec  $R=30 \Omega$  (faible), on obtient le graphe suivant :



### II Influence de l'amortissement

On répète la même expérience en augmentant la valeur de la résistance R, on obtient les graphes suivants :

|                |  |                            |
|----------------|--|----------------------------|
| $R=50 \Omega$  |  | Régime<br>pseudopériodique |
| $R=100 \Omega$ |  | Régime<br>apériodique      |
| $R=200 \Omega$ |  | Régime<br>apériodique      |

Pour un amortissement faible, on obtient le régime pseudopériodique, en augmentant l'amortissement (la résistance R) :

- Le nombre d'oscillations diminue.
- La pseudo période augmente.
- On passe du régime pseudopériodique au régime apériodique.

**Remarque :** le régime critique correspond au passage le plus rapide de  $u_c$  vers sa valeur nulle et sans oscillations.

II

## Equation différentielle

D'après la loi des mailles(K est en position 2) :

$$u_B + u_R + u_C = 0 \text{ soit } L \frac{di}{dt} + ri + Ri + u_C = 0 \Rightarrow L \frac{di}{dt} + ri + Ri + \frac{q}{C} = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + (R+r)i + \frac{q}{C} = 0 \text{ avec } i = \frac{dq}{dt} \text{ et } \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ donc :}$$

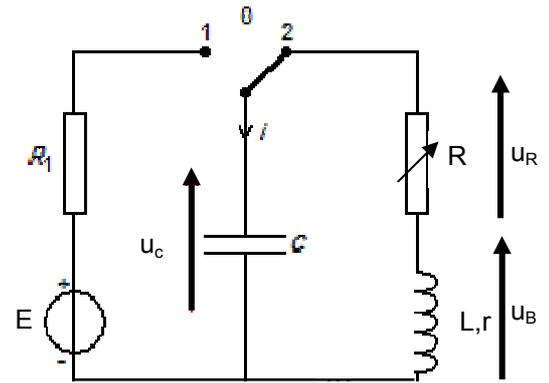
$$L \frac{d^2q}{dt^2} + (R+r) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{(R+r)}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0$$

C'est l'équation différentielle qui régit les variations de la charge  $q(t)$  du condensateur en régime libre amorti.

**Remarque** : on peut établir l'équation différentielle régissant les variations de la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur en remplaçant  $q=Cu_c$

$$L \frac{d^2(Cu_c)}{dt^2} + (R+r) \frac{d(Cu_c)}{dt} + \frac{Cu_c}{C} = 0 \Rightarrow LC \frac{d^2u_c}{dt^2} + (R+r)C \frac{du_c}{dt} + u_c = 0 \text{ divisons cette équation par LC}$$

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{(R+r)}{L} \frac{du_c}{dt} + \frac{u_c}{LC} = 0$$



III

## Non conservation de l'énergie totale d'un circuit RLC série

L'énergie totale  $E = E_c + E_L$  avec

$E_c$  : énergie électrique emmagasinée dans le condensateur.

$E_L$  : énergie magnétique emmagasinée dans la bobine.

$$E = \frac{1}{2} C u_c^2 + \frac{1}{2} L i^2$$

**Rappel** : pour faire l'étude de variation d'une fonction (en maths) on calcule sa dérivée.

De même ici pour voir comment varie l'énergie totale  $E$ , on doit calculer sa dérivée :

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} C \frac{d(u_c^2)}{dt} + \frac{1}{2} L \frac{d(i^2)}{dt} \text{ avec } u_c(t) \text{ et } i(t) \text{ sont deux fonctions de temps (et non pas des valeurs constantes).}$$

$$\text{Rappel : dérivée d'une fonction carré : } (f^2(t))' = \frac{d(f^2)}{dt} = 2f(t)f'(t)$$

$$\frac{d(u_c^2)}{dt} = 2u_c \frac{du_c}{dt} \text{ et } \frac{d(i^2)}{dt} = 2i \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} C 2u_c \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{2} L 2i \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{dE}{dt} = u_c C \frac{du_c}{dt} + Li \frac{di}{dt} \text{ or } C \frac{du_c}{dt} = i$$

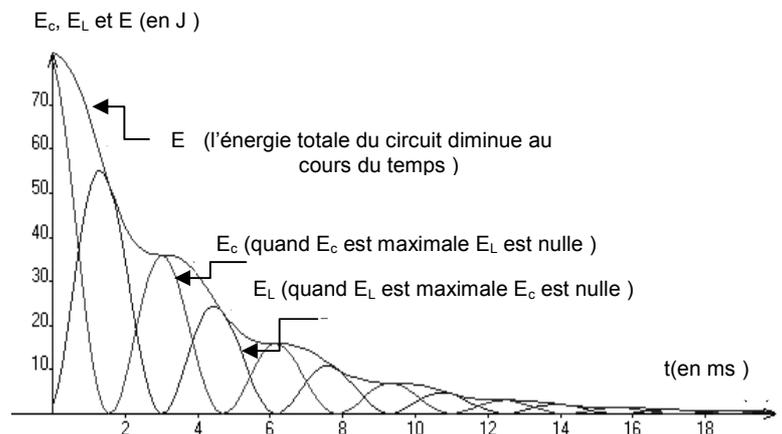
$$\text{donc } \frac{dE}{dt} = u_c i + Li \frac{di}{dt} = i(u_c + L \frac{di}{dt}) \text{ d'après la loi}$$

$$\text{des mailles } u_c + L \frac{di}{dt} = -(R+r)i$$

$$\frac{dE}{dt} = i(-(R+r)i) = -(R+r)i^2$$

$$\frac{dE}{dt} < 0 \text{ donc } E \text{ est décroissante.}$$

L'énergie totale d'un circuit RLC série diminue au cours du temps.



