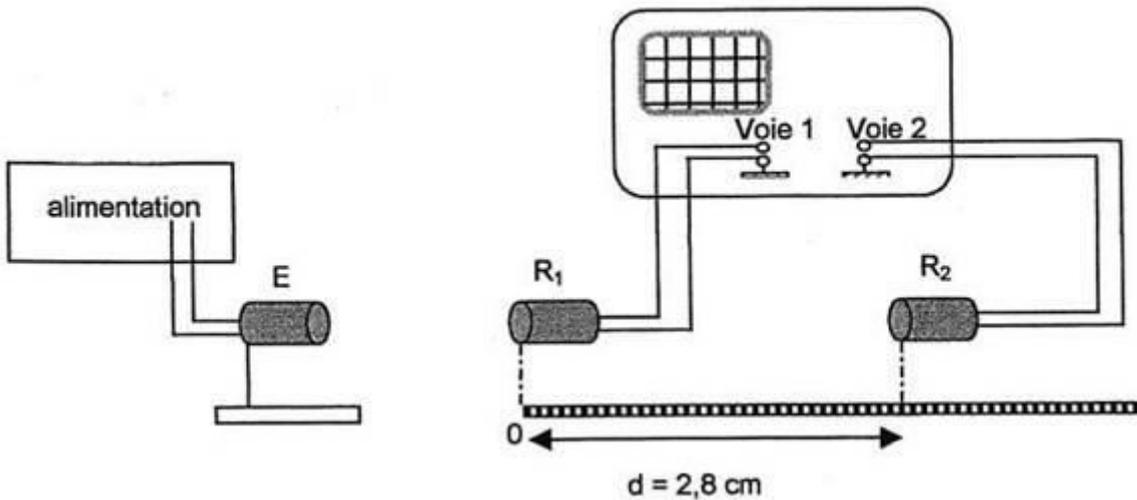


## I. Ondes ultrasonores et deux applications

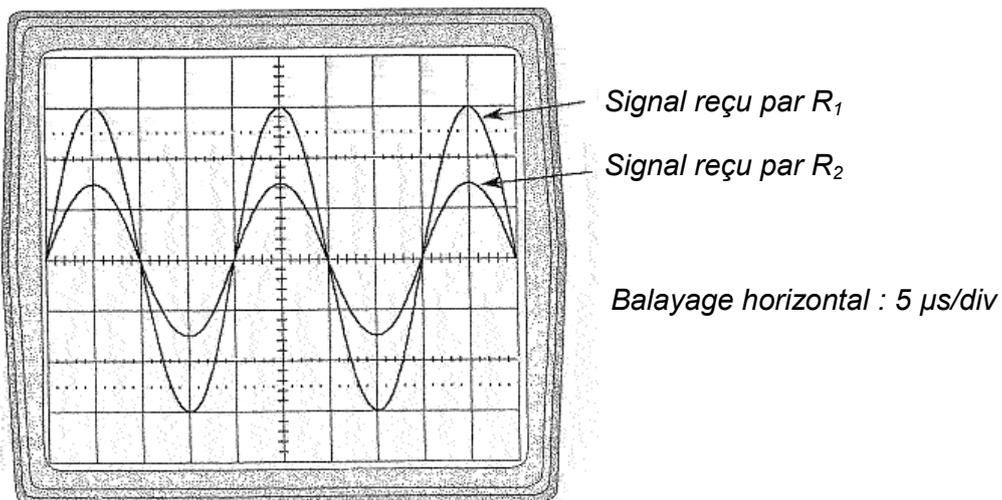
- Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

### 1. Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève dispose du matériel suivant :

- Un émetteur d'ultrasons E et son alimentation électrique ;
  - Deux récepteurs d'ultrasons  $R_1$  et  $R_2$  ;
  - Un oscilloscope ;
  - Une règle graduée.
- Il réalise le montage suivant :

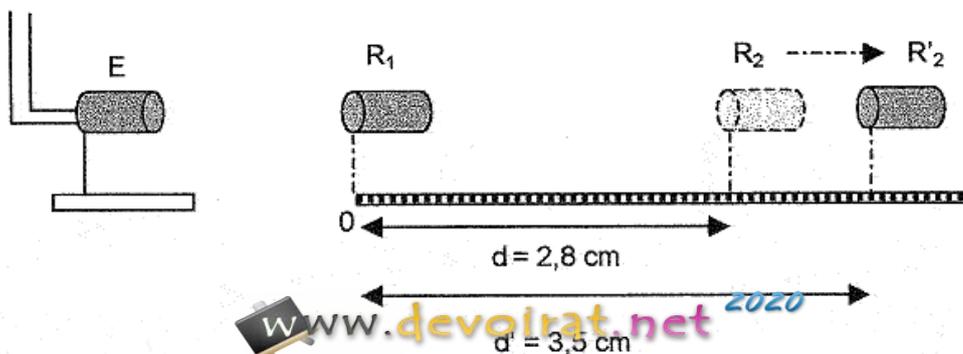


- L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$ . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.
- Le récepteur  $R_1$  est placé au zéro de la règle graduée.
- Les signaux captés par les récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.
- Lorsque le récepteur  $R_2$  est situé à  $d = 2,8$  cm du récepteur  $R_1$ , les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



