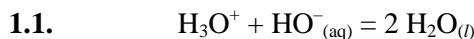


<b>Exercice I. Comme un poisson dans l'eau (8 points)</b>
---

**1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium**

1.2.1. A l'équivalence les réactifs ont totalement disparu

Ou Il y a équivalence lorsqu'il y a changement de réactif limitant

Ou à l'équivalence les réactifs **ont été introduits** dans les proportions stœchiométriques.

1.2.2. À l'équivalence :  $n_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ initiale}} - x_{\text{max}} = 0 = n_{\text{HO}^- \text{ versée}} - x_{\text{max}}$

$$\Rightarrow n_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ initiale}} = n_{\text{HO}^- \text{ versée}}$$

$$\Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{SA}} \cdot V_A = c_B \cdot V_{\text{BE}}$$

$$\Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{SA}} = \frac{c_B \cdot V_{\text{BE}}}{V_A}$$

$V_{\text{BE}}$  est l'abscisse du maximum de la courbe dérivée soit d'après la figure 1,  $V_{\text{BE}} = 25,5 \text{ mL}$ .

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{SA}} = \frac{4,0 \times 10^{-2} \times 25,5}{20,0} = \frac{10^{-2} \times 25,5}{5,0} = 5,1 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

1.2.3. La solution commerciale a été diluée 50 fois, elle est donc 50 fois plus concentrée que la solution  $S_A$ .

$$c_0 = [\text{H}_3\text{O}^+] = 50 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{SA}} = 50 \times 5,1 \times 10^{-2} \approx 2,5 \text{ mol.L}^{-1}.$$

1.3.  $\text{pH}_{\text{final}} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{final}}$

$$\text{avec } [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{final}} = \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ introduit}}}{V_{\text{final}}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times V_{\text{commercial}}}{V_{\text{final}}} = \frac{2,5 \times 0,040}{100} = 10 \cdot 10^{-4} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{pH}_{\text{final}} = -\log (1,0 \cdot 10^{-3}) = 3,0$$

1.4.1. La constante d'équilibre associée à l'équation de la **réaction 1** s'écrit :  $K_1 = \frac{[\text{CO}_2(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}$

1.4.2. La constante d'acidité du couple  $\text{CO}_2(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  est :  $K_A = \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2(\text{aq})]_{\text{éq}}} \Rightarrow K_1 = \frac{1}{K_A}$ .

1.4.3.  $K_1 = \frac{1}{10^{-6,4}} = 10^{6,4} = 2,5 \times 10^6$

1.5.1.  $Q_{r,i} < K_1$  donc, d'après le critère d'évolution spontanée, **le système chimique évolue dans le sens direct de l'équation de la réaction 1**. Il y a donc consommation des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  si l'eau est très calcaire.

1.5.2. Il y a consommation d'ions oxonium donc la concentration en ions oxonium est plus faible que celle calculée en 1.3, on en déduit que le **pH est supérieur** à celui calculé.

1.5.3. Si l'eau n'est pas suffisamment calcaire, elle contient peu d'ions hydrogénocarbonate. Alors une trop faible partie des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  apportés par la solution commerciale serait consommée. Le pH serait alors proche de celui calculé en 1.3., donc trop acide.

**2. Étude de la formation des ions ammonium.**

2.1. D'après les coefficients stœchiométriques de l'équation de la réaction 2, on a  $[\text{NH}_4^+] = [\text{OCN}^-]$

La relation donnée :  $\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{OCN}^-} [\text{OCN}^-]$  devient  $\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{OCN}^-} [\text{NH}_4^+]$

$$\sigma = (\lambda_{\text{NH}_4^+} + \lambda_{\text{OCN}^-}) \cdot [\text{NH}_4^+] \Rightarrow [\text{NH}_4^+] = \frac{\sigma}{(\lambda_{\text{NH}_4^+} + \lambda_{\text{OCN}^-})}$$