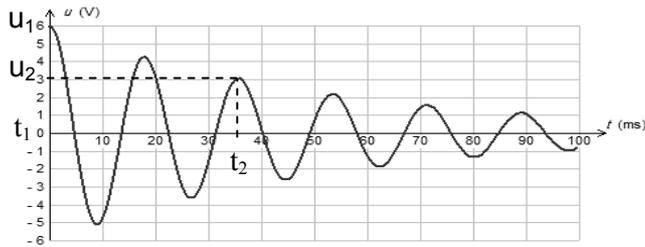
IV

**Calcul de l'énergie perdue pendant une durée  $\Delta t = t_2 - t_1$**

**Exemple :** on prend  $t_1 = 0$  s et  $t_2 = 35$  ms. En ces deux dates,  $u_C$  est maximale donc  $E_e$  est maximale d'où  $E_L$  est nulle (car lorsque  $u_C$  est maximale  $\frac{du_C}{dt} = 0$  or  $i = C \frac{du_C}{dt}$  donc  $i=0$  d'où  $E_L = 0$ ).

A  $t_1$ ,  $E_1 = E_e(t=t_1) = \frac{1}{2} C u_1^2$  et à  $t=t_2$  on a  $E_2 = E_e(t=t_2) = \frac{1}{2} C u_2^2$  donc l'énergie dissipée par effet joule dans  $(R + r)$  ou perdue est égale à

$$E_{\text{dissipée}} = E_1 - E_2 = \frac{1}{2} C (u_1^2 - u_2^2).$$



**B- LES OSCILLATIONS LIBRES NON AMORTIES**

I

**Production des oscillations électriques libres non amorties**

**1 L'interrupteur  $K_1$  est fermé,  $K_2$  est ouvert**

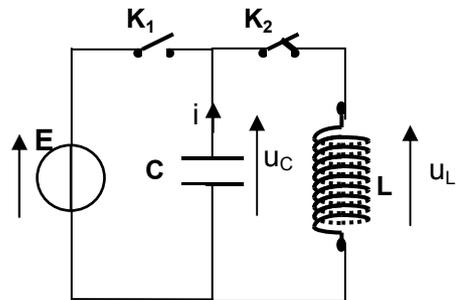
On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous, lorsque le condensateur se charge complètement, sa charge est maximale  $Q_{\text{max}}$ . D'après la loi des mailles :

$$u_G - u_C = 0$$

$$E - \frac{Q_{\text{max}}}{C} = 0 \Rightarrow Q_{\text{max}} = CE$$

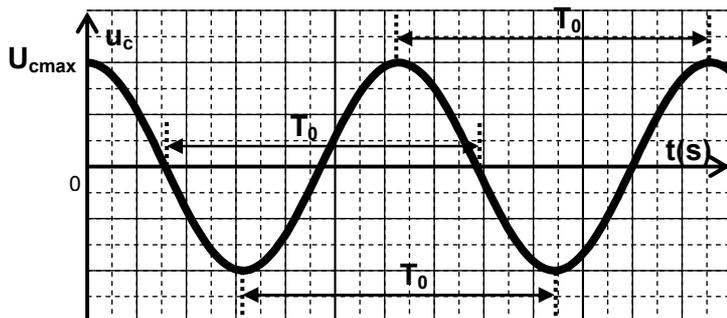
L'énergie électrique emmagasinée par le condensateur est

$$E_e = \frac{1}{2} \frac{Q_{\text{max}}^2}{C} = \frac{1}{2} CE^2 \text{ avec } E : \text{f.e.m}$$



**2 L'interrupteur  $K_1$  est ouvert,  $K_2$  est fermé**

Le condensateur se décharge dans une inductance pure, on obtient des oscillations électriques libres non amorties( oscillations sinusoïdales). Voila les variations de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur :



Avec  $T_0$  est la période propre du circuit LC.

## II

**Equation différentielle**

d'après la loi des mailles (  $K_1$  est ouvert et  $K_2$  est fermé ) : la décharge du condensateur dans une inductance pure.

$$u_c + u_L = 0 \Rightarrow \frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0 \text{ or } i = \frac{dq}{dt} \text{ donc } \frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2} \text{ soit } \frac{q}{C} + L \frac{d^2q}{dt^2} = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = 0}$$

Equation différentielle des oscillations électriques libres non amorties de pulsation propre  $\omega_0$  tel que

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \text{ et de période propre } \boxed{T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}}$$

## III

**Solution de l'équation différentielle**

L'équation différentielle précédente a pour solution :  $\boxed{q(t) = Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_q)}$  avec :

$Q_{\max}$  : amplitude.