#### 1.1. Déterminer la fréquence $f$ des ultrasons émis.

- On éloigne lentement  $R_2$  le long de la règle ; on constate que le signal reçu par  $R_2$  se décale vers la droite ;



on continue à éloigner  $R_2$  jusqu'à ce que les signaux reçus par  $R_1$  et  $R_2$  soient à nouveau en phase. Soit  $R'_2$  la nouvelle position occupée par  $R_2$ . On relève la distance  $d'$  séparant désormais  $R_1$  de  $R'_2$  : on lit  $d' = 3,5$  cm.

- 1.2. Définir en une phrase la longueur d'onde  $\lambda$  ; écrire la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la célérité  $v$  des ultrasons dans le milieu et la période  $T$  des ultrasons.
- 1.3. Exprimer en fonction de la période  $T$  des ultrasons le retard  $\tau$  du signal reçu par  $R'_2$  par rapport à celui reçu par  $R_2$ .  
En déduire la longueur d'onde.
- 1.4. Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.
- 1.5. On immerge, en veillant à leur étanchéité, l'émetteur et les deux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  dans l'eau contenue dans une cuve de dimensions suffisantes. Sans changer la fréquence  $f$  de l'émetteur, on constate que pour observer deux signaux successifs captés par  $R_2$  en phase, il faut éloigner  $R_2$  de  $R_1$  sur une distance 4 fois plus grande que dans l'air.  
Déterminer la célérité des ultrasons dans l'eau.

## II. Prototype de pile miniature

Des scientifiques de l'université Cornell (USA) ont conçu un prototype de pile miniature constituée de deux lamelles superposées, légèrement espacées : celle du dessous est initialement composée de nickel 63 ( $^{63}\text{Ni}$ ), un matériau radioactif qui émet des électrons ; celle du dessus est en cuivre. Lorsque des électrons qui s'échappent du nickel atteignent la lamelle de cuivre, elle se charge négativement. Attirée par la lamelle de dessous, dont la charge devient positive, elle se plie, se décharge par contact et revient à l'état initial. L'énergie mécanique de ce mouvement est transformée en énergie électrique à l'aide d'un système piézo-électrique qui génère de l'électricité quand il est déformé. Si le rendement électrique d'un tel dispositif est faible, son encombrement est particulièrement réduit (les scientifiques espèrent parvenir à construire une pile de  $1\text{ cm}^3$ ) et sa durée de fonctionnement devrait dépasser plusieurs dizaines d'années.

D'après un extrait de « Ordinateur individuel »

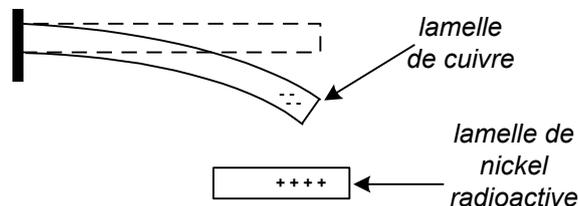


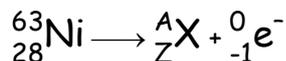
Figure 2

$_{27}\text{Co}$	$_{28}\text{Ni}$	$_{29}\text{Cu}$
------------------	------------------	------------------

- Extrait de la classification périodique :

Quel est le type de transformation radioactive du nickel 63 évoqué dans le texte ?

Compléter l'équation de désintégration radioactive du nickel 63 ci-dessous en précisant la nature (symbole, nombre de nucléons et nombre de charges) du noyau formé.



On note  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs de nickel présents dans la pile à l'instant  $t$  et  $N_0$  le nombre de ces noyaux présents à un instant  $t_0 = 0$  pris comme origine des dates.

La constante radioactive du nickel 63 vaut  $\lambda = 6,9 \times 10^{-3} \text{ an}^{-1}$ .

Rappeler la loi de décroissance radioactive  $N(t)$  en fonction  $N_0$  et  $\lambda$ .

Donner la définition du temps de demi-vie  $t_{1/2}$  d'une source radioactive.

Montrer que  $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ .

Calculer  $t_{1/2}$ . **Aide au calcul** :  $\ln(2) \approx 6,9 \cdot 10^{-1}$

Ce résultat est-il en accord avec la durée de fonctionnement de la pile indiquée dans le document ?

## Principe de l'horloge d'un appareil nomade

- Tous les appareils nomades ont besoin d'une horloge (alimentée par une pile). Dans ce paragraphe on va étudier l'évolution temporelle d'un circuit (R,C) qui fait partie de l'horloge.
- Dans un premier temps le condensateur, initialement déchargé, de capacité est chargé à travers les conducteurs ohmiques de résistances  $R_A$  et  $R_B$ . On note  $E$  la tension aux bornes du générateur. Lors de cette étape, on considère que les conducteurs ohmiques et le condensateur de capacité  $C = 22 \mu\text{F}$  sont branchés en série. Le circuit équivaut alors à celui qui est schématisé figure 3 avec  $R = R_A + R_B = 66 \text{ k}\Omega$ .