2.2.1 tableau descriptif, voir ci-contre

État	Avancement (mol)	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{aq})} = \text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + \text{OCN}^-_{(\text{aq})}$		
		Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{aq})}$	$\text{NH}_4^+_{(\text{aq})}$	$\text{OCN}^-_{(\text{aq})}$
État initial	$x = 0$	$cV$	$0$	$0$
État en cours d'évolution	$x$	$cV - x$	$x$	$x$
État final en supposant la transformation totale	$x_{\text{max}}$	$cV - x_{\text{max}}$	$x_{\text{max}}$	$x_{\text{max}}$

2.2.2. D'après le tableau, à chaque instant,

$$n(\text{NH}_4^+) = x \Rightarrow [\text{NH}_4^+] = \frac{n(\text{NH}_4^+)}{V} = \frac{x}{V}$$

2.2.3.  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant, si la transformation est totale on peut écrire :  $c \cdot V - x_{\text{max}} = 0$   
 $\Rightarrow x_{\text{max}} = c \cdot V = 0,020 \times 0,100 \Rightarrow x_{\text{max}} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$

2.3. A l'instant de date  $t = 110 \text{ min}$ , le taux d'avancement de la réaction est donné par  $\tau_{110} = \frac{x_{110}}{x_{\text{max}}}$ .

Sur la figure 2, on lit  $x_{110} = 0,0013 = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$

précédemment on a calculé  $x_{\text{max}} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \Rightarrow \tau_{110} = \frac{1,3 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-3}} = 0,65$

2.4. La vitesse volumique de réaction est donnée par la relation :  $v(t) = \frac{1}{V} \left( \frac{dx}{dt} \right)$

$\Rightarrow V$  étant une constante positive,  $v(t)$  évolue comme la dérivée  $\left( \frac{dx}{dt} \right)$  de la fonction  $x = f(t)$  à la date  $t$ .

Ce terme correspond au coefficient directeur de la **tangente** à la courbe  $x = f(t)$  à la date  $t$ , lequel diminue au cours du temps. (voir graphique) On en déduit donc que **la vitesse volumique de réaction  $v(t)$  diminue au cours du temps.**

2.5. Le taux d'avancement final est donné par la relation  $\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{[\text{NH}_4^+]_f \cdot V}{c \cdot V} = \frac{[\text{NH}_4^+]_f}{c} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{0,020} = 1,0$  La

**transformation étudiée est totale.**

2.6. Le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  est la durée nécessaire pour que l'avancement atteigne la moitié de sa valeur finale.

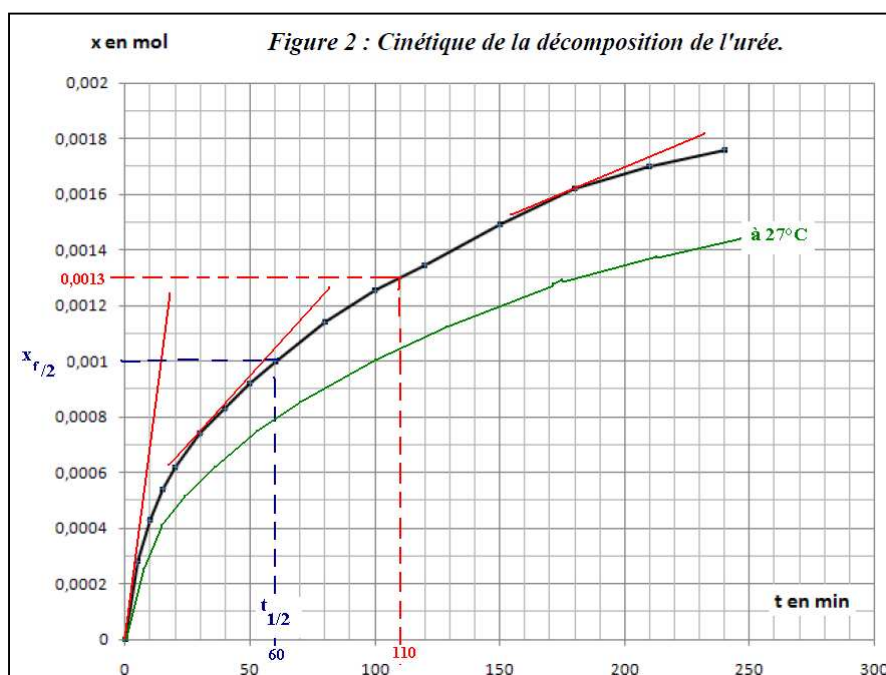
Pour  $t = t_{1/2}$ ,  $x_{t_{1/2}} = \frac{x_f}{2} = \frac{2,0 \times 10^{-3}}{2} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$