$\omega_0 t + \varphi_q$  : phase de la charge  $q(t)$  à la date  $t$ .

$\varphi_q$  : phase initiale de la charge  $q(t)$ . ( phase à  $t=0$  )

On peut avoir de même l'expression de  $i(t) = \frac{dq}{dt}$  :

**Rappel maths** : dérivée des fonctions sinus et cosinus.

$$(\sin(ax + b))' = a \cos(ax + b) \text{ or } \cos\alpha = \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= a \sin\left(ax + b + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(\cos(ax + b))' = -a \sin(ax + b).$$

$$q(t) = Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_q) \Rightarrow i(t) = \frac{dq}{dt} \text{ et } i(t) = \omega_0 Q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_q) = \omega_0 Q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_q + \pi/2).$$

Or  $i(t)$  comme toute fonction sinusoïdale elle s'écrit sous la forme  $\boxed{i(t) = I_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_i)}$

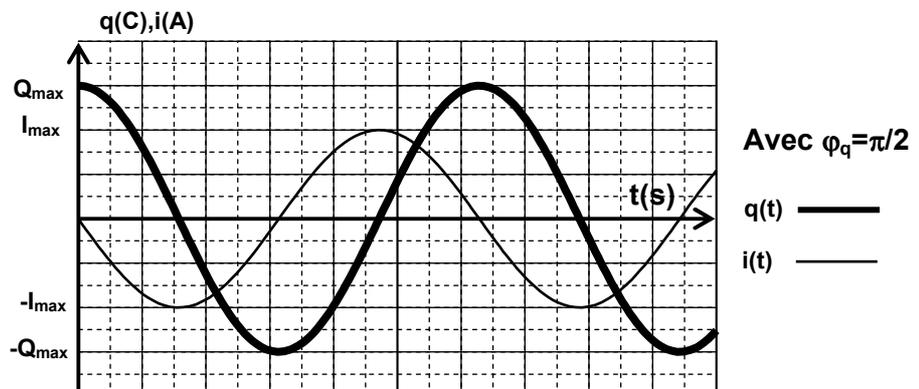
$$\text{Donc } \begin{cases} I_{\max} = \omega_0 Q_{\max} \\ \varphi_i = \varphi_q + \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

D'après le graphe, on remarque que lorsque :

$$\boxed{q = \pm Q_{\max}; i = 0} \text{ et } \boxed{i = \pm I_{\max}; q = 0}$$

càd lorsque :

- le condensateur est complètement chargé, la bobine est vide.
- le condensateur est vide, le courant dans la bobine atteint sa valeur maximale.



## IV

**Solution de l'équation différentielle**

$E = E_e + E_L$ , l'énergie électrique peut être notée  $E_e$  ou  $E_c$ .

$$= \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{Q_{\max}^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + L\omega_0^2 Q_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q) \text{ or } \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$= \frac{Q_{\max}^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + L \frac{1}{LC} Q_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q)$$

$$= \frac{Q_{\max}^2}{2C} (\sin^2(\omega_0 t + \varphi_q) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi_q))$$

$$E = \frac{1}{2C} Q_{\max}^2$$

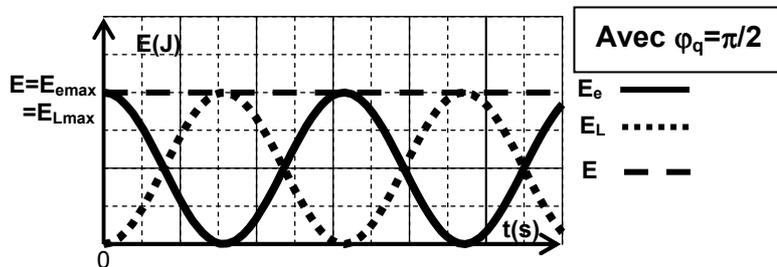
or  $\frac{1}{C} = L\omega_0^2$  donc  $E = \frac{L}{2} \omega_0^2 Q_{\max}^2$  et comme  $I_{\max} = \omega_0 Q_{\max}$  d'où :  $E = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$

## V Graphes des énergies

### 1 Graphes de $E_e(t)$ , $E_L(t)$ et $E(t)$

$$E_e = \frac{Q_{\max}^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_q), \quad E_L = \frac{L I_{\max}^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_i) \quad \text{soit}$$

$$E = \frac{1}{2} \frac{Q_{\max}^2}{C} = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 = \text{constante}$$



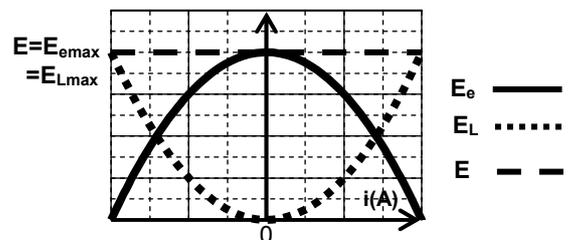
### 2 Graphes de $E_e(i)$ , $E_L(i)$ et $E(i)$

$$E_L(i) = \frac{L i^2}{2} = a i^2 = f(i)$$

donc  $E_L$  est une fonction parabolique de coefficient ( $a > 0$ )

$$E_e(i) = E - E_L = \frac{L I_{\max}^2}{2} - \frac{L i^2}{2} = -\frac{L i^2}{2} + \frac{L I_{\max}^2}{2} = -a i^2 + b$$

donc  $E_e = g(i)$  est une fonction parabolique ( $-a < 0$ )