Donner la relation qui lie l'intensité instantanée  $i(t)$  du courant électrique qui circule dans le dipôle (R,C) à la charge instantanée  $q(t)$  de l'armature du condensateur notée sur la figure 3, puis à la tension  $u_c(t)$ .

Déterminer, en justifiant la réponse, l'équation différentielle qui régit l'évolution la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur au cours de sa charge.

Dès que la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur atteint une valeur de

référence  $U_{\text{MAX}} = \frac{2}{3} E$ , le reste de l'horloge change d'état électrique et fait

décharger le condensateur à travers le seul conducteur ohmique de résistance  $R_B = 33 \text{ k}\Omega$ . Le circuit équivaut alors à celui qui est représenté figure 4.

Déterminer, en justifiant la réponse, l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur au cours de sa décharge dans le conducteur ohmique de résistance  $R_B$ .

Dès que la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur atteint une autre valeur de

référence  $U_{\text{MIN}} = \frac{1}{3} E$ , le reste de l'horloge change d'état et impose un nouveau

cycle de charge du condensateur puis de décharge, etc. La durée de charge du condensateur, entre  $U_{\text{MIN}}$  et  $U_{\text{MAX}}$ , est notée  $T_1$  et celle de la décharge, jusqu'à  $U_{\text{MIN}}$ , notée  $T_2$ .

Sachant que les durées de charge et de décharge sont proportionnelles aux constantes de temps du circuit, expliquer, sans calcul, pourquoi la valeur de  $T_1$  est supérieure à celle de  $T_2$ .

Compléter, sur **LA FIGURE 5 DE L'ANNEXE**, l'allure générale de l'évolution au cours du temps de la tension  $u_c(t)$  lors des différentes phases de charge et de décharge.

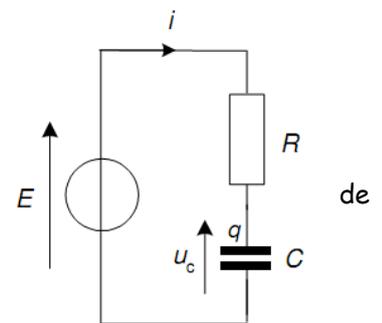
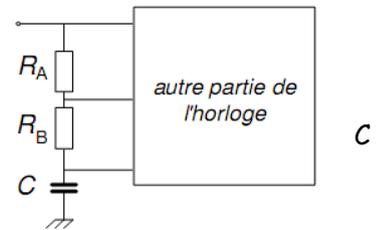


Figure 3

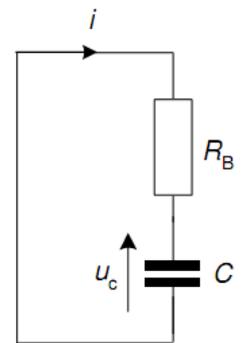


Figure 4

### III. Traitement de l'eau d'une piscine

Depuis plusieurs décennies, l'acide chlorhydrique et l'hypochlorite de sodium sont utilisés dans les piscines <sup>(1)</sup>. L'acide chlorhydrique régule l'acidité ou le pH, tandis que l'hypochlorite désinfecte à merveille. Tous deux constituent des garanties pour notre santé. Non seulement l'eau de la piscine est désinfectée mais, en plus, l'hygiène et la propreté des conduites et des filtres sont maintenues sur l'ensemble de son parcours.

L'hypochlorite de sodium est le désinfectant le plus utilisé. Les grandes piscines le stockent en vrac dans de grandes citernes, les plus petites dans des fûts.

Exceptionnellement, on rencontre une installation qui prépare ce produit sur place. Cela s'effectue par électrolyse de la saumure (solution aqueuse de chlorure de sodium), dont résulte du chlore gazeux. Après mélange avec de l'hydroxyde de sodium en solution, on obtient de l'hypochlorite de sodium.

D'après Le livre blanc du chlore, juillet 2003 (<http://www.belgochlor.be/fr/H305.htm>)

(1) En milieu beaucoup plus acide que l'eau de la piscine, les ions hypochlorite et chlorure réagissent et donnent un dégagement de dichlore, gaz toxique.

- Les parties 1 et 2 traitent de la fabrication de l'hypochlorite de sodium par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium.
- La partie 3 traite du principe de la régulation du pH d'une eau de piscine. Cette partie est indépendante des parties 1 et 2.

#### Électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium au laboratoire

- Pour déterminer les produits de l'électrolyse d'une solution de chlorure de sodium, on réalise l'expérience suivante au laboratoire (voir schéma simplifié de la Figure 1 ci-contre). Un tube en U contient une solution de chlorure de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ). Deux électrodes A et B sont reliées chacune à l'une des bornes (positive ou négative) d'un générateur de tension continue G.
- Après plusieurs minutes de fonctionnement, on effectue des tests d'identification des produits formés.
  - À une électrode, il s'est formé un dégagement de dichlore.
  - À l'autre électrode, il s'est formé un dégagement de dihydrogène et il est apparu des ions hydroxyde  $\text{HO}^-$ .
- L'équation de la réaction modélisant l'électrolyse est :  
 $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Cl}^-_{(\text{aq})} = \text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{HO}^-_{(\text{aq})}$  (équation 1)
- **Données** : couples oxydant/réducteur :  $\text{H}_2\text{O} / \text{H}_2(\text{g})$  ;  $\text{Cl}_2(\text{g}) / \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$  ;  
 $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}$  ;  $\text{ClO}^-_{(\text{aq})} / \text{Cl}_2(\text{g})$

À partir des indications de l'énoncé, identifier les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu dans l'équation 1 modélisant l'électrolyse.

En déduire l'espèce chimique oxydée.

Identifier l'électrode (A ou B) à laquelle se produit l'oxydation. Quel gaz se dégage à cette électrode ?

#### Étude d'un électrolyseur pour piscine

- Dans certaines piscines, on ajoute à l'eau de la piscine du chlorure de sodium. Après pompage, l'eau est traitée par électrolyse.
- L'électrolyseur peut être représenté par une cellule comprenant deux électrodes et un coffret d'alimentation électrique délivrant une tension continue d'environ 10 V.
- **Données** : Intensité du courant : 20 A ; On rappelle que la quantité Q d'électricité débitée pendant la durée  $\Delta t$  et l'intensité I du courant sont liées par la relation :  $I = \frac{Q}{\Delta t}$ .
- **Aide au calcul** :  $N_A \cdot e = 1,0 \times 10^5 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  avec  $N_A$  constante d'Avogadro et e charge élémentaire

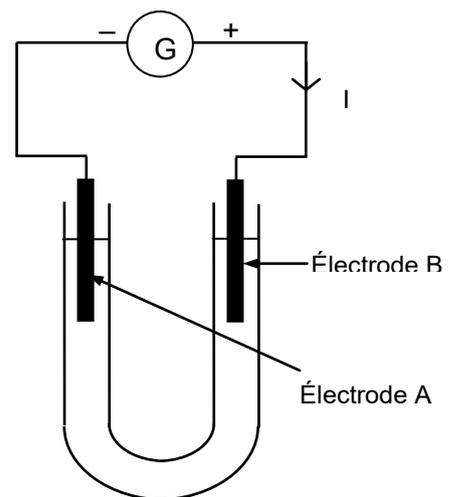


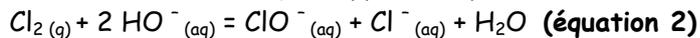
Figure 1

Dans ce dispositif, l'électrolyse de la solution de chlorure de sodium est modélisée par l'équation 1 précédente :  $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Cl}^-_{(\text{aq})} = \text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{HO}^-_{(\text{aq})}$  (**équation 1**)

Compléter le tableau d'avancement fourni **EN ANNEXE**.

En déduire la relation entre la quantité  $n(e^-)$ , en mole, d'électrons échangés et la quantité  $n_1(\text{Cl}_2)$  de dichlore formé lors de la réaction d'équation 1.

Dans cet électrolyseur, les ions hydroxyde et le dichlore formé sont consommés lors d'une nouvelle transformation chimique supposée rapide et totale, dont l'équation est la suivante :



Établir la relation entre la quantité  $n(\text{ClO}^-)$  d'ions hypochlorite formés et la quantité  $n_2(\text{Cl}_2)$  de dichlore consommé dans la réaction d'équation 2.

La transformation associée à l'équation 2 étant supposée totale et rapide, en déduire la relation entre  $n(e^-)$  et  $n(\text{ClO}^-)$ .

En déduire et calculer la quantité de matière maximale d'ions hypochlorite que peut fournir cet appareil, en une heure de fonctionnement.

### Régulation du pH de l'eau de piscine

- La régulation du pH est essentielle dans le traitement de l'eau des piscines.
- En permanence analysé grâce à une sonde puis corrigé par une pompe (par injection de produit correcteur), le pH est maintenu automatiquement à son niveau idéal (7,2 - 7,6).
- **Données** : On considère toutes les solutions à 25°C ;

Couples acide/base :  $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} / \text{H}_2\text{O}$  ;  $pK_{A1} = 0$  ;  $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-_{(\text{aq})}$  ;  $pK_{A2} = 14$

acide hypochloreux/ion hypochlorite :  $\text{HClO}_{(\text{aq})} / \text{ClO}^-_{(\text{aq})}$  ;  $pK_{A3} = 7,5$

Lors d'un contrôle de pH, la sonde mesure la valeur  $\text{pH} = 8,5$ . Le pH de cette eau, plus élevé que celui de l'humidité aqueuse de l'œil humain, est responsable de l'irritation des yeux.

A ce pH, indiquer l'espèce prédominante du couple  $\text{HClO}_{(\text{aq})} / \text{ClO}^-_{(\text{aq})}$ .

Calculer le rapport des concentrations en ions hypochlorite et en acide hypochloreux lors de ce contrôle (on ne cherchera pas à déterminer ces deux concentrations).