Sur la figure 2, on lit  $t_{1/2} = 60 \text{ min}$

2.7. La température est un facteur cinétique dont la diminution conduit, en général, à la diminution de la vitesse de réaction donc à l'augmentation du temps de demi-réaction.

Ainsi, si la température de l'aquarium n'est que de  $27^\circ\text{C}$ , **la valeur du temps de demi-réaction sera plus grande que 60 min** d'où l'allure de la courbe proposée (voir construction graphique sur la figure 2). L'avancement final sera atteint plus lentement.

2.8. L'aquarium doit être « bien planté » de sorte que **les plantes vertes consomment les ions nitrate pour qu'ils ne s'accumulent pas dans l'aquarium** ce qui risquerait de compromettre la vie des poissons.

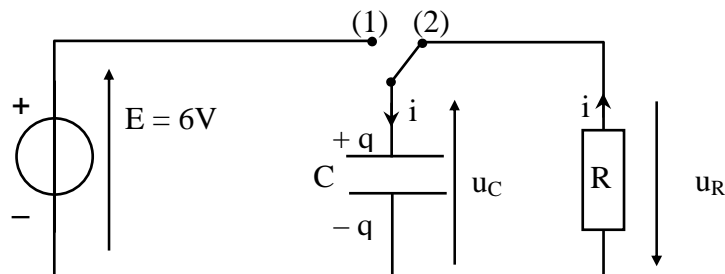


## EXERCICE II : Bobine, condensateur et ondes sonores (7 points)

### 1. Détermination de la capacité du condensateur.

1.1. En convention récepteur, le sens des flèches tensions est opposé au sens du courant.

Lorsque l'interrupteur était en position 1, le générateur a arraché des électrons sur l'armature reliée à sa borne positive, il est apparu une charge  $+q$  sur cette armature. Le générateur a apporté autant d'électrons sur l'autre armature où il est apparu une charge  $-q$ .



1.2. Loi d'additivité des tensions:  $u_C(t) + u_R(t) = 0$

Or d'après la loi d'Ohm:  $u_R(t) = R.i(t)$  Donc  $u_C(t) + R.i(t) = 0$  (1)

Compte tenu du sens du courant:  $i(t) = \frac{dq}{dt}$  et  $q(t) = C.u_C(t)$

Donc:  $i(t) = \frac{d(C.u_C)}{dt} = C. \frac{du_C}{dt}$  car  $C$  est une constante