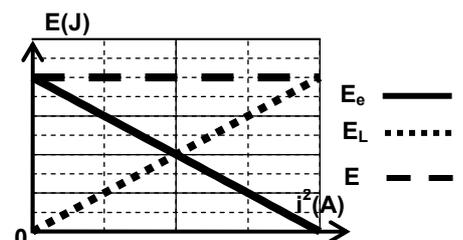
### 3 Graphes de $E_e(i^2)$ , $E_L(i^2)$ et $E(i^2)$

$$E_L(i^2) = \frac{L i^2}{2} = a i^2$$

donc  $E_L$  est une fonction linéaire croissante ( $a > 0$ ).

$$E_e(i^2) = E - E_L = -\frac{L i^2}{2} + \frac{L I_{\max}^2}{2} = -a i^2 + b$$

donc  $E_e$  est une fonction affine décroissante ( $-a < 0$ ).

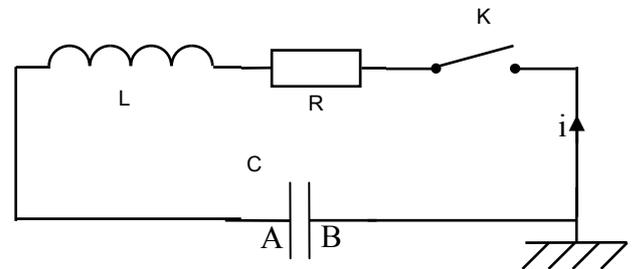




**Exercice N°1**

Le circuit électrique de la figure suivante comportant un condensateur de capacité  $C=3\ \mu\text{F}$  initialement chargé, une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable, un interrupteur  $K$  et un conducteur ohmique de résistance  $R$ .

A la date  $t_0=0$  on ferme  $K$  et simultanément un dispositif d'acquisition informatisé se déclenche pour enregistrer la courbe de la figure 4 représentant les variations de la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur.



1- Expliquer brièvement l'expression soulignée : le circuit est le siège **d'oscillations électriques libres amorties**.

2- En se servant du graphe, déterminer la pseudo période  $T$ .

3- Calculer la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine sachant que les amortissements sont faibles et qu'on peut considérer que la pseudopériode est pratiquement égale à la période propre du circuit  $T_0$ . avec  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ .

4- Etablir l'équation différentielle régissant les variations de la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur au cours du temps.

5-

a- Rappeler les expressions des énergies électrique  $E_c$  et magnétique  $E_L$  emmagasinées respectivement par le condensateur et par la bobine à une date  $t$ .

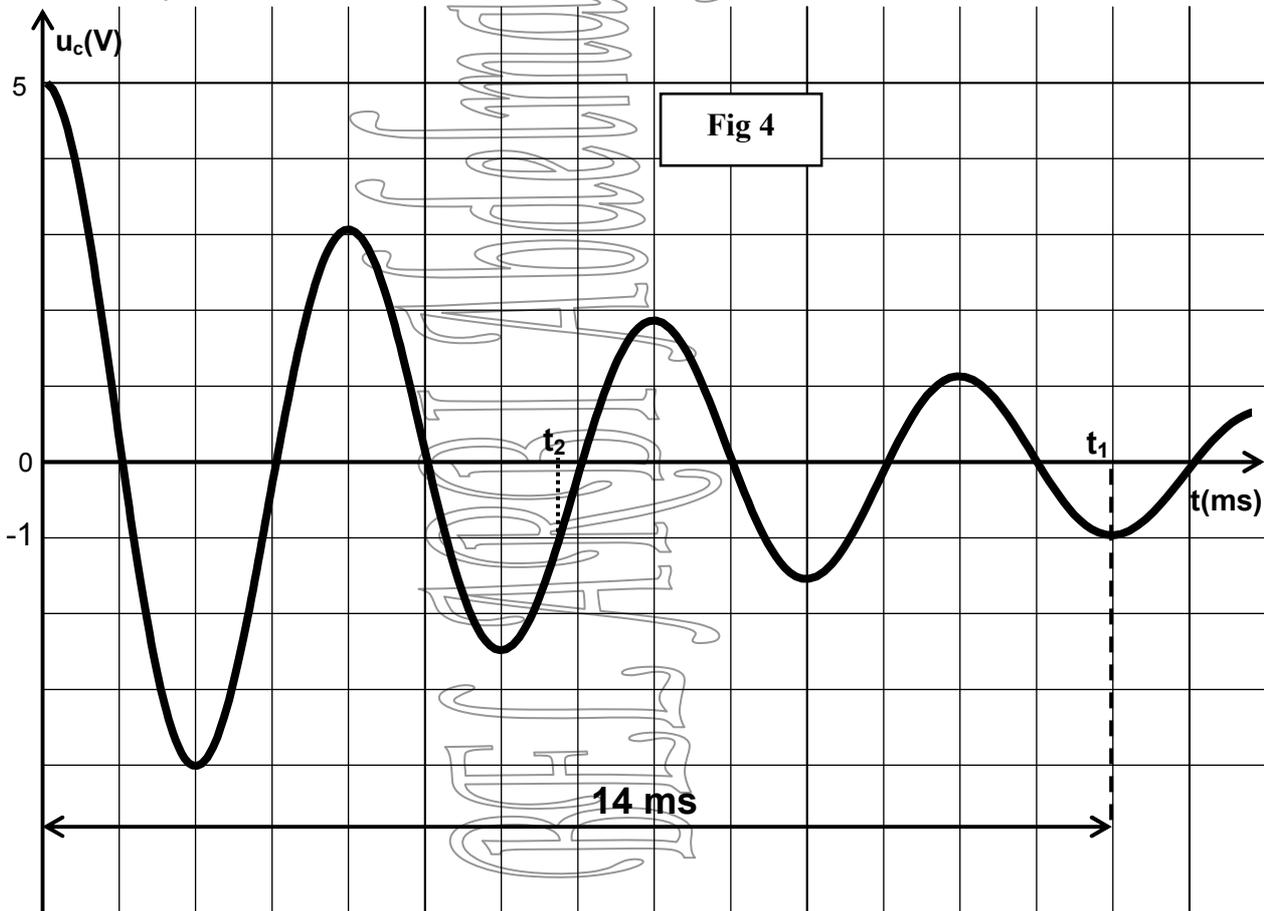
b- Montrer que l'énergie totale  $E$  diminue au cours du temps. Interpréter cette diminution.