Pour rétablir la valeur du pH au niveau « idéal », la pompe injecte 0,10 mol d'acide chlorhydrique dans l'eau de la piscine, sans variation notable du volume  $V$  de l'eau contenue dans la piscine. L'équation de la réaction associée à la transformation qui se produit est :



Exprimer la constante d'équilibre  $K$  de cette réaction en fonction de  $K_{A3}$ . Calculer  $K$ .

- L'état initial du système est défini ainsi :
  - le volume de l'eau de la piscine est  $V = 1,0 \times 10^5 \text{ L}$ .
  - On introduit 0,10 mol d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  par ajout d'acide chlorhydrique.
  - Le rapport  $\frac{[\text{ClO}^-_{(\text{aq})}]_i}{[\text{HClO}_{(\text{aq})}]_i}$  est égal à celui calculé au 3.1.2.

Calculer la concentration molaire effective initiale en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  notée  $[\text{H}_3\text{O}^+]_i$ .

Calculer le quotient de réaction initial  $Q_{r,i}$ .

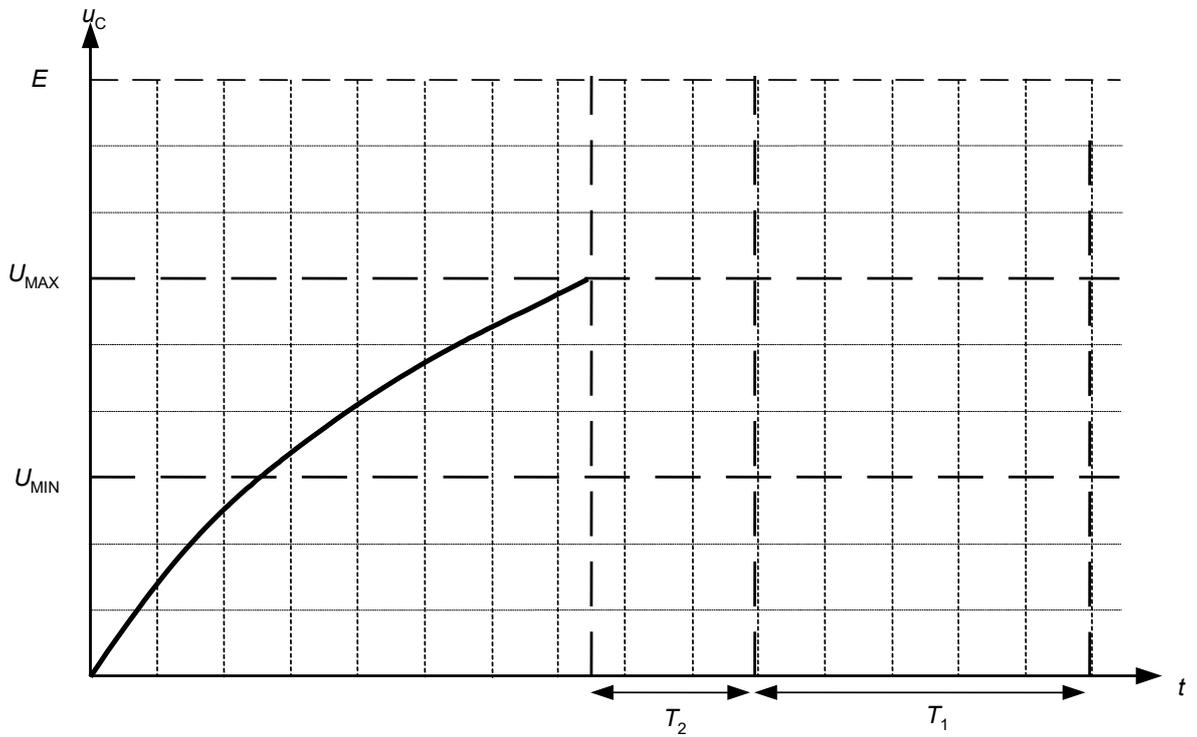
En appliquant le critère d'évolution spontanée, donner le sens d'évolution de la réaction d'équation 3.

À partir de l'expression de la constante d'acidité  $K_{A3}$  du couple acide hypochloreux/ion hypochlorite et du

rapport  $\frac{[\text{ClO}^-_{(\text{aq})}]_i}{[\text{HClO}_{(\text{aq})}]_i}$  calculé au 3.1.2., montrer que le pH de l'eau de la piscine diminue.

## ANNEXE

### II. Piles et appareils nomades



Question 3.5.

### III. Traitement de l'eau d'une piscine

Question 2.1.1.