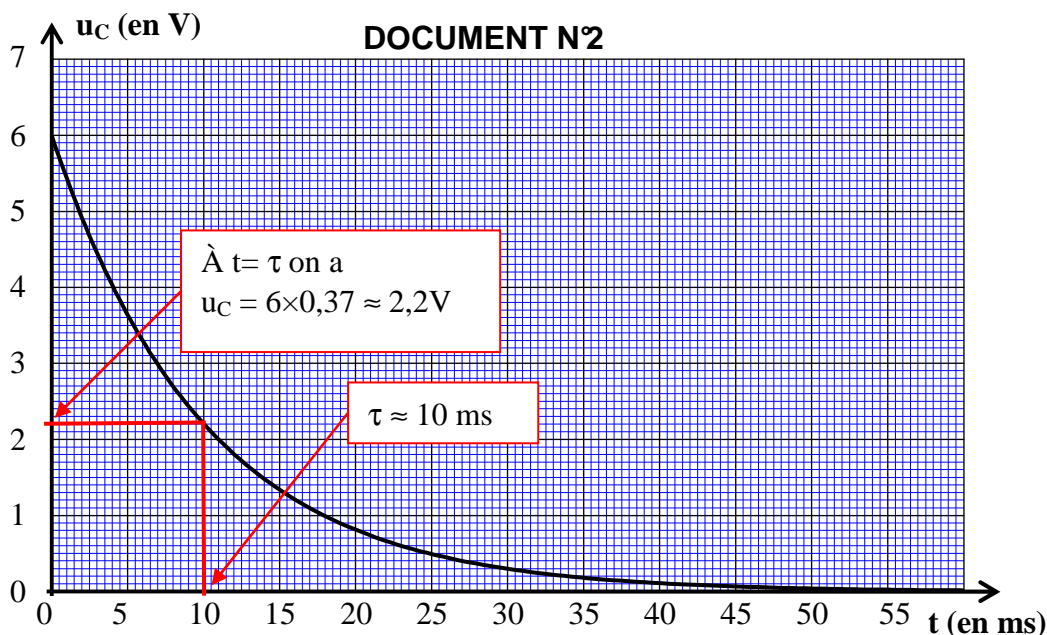
En reportant l'expression de  $i(t)$  dans (1) il vient :

$$u_C + R.C. \frac{du_C}{dt} = 0 \text{ qui est bien l'équation différentielle demandée.}$$

1.3. Pour  $t = \tau$ ,  $u_C(t = \tau) = E. e^{-\frac{t}{\tau}}$  donc  $u_C(\tau) = E. e^{-1} = 0,37 E = \frac{37}{100} E$

Donc la tension aux bornes du condensateur est égale à 37 % de sa valeur initiale.

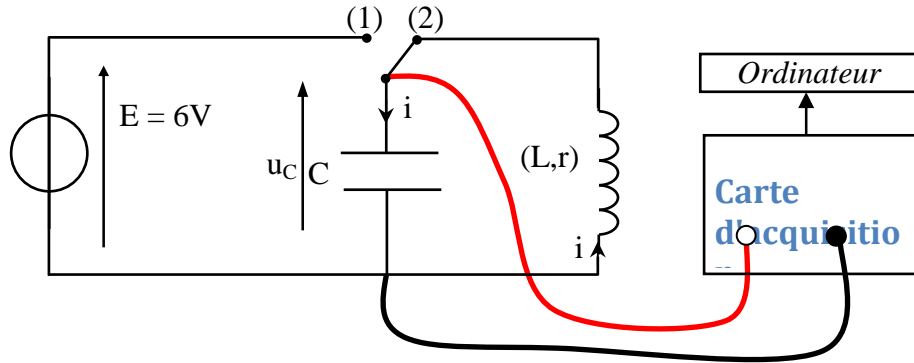
1.4. Détermination la valeur de la constante de temps  $\tau$  :



1.5. Comme  $\tau = R.C$  on a :  $C = \frac{\tau}{R} = \frac{10 \times 10^{-3}}{5,0 \times 10^3} = 2,0 \times 10^{-6} \text{ F} = 2,0 \mu\text{F}$ .