c- Calculer l'énergie dissipée par effet joule dans les résistors entre les instants  $t_0=0$  et  $t_1$ . (Voir figure 4).

6-

a- Déterminer, à la date  $t_2$ , le signe de la charge de l'armature A du condensateur.

Représenter, en le justifiant, le sens du courant réel à la date  $t_2$  sur un schéma du circuit.



**Fig 4**

## Exercice N°2

On considère le circuit électrique de la figure 1 comportant un condensateur de capacité  $C=20\ \mu\text{F}$ , une bobine d'inductance  $L$  et de résistance négligeable, un interrupteur  $K$  et un conducteur ohmique de résistance variable.  $K$  étant ouvert et le condensateur est initialement chargé.

**A la date  $t_0=0$  on ferme  $K$** , on fixe  $R$  à  $20\ \Omega$ . le circuit est alors le siège d'oscillations électriques. A l'aide d'un oscilloscope numérique branché comme l'indique la figure 1, on obtient les courbes 1 et 2 de la figure 2.

7- En justifiant la réponse, attribuer à chaque courbe la tension électrique correspondante.

8- a- Expliquer les termes soulignés : Oscillations électriques libres amorties.

b- De quel régime s'agit-il ?

d- Déterminer graphiquement

- la pseudo période  $T$ .

- La valeur de l'intensité du courant à la

date  $t_1 = \frac{5T}{4}$ . Quel est le sens réel du

courant ? Comment se comporte le condensateur entre les dates  $t=T$  et  $t_1$  ?

9- a- Etablir l'équation différentielle régissant les variations de la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur au cours du temps.

b- Donner l'expression de l'énergie électromagnétique  $E$  du circuit.

c- Montrer que  $E$  diminue au cours du temps. Interpréter cette diminution.

d- Calculer la valeur de  $E$  à la date  $t_1=3,5T$ .

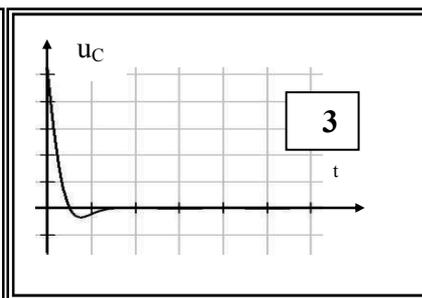
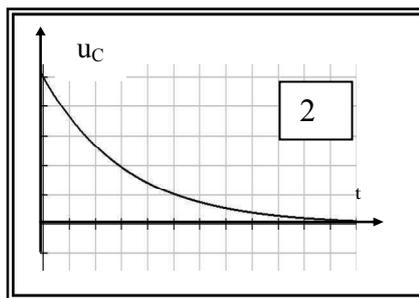
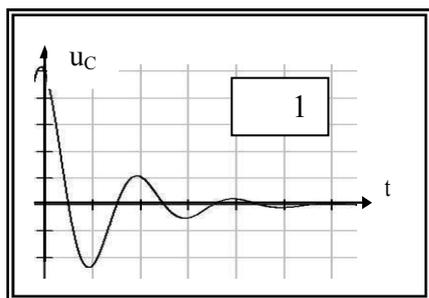
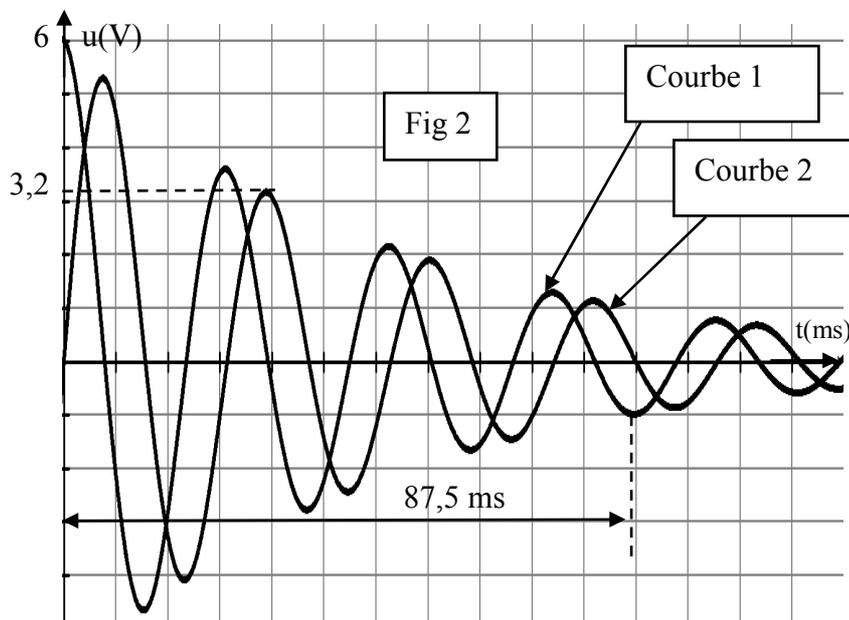
e- Déduire la valeur de l'énergie  $W$  dissipée par effet joule dans le résistor  $R$  entre les instants  $t_0=0\text{s}$  et  $t_1=3,5T$ .