	Avancement	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} = \text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{HO}^-_{(\text{aq})}$					$n(\text{e}^-)$ (en mol) échangés
État initial	0	excès	$n(\text{Cl}^-)_i$	0	0	0	0
État en cours de transformation	x	excès					
État final	$x_f$	excès					

# I. Ondes ultrasonores et deux applications

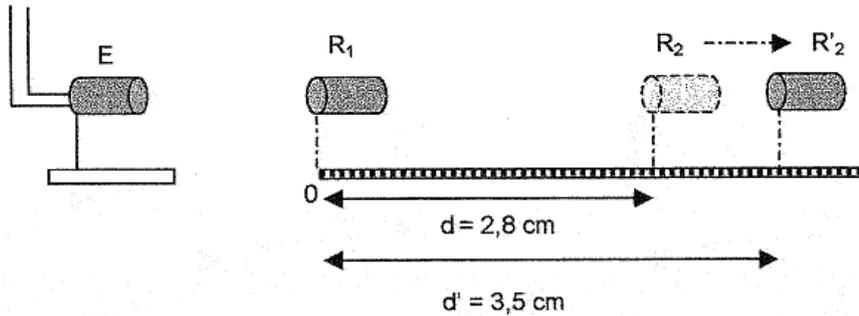
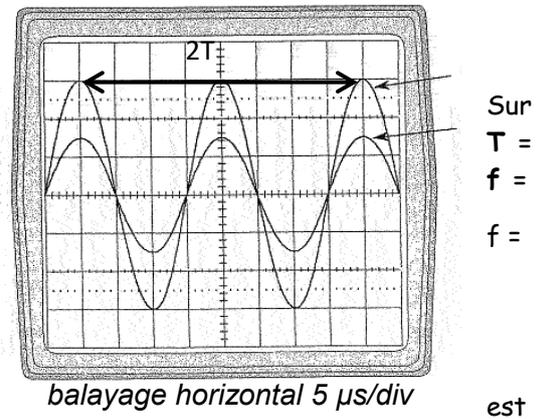
## Partie A

### 1. Au cours d'une séance de travaux pratiques ...

- 1.1. Fréquence des ultrasons émis :  
 l'oscillogramme, on mesure  $2T = 8,0 \times 5 \mu s$   
 $20 \mu s = 2,0 \times 10^{-5} s$   
 $\frac{1}{T}$  avec  $f$  en Hz et  $T$  en s ;  
 $\frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} = 0,5 \times 10^5 = 5 \times 10^4 \text{ Hz} = 50 \text{ kHz}$ .

Remarque :  $f > 20 \text{ kHz}$ , il s'agit bien d'ondes ultrasonores.

- 1.2. La longueur d'onde  $\lambda$  appelée aussi **période spatiale de l'onde**, la distance parcourue par l'onde à la célérité  $v$  pendant la durée  $T$ .  $\lambda = v \cdot T$ .
- 1.3.  $R_2$  à la distance  $d$  de  $R_1$  : les deux signaux reçus sont en phase.  $R_2$  en  $R'_2$  à la distance  $d'$  de  $R_1$  : les deux signaux reçus sont de nouveau en phase.



Le retard  $\tau$  du signal reçu par  $R'_2$  par rapport à celui reçu par  $R_2$  est égal à  $T$  :  $\tau = T$ .

Or  $\tau = \frac{d' - d}{v}$  et  $\tau = T$  donc  $T = \frac{d' - d}{v} \Leftrightarrow d' - d = v \cdot T$  (1) ; D'autre part  $\lambda = v \cdot T$  (2)

En identifiant les expressions (1) et (2), il vient  $\lambda = d' - d$

$\lambda = 3,5 - 2,8 = 0,7 \text{ cm} = 7 \times 10^{-3} \text{ m}$  (1 seul chiffre significatif car la précision des mesures est de 0,1 cm).

- 1.4. Célérité des ultrasons dans l'air :  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$  ;  $v = 7 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^4 = 3,5 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1} = 4 \cdot 10^2 \text{ m.s}^{-1}$

(en respectant le nombre de chiffres significatifs)

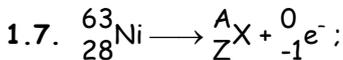
- 1.5. On a  $v = \lambda \cdot f$  avec  $\lambda = d' - d$  donc  $v = (d' - d) \cdot f$

Or  $f$  reste constante donc si la distance  $d' - d$  quadruple alors la célérité  $v$  doit quadrupler aussi.

Ainsi  $v_{\text{eau}} = 4v_{\text{air}}$  ;  $v_{\text{eau}} = 4 \times 3,5 \times 10^2 = 1,4 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} = 1 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$  (en respectant le nombre de chiffres significatifs).

## II. Piles et appareils nomades

- 1.6. Le nickel 63 est un matériau radioactif qui émet des électrons : il s'agit d'une radioactivité  $\beta^-$ .



conservation du nombre de nucléons :  $63 = A + 0 \Leftrightarrow A = 63$

conservation du nombre de charges  $Z$  :  $28 = Z - 1 \Leftrightarrow Z = 29$

Le noyau formé est alors :  ${}_{29}^{63}\text{Cu}$

- 1.8. On note  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs ...

1.8.1. Loi de décroissance radioactive :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

- 1.8.2. Définition du temps de demi-vie  $t_{1/2}$  : durée pour laquelle une population de noyaux radioactifs est divisée par deux.