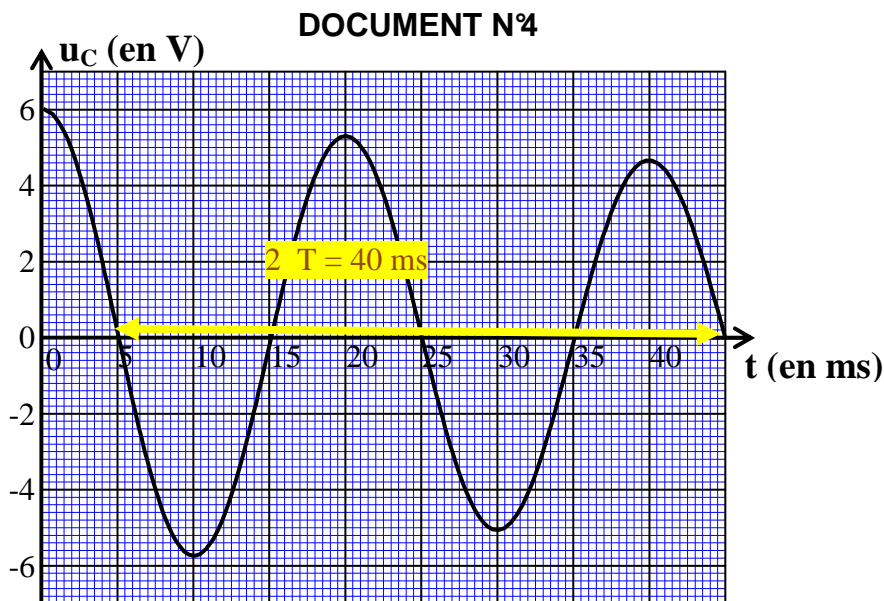
## 2. Détermination de l'inductance de la bobine.

2.1. Connexions de la voie 1 et de la masse de la carte d'acquisition pour visualiser  $u_C(t)$ :



2.2. Le régime de la tension  $u_C$  est **pseudo-périodique** car on observe une tension sinusoïdale dont l'amplitude diminue au cours du temps (les oscillations sont amorties).

2.3.



Graphiquement on lit la valeur de la pseudo-période :  $T = 20$  ms

On considère que la pseudo-période  $T$  est égale à la période propre donnée par la relation :  $T_0 = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$

donc  $T_0^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot LC$       soit       $L = \frac{T_0^2}{4\pi^2 \cdot C}$

$L = \frac{(20 \times 10^{-3})^2}{4\pi^2 \times 20 \times 10^{-6}} = 0,50$  H

## 3. Détermination de la résistance de la bobine

3.1. D'après la loi d'additivité des tensions :  $E = u_R + u_{L,r}$        $E = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di}{dt} + r \cdot i(t)$  (1)

Lors du régime permanent  $i(t) = I_P = \text{Cte}$       donc  $\frac{di}{dt} = 0$ ,      ainsi  $E = R \cdot I_P + r \cdot I_P$       soit  $I_P = \frac{E}{R+r}$  (2)

3.2. D'après la loi d'ohm, la tension aux bornes du conducteur ohmique est donné par la relation  $u_R = R \cdot i(t)$  en régime permanent  $u_{R\max} = R \cdot I_P$       donc  $I_P = \frac{u_{R\max}}{R}$

La valeur de  $u_{R\max} = 5,0$  V est lue sur le graphe du document N°6      soit  $I_P = \frac{5,0}{100} = 5,0 \times 10^{-2}$  A

Détermination de  $r$  : d'après la relation (2)  $E - R \cdot I_P = r \cdot I_P$       soit  $r = \frac{E}{I_P} - R$

$r = \frac{6}{5,0 \times 10^{-2}} - 100 = 20$   $\Omega$ .

3.3. A partir de la relation (1) établie à la question 3.1. :  $E = R.i(t) + L.\frac{di}{dt} + r.i(t)$

soit :  $E = L.\frac{di}{dt} + (r+R).i.$

3.4. Vérifions que  $i = A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  est solution de l'équation différentielle précédente:

D'abord, lorsque t tend vers une valeur infinie, l'exponentielle  $e^{-\frac{t}{\tau}}$  tend vers zéro et  $i = A = I_p$  déjà calculé au 3.1 :  $A = I_p = \frac{E}{R+r}$