10- Les graphes 1, 2 et 3 correspondent à trois valeurs différentes de la résistance  $R$  notées respectivement  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

a- Comparer ces résistances.

b- Nommer le régime dans chaque cas.

c- Lun des graphes correspond au passage le plus rapide de la tension  $u_C$  de sa valeur maximale à sa valeur nulle sans effectuer d'oscillations. Lequel ?



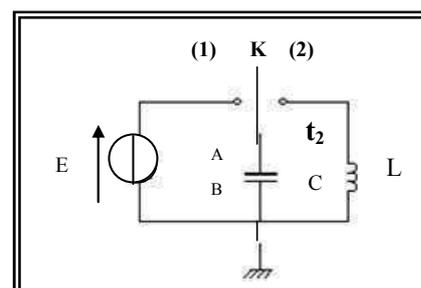
### EXERCICE N°3:

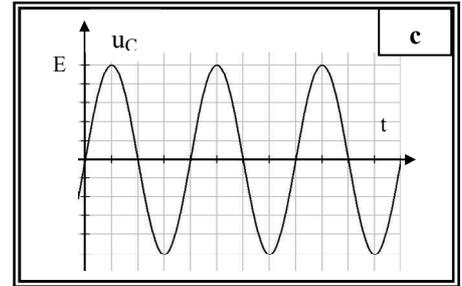
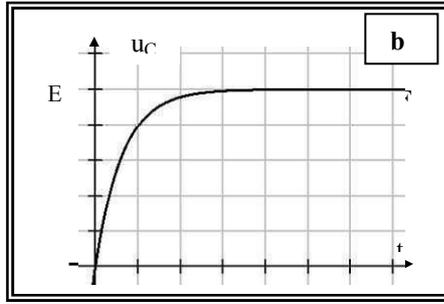
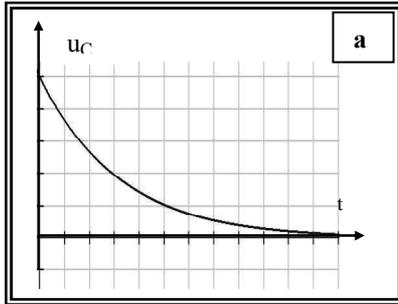
Le montage de la figure ci contre, comprend:

- Un générateur de f.e.m  $E$  et de résistance négligeable.
- Un condensateur de capacité  $C$ .
- Une bobine purement inductive d'inductance  $L$ .

1) a- On ferme le commutateur  $K$  sur la position (1) et on visualise à l'aide d'un oscilloscope la tension  $u_C(t)$ .

On obtient l'une des courbes (a), (b) et (c), de la figure suivante.





Préciser on le justifiant, la courbe visualisée.

b- Exprimer la charge maximale  $Q_0$  du condensateur et l'énergie maximale  $E_0$  emmagasinée par le condensateur en fonction de  $C$  et  $E$ .

2) On bascule  $K$  sur la position (2) et on visualise la tension  $u_L(t)$  aux bornes de la bobine. On obtient la courbe ci-contre.

a- Etablir l'équation différentielle qui régit la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur. Déduire la nature des oscillations.