1.8.3. D'après la définition précédente :  $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$  et  $N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

en égalant les expressions de  $N(t_{1/2})$  :  $\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Leftrightarrow 2 = e^{\lambda \cdot t_{1/2}}$

en passant au logarithme :  $\ln(2) = \lambda \cdot t_{1/2}$  et finalement :  $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$

1.8.4.  $t_{1/2} = \frac{6,9 \cdot 10^{-1}}{6,9 \cdot 10^{-3}} = 1,0 \times 10^2 \text{ ans}$  soit 100 ans.

1.8.5. La durée de fonctionnement de la pile indiquée dans le document est « plusieurs dizaines d'années » : le résultat obtenu pour  $t_{1/2}$  est bien en accord avec cette durée de fonctionnement.

## 2. Principe de l'horloge d'un appareil nomade

2.1. Relation entre  $i(t)$  et  $q(t)$  :  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$  Or  $q(t) = C \cdot u_c(t)$  donc :  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d(Cu_c(t))}{dt}$

(C constante) donc  $i(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}$

2.2. Loi d'additivité des tensions sur le circuit de la figure 3 :

$E = u_c(t) + u_R(t)$  ; D'après la loi d'Ohm  $E = u_c(t) + R \cdot i(t)$  ; En reportant l'expression de  $i(t)$  :

$E = u_c(t) + R.C. \frac{du_c(t)}{dt}$  . En divisant par R.C il vient :  $\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = \frac{E}{RC}$

2.3. Loi d'additivité des tensions sur le circuit de la figure 4 :  $0 = u_c(t) + u_{R_B}(t)$  soit  $0 = u_c(t) + R_B \cdot i(t)$

En reportant l'expression de  $i(t)$  :  $0 = u_c(t) + R_B.C. \frac{du_c(t)}{dt}$

En divisant par  $R_B.C$  il vient :  $\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{R_B C} = 0$

2.4. Constante de temps du circuit de charge :  $R.C = (R_A + R_B).C$

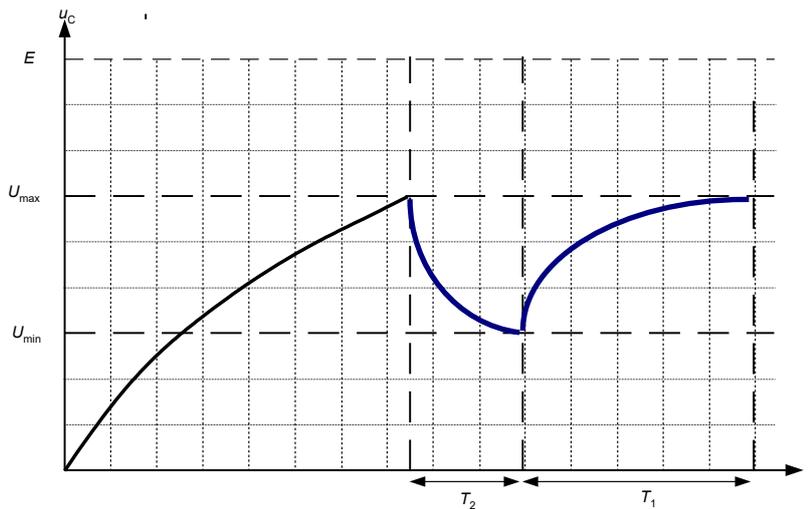
Constante de temps du circuit de décharge :  $R_B.C$

On a, d'après l'énoncé :  $T_1 = \alpha \cdot (R_A + R_B).C$  (avec  $\alpha$  constante) et  $T_2 = \alpha \cdot R_B.C$

Donc :  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\alpha \cdot (R_A + R_B).C}{\alpha \cdot R_B.C} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{(R_A + R_B)}{R_B}$

finalement  $T_1 > T_2$ .

2.5. figure 5 complétée :



## III. Traitement de l'eau d'une piscine

### 1. Électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium au laboratoire

1.1. D'après le texte, les espèces chimiques présentes sont les ions  $Na^+_{(aq)}$  et  $Cl^-_{(aq)}$  (solution aqueuse de chlorure de sodium) et l'eau ( $H_2O$ ,  $H_3O^+$  et  $HO^-$ ). Or il se forme du dichlore et du dihydrogène, les couples mis en jeu sont :  $H_2O / H_{2(g)}$  et  $Cl_2(g) / Cl^-_{(aq)}$ .

1.2.  $Cl^-$  est le réducteur du couple  $Cl_2(g) / Cl^-_{(aq)}$ , les ions chlorure peuvent être oxydés.

1.3. Une oxydation libère un ou des électrons qui vont être "pompés" par la borne + du générateur. Cette oxydation a donc lieu au niveau de l'électrode B. L'oxydation est modélisée par la demi-équation suivante :  $2Cl^-_{(aq)} = Cl_{2(g)} + 2e^-$ . Il se dégage alors du dichlore.