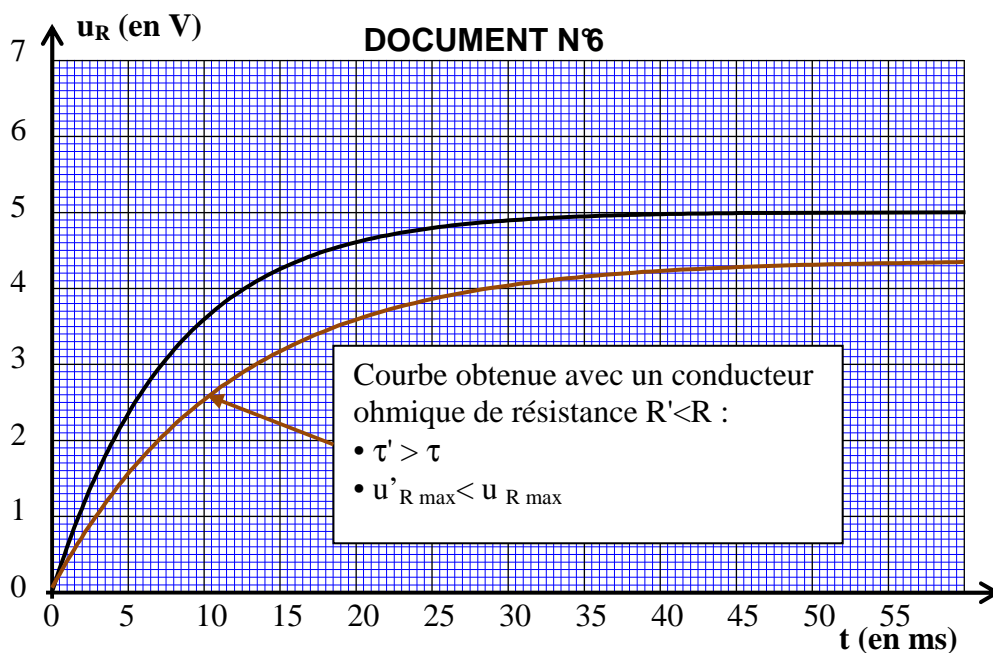
On calcule la dérivée et on reporte dans la relation (1) :

$\frac{di}{dt} = \frac{A}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$  soit  $E = \frac{LA}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + (r+R)A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  puis en remplaçant A et en regroupant

$E = E + \frac{E}{R+r} (\frac{L}{\tau} - (r+R)) e^{-\frac{t}{\tau}}$  cette relation est vérifiée pour toute valeur de t lorsque

$\frac{L}{\tau} - (r+R) = 0$  soit  $\tau = \frac{L}{r+R}$  donc  $i = \frac{E}{r+R} (1 - e^{-\frac{(r+R)t}{L}})$

3.5.



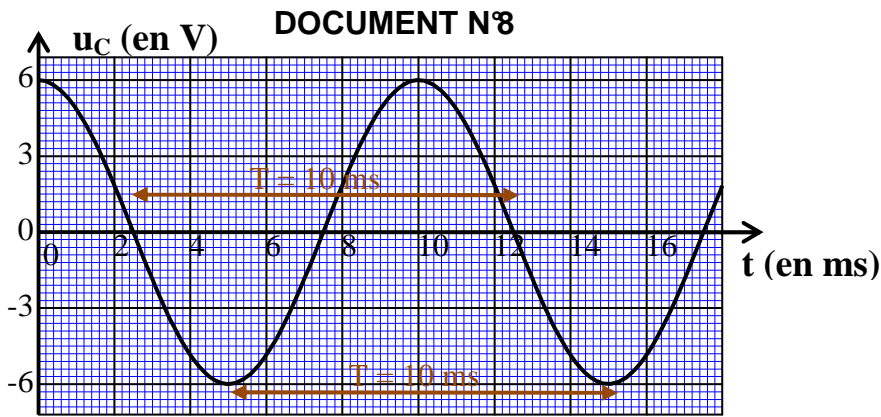
Dans le cas où on utilise un conducteur ohmique de résistance  $R' < R$  avec la même bobine d'inductance L et de résistance r :

$$\tau' = \frac{L}{r+R'} > \tau = \frac{L}{r+R} \quad \text{et} \quad u'_{R \max} < u_{R \max} \quad \text{car} \quad u_{R \max} = R I_p = R \frac{E}{R+r} \quad \text{diminue quand } R \text{ diminue.}$$

#### 4. De l'électricité aux ondes

4.1. Le dipôle D apporte au circuit de l'énergie, il compense ainsi les pertes d'énergie dans la résistance r dues à l'effet Joule afin que l'énergie totale E reste constante au cours du temps. On a alors des oscillations sinusoïdales non amorties.