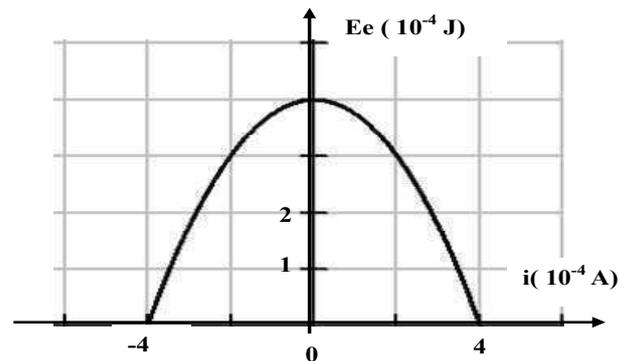
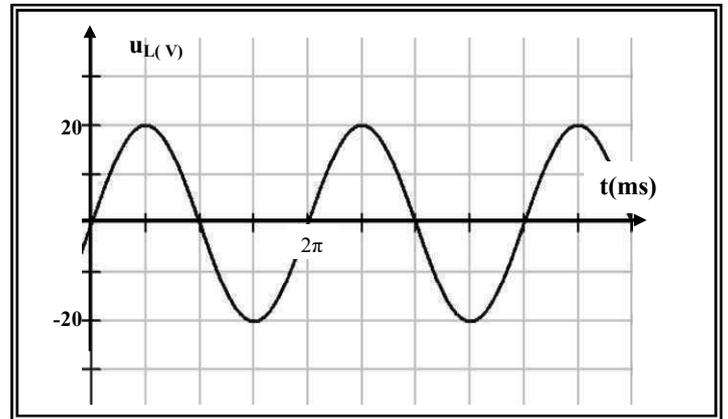
b- Déterminer à partir de la courbe l'expression de  $u_L(t)$ .

c- Déduire l'expression de  $u_C(t)$  et préciser la valeur de la f.e.m  $E$  du générateur.

3) a- Montrer que l'énergie totale de l'oscillateur se conserve et quelle est égale à  $E_0$  de la question 1)-b-). b- La courbe suivante représente la variation de l'énergie électrique  $E_C$  emmagasinée dans le condensateur en fonction de l'intensité  $i$  du courant. Justifier l'allure de cette courbe.

c- déterminer :

- c-1- L'intensité maximale  $I_{max}$  du courant.
- c-2- L'énergie totale  $E_0$ .
- c-3- L'inductance  $L$  de la bobine, la capacité  $C$  du condensateur et la charge maximale  $Q_0$ .

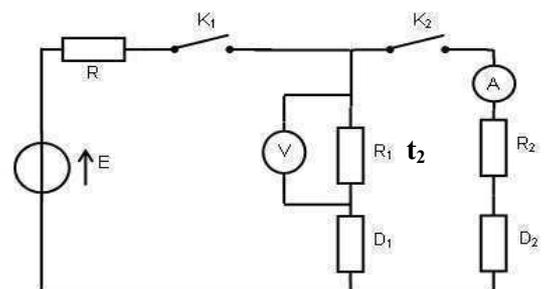


#### EXERCICE N°4:

Un circuit électrique comporte :

- Un générateur idéal de tension de fem  $E$ .
- Trois conducteurs ohmiques de résistances  $R$ ,  $R_1$  et  $R_2$  ( $R_2$  variable).
- Deux dipôles  $D_1$  et  $D_2$  l'un est un condensateur de capacité  $C$  et l'autre une bobine d'inductance  $L=1$  H et de résistance  $r$ .
- Deux interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$ .
- Un ampèremètre  $A$  et un voltmètre  $V$ .

branchés comme l'indique le schéma de la figure suivante :



- I- Les interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$  sont fermés ; lorsque le courant électrique s'établit dans le circuit (càd en régime permanent) on remarque que l'ampèremètre  $A$  indique une intensité constante  **$I$  non nulle** et le voltmètre  $V$  indique une tension nulle.

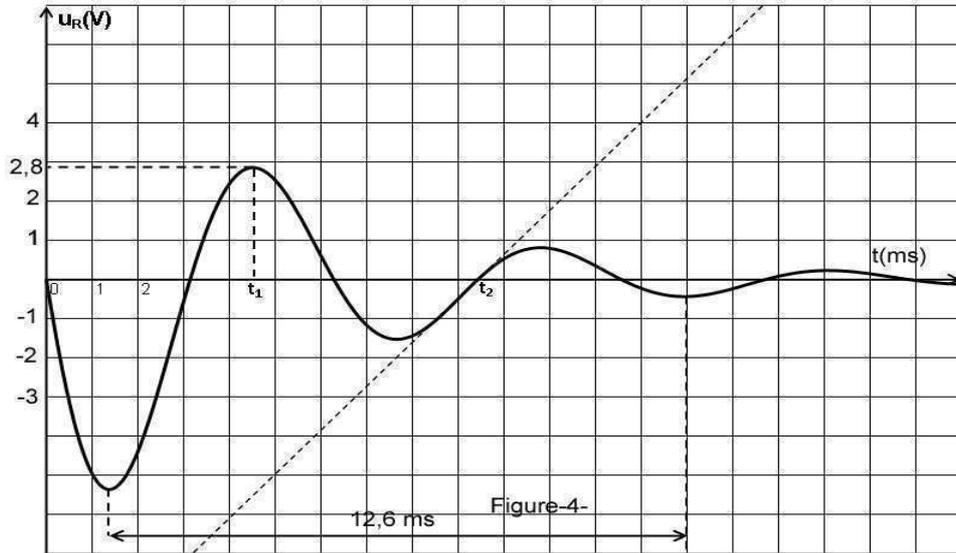
Montrer que le dipôle  $D_1$  est un condensateur et que le dipôle  $D_2$  est une bobine.

II- On ouvre l'interrupteur  $K_2$ .

1- montrer que  $U_{D1}=E$ .