4.2. On détermine la période à partir de la courbe  $u_c = f(t)$  :  $T = 10 \text{ ms}$



4.3. Le haut parleur produit un son de même fréquence que la tension  $u_C$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \times 10^{-3}} = 1,0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

4.4. La longueur d'onde  $\lambda$  est la distance parcourue par l'onde pendant une durée égale à la période  $T$ . Elle s'exprime en mètres.

$$\lambda = v T = 342 \times 10 \times 10^{-3} = 3,4 \text{ m}$$

4.5. L'onde sonore est longitudinale car la direction de la perturbation est la même que la direction de propagation de l'onde.

### Exercice III- Analyse par activation neutronique : 5 points

#### A. Une source de neutrons

1. Dans les symboles  ${}_{95}^{241}\text{Am}$  et  ${}_{4}^9\text{Be}$ , les nombre 241 et 9 correspond au **nombre de nucléons** (nombre de masse).

2.1. On utilise les règles de Soddy. **Au cours d'une réaction nucléaire il y a conservation du nombre de nucléons et de la charge du système.** Le noyau fils formé a pour symbole  ${}_{93}^{237}\text{Np}$ .

2.2. 
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

2.3. 
$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,6 \cdot 10^{-3}} = \frac{0,7}{1,6 \cdot 10^{-3}} = 0,4 \cdot 10^3 \text{ an}$$

2.4. Selon les équations des différentes réactions nucléaires, la désintégration d'un noyau d'Américium conduit à la formation d'un seul neutron. La source de neutrons émet  **$1,0 \cdot 10^7$  neutrons par seconde** donc  $1,0 \cdot 10^7$  noyaux d'Américium se désintègrent par seconde : l'activité de la source d'américium 241 est de  **$1,0 \cdot 10^7$  Bq**.

2.5. La source peut-être utilisée longtemps sans être renouvelée car la **demi-vie de l'américium 241 est très élevée**, environ 400 ans, la diminution du nombre de noyaux au cours du temps est très lente.

3.1. 
$$\Delta E = [m({}_{95}^{241}\text{Am}) - m({}_{93}^{237}\text{Np}) - m({}_2^4\text{He})] \cdot c^2$$

$\Delta E = [241,005 - 236,997 - 4,002] \times 10^3$  car  $1 \text{ u} = 10^3 \text{ MeV}$  donc  **$\Delta E = 6 \text{ MeV}$**

3.2. L'énergie est libérée sous forme **d'énergie cinétique** (particules  $\alpha$  émises) et **d'énergie de rayonnement** (émission  $\gamma$ ).

4.1. Selon l'équation  ${}_{2}^4\text{He} + {}_{4}^9\text{Be} \rightarrow X$  et les lois de Soddy, le noyau instable  $X$  est  ${}_{6}^{13}\text{C}$ .

4.2. Le noyau **ayant la plus grande énergie de liaison par nucléon est le plus stable**. C'est donc le noyau de carbone 12.

#### B. Analyse d'un échantillon d'aluminium

1.1. Equation de la réaction :  ${}_{11}^{23}\text{Na} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na}$

1.2. Le noyau formé est forcément un isotope du sodium 23 car seul le nombre de neutrons varie, **le nombre de protons est le même** dans les noyaux père et fils.

2. Désintégration  $\beta^-$  :  ${}_{11}^{24}\text{Na} \rightarrow {}_{12}^{24}\text{Mg}^* + {}_{-1}^0\text{e}$

Puis émission  $\gamma$  du noyau fils excité :  ${}_{12}^{24}\text{Mg}^* \rightarrow {}_{12}^{24}\text{Mg} + \gamma$

3.  $\boxed{N = \frac{A}{\lambda}}$   $N = \frac{2,6 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 2,0 \cdot 10^{11}$  **noyaux**