2- On ouvre  $K_1$  et à un instant pris comme origine de temps on ferme  $K_2$ . Quel est le phénomène observé ?

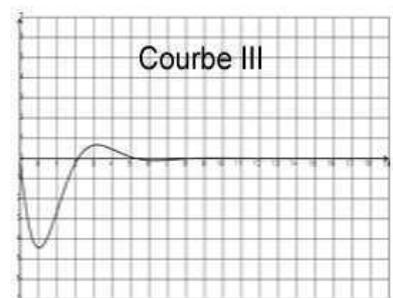
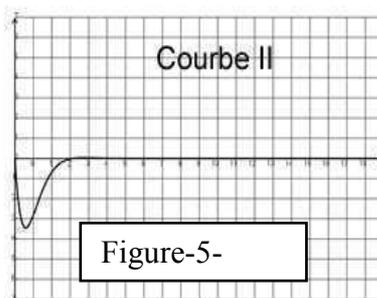
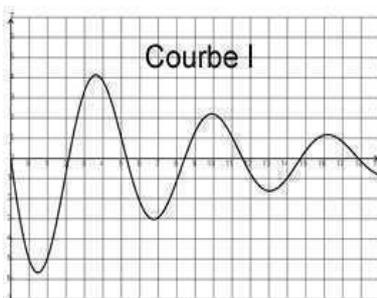
3- On donne le graphe d'évolution de la tension  $u_{R2}(t)$  aux bornes du résistor  $R_2$  en fonction du temps.



- a- Dans quel régime fonctionne le circuit ?
  - b- Prélèver la valeur de la pseudo-période  $T$ .
  - c- La résistance totale du circuit étant petite, ce qui nous permet d'écrire  $T=2\pi\sqrt{LC}$ . Calculer la valeur de la capacité  $C$  du condensateur.
- 4- Etablir l'équation différentielle régissant les variations de  $u_{R_2}$ .
  - 5-
    - a- Montrer que l'énergie électromagnétique du circuit diminue au cours du temps.
    - b- Interpréter cette diminution.
  - 6- On considère les instants  $t_1$  et  $t_2$  indiqués sur les graphes, montrer que l'énergie totale du circuit à l'instant :
    - $t_1$  est  $E_1 = E(t_1) = \frac{u_{R_2}^2(t_1)}{2R_2^2} \cdot (C(R_1+R_2+r)^2 + L)$ .
    - $t_2$  est  $E_2 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \frac{L^2}{R_2^2} \left( \frac{du_{R_2}}{dt} \right)^2$ .

III on répète l'expérience précédente pour trois valeurs de la résistance  $R_2$  notées  $R_{2a}$ ,  $R_{2b}$  et  $R_{2c}$ , on obtient les chronogrammes suivants I ; II et III ( figure 5 ) :

- a- Nommer le régime correspondant à chaque chronogramme.
- b- Comparer, en le justifiant les trois valeurs de la résistance  $R_2$ .

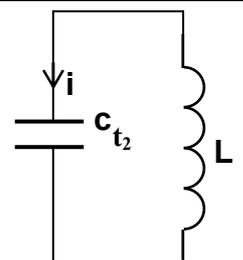


### EXERCICE N°5:

Un condensateur de capacité  $C$  est préalablement chargé à l'aide d'un générateur de tension délivrant à ses bornes une tension constante  $U=10\text{ V}$ .

A un instant pris comme origine de temps on relie le condensateur à une bobine purement inductive d'inductance  $L$ . A l'aide d'un dispositif approprié, on suit l'évolution de l'énergie magnétique  $E_L$  emmagasinée dans la bobine en fonction du temps. Les résultats obtenus nous ont permis de tracer le graphe de la figure 2.

On donne l'expression de l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine en fonction du temps :



$$E_L(t) = \frac{E_{L\max}}{2} (1 - \cos(2000\pi t + \varphi)).$$

- 1- En utilisant le graphe, déterminer  $E_{L\max}$  valeur maximale de  $E_L$  ainsi que la phase initiale  $\varphi$ . Donner alors l'expression de  $E_L$  en fonction du temps.
- 2- En utilisant la relation  $I_{\max} = \omega_0 Q_{\max}$ , montrer que  $E_{L\max} = E_{C\max}$  avec  $E_{C\max}$  valeur maximale de l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur.
- 3-
  - a- Calculer la valeur de la capacité  $C$  du condensateur. Déduire la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine.
  - b- Calculer la durée  $\Delta t$  indiquée sur le graphe de la figure 2 (ci-contre). Sous quelle forme apparait l'énergie totale du circuit à l'instant  $t = \Delta t$  ?
- 4- Déterminer l'expression de l'intensité du courant électrique qui circule dans le circuit en fonction du temps. Déduire l'expression de la charge  $q$  du condensateur.
- 5- Représenter sur un papier millimétré le graphe d'évolution de l'intensité du courant et celui de l'évolution de la charge  $q$  du condensateur en fonction du temps.

Echelle :

- Temps : 0,5 ms  $\rightarrow$  1 cm
- Intensité : 10 mA  $\rightarrow$  1 cm
- Charge :  $2 \cdot 10^{-6}$  C  $\rightarrow$  1 cm