### 2. Étude d'un électrolyseur pour piscine

2.1. 2.1.1.	Avancement	$2 H_2O + 2 Cl^-_{(aq)} = H_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2 HO^-_{(aq)}$					$n(e^-)$ (mol)
État initial	0	excès	$n(Cl^-)_i$	0	0	0	0
État en cours de transformation	x	excès	$n(Cl^-)_i - 2x$	x	x	2x	2x
État final	$x_f$	excès	$n(Cl^-)_i - 2x_f$	$x_f$	$x_f$	$2 x_f$	$2 x_f$

2.1.2. D'après le tableau :  $n(e^-) = 2x$  et  $n_1(Cl_2) = x$  donc  $n(e^-) = 2 n_1(Cl_2)$

2.2.  $Cl_2(g) + 2 HO^-(aq) = H_2O + Cl^-(aq) + ClO^-(aq)$  (équation 2)

D'après l'équation chimique:  $n_2(Cl_2)_{consommée} = n(ClO^-)_{formée}$

2.3. Si la transformation associée à l'équation 2 est totale et rapide, tout le dichlore formé est consommé, donc

$$n_1(Cl_2) = n_2(Cl_2)_{consommée} \text{ soit } \frac{n(e^-)}{2} = n(ClO^-)_{formée}.$$

2.4. Pendant la durée  $\Delta t$ , il circule une quantité d'électricité  $Q = I.\Delta t$ . D'autre part la quantité d'électricité est liée au nombre  $N$  d'électrons ayant circulé pendant cette durée :  $Q = N.e$ .

Le nombre d'électrons ayant circulé est lié à la quantité de matière d'électrons :  $n(e^-) = N / N_A$  où  $N_A$  est la constante d'Avogadro. Donc  $N = n(e^-).N_A$  alors  $Q = n(e^-).e.N_A$ .

Il vient  $Q = n(e^-).e.N_A = I.\Delta t$ . Enfin d'après 2.3.,  $n(e^-) = 2 n(ClO^-)_{formée}$

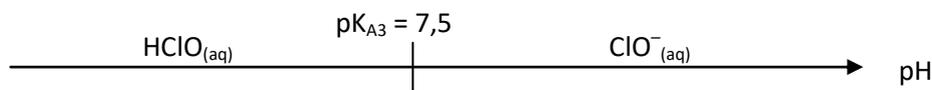
Finalement  $2 n(ClO^-)_{formée} .e.N_A = I.\Delta t$ . on a donc  $n(ClO^-) = \frac{I.\Delta t}{2N_A.e} \Delta t$  à convertir en s

$$n(ClO^-) = \frac{20 \times 3600}{2 \times 1,0.10^5} = \frac{10 \times 3600}{1,0.10^5} = \frac{3,6.10^4}{1,0.10^5} = 0,36 \text{ mol}$$

### 3. Régulation du pH de l'eau de piscine

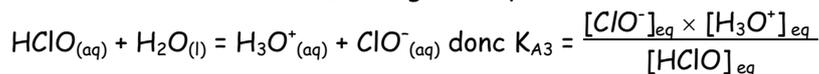
3.1. Lors d'un contrôle de pH, ...

3.1.1. Traçons un diagramme de prédominance :



À ce pH (8,5) l'espèce prédominante est l'ion hypochlorite  $ClO^-$ .

3.1.2. La constante d'acidité  $K_{A3}$  est égale au quotient de réaction à l'équilibre de la réaction suivante :



$$\text{soit } -\log(K_{A3}) = pK_{A3} = -\log\left(\frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}}\right) - \log[H_3O^+] = -\log\left(\frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}}\right) + pH$$

$$\text{alors } \log\left(\frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}}\right) = pH - pK_{A3} ; \frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}} = 10^{pH - pK_{A3}} ; \frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}} = 10^{8,5 - 7,5} = 10$$

3.2. Pour rétablir la valeur du pH, ...

3.2.1.  $ClO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} = HClO_{(aq)} + H_2O$  (équation 3)  $K = \frac{[HClO]_{eq}}{[ClO^-]_{eq} \times [H_3O^+]_{eq}}$

On remarque que  $K = \frac{1}{K_{A3}}$  alors  $K = \frac{1}{10^{-pK_{A3}}}$  donc  $K = 10^{7,5}$  (calculatrice interdite)

3.2.2. Avant l'ajout d'acide chlorhydrique  $[H_3O^+]_0 = 10^{-pH} = \frac{n_0}{V}$ .

Après l'ajout de  $n = 0,10$  mol d'acide chlorhydrique  $[H_3O^+]_i = \frac{n_0 + n}{V} = \frac{10^{-pH} \times V + n}{V}$

$$[H_3O^+]_i = \frac{10^{-8,5} \times 1,0.10^5 + 1,0.10^{-1}}{1,0.10^5} = \frac{1,0.10^{-3,5} + 1,0.10^{-1}}{1,0.10^5} \approx \frac{1,0.10^{-1}}{1,0.10^5} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$Q_{r,i} = \frac{[HClO]_i}{[ClO^-]_i \times [H_3O^+]_i} ; \text{D'après 3.1.2. } \frac{[ClO^-]_{eq}}{[HClO]_{eq}} = 10 \text{ donc } \frac{[HClO]_i}{[ClO^-]_i} = 1,0 \times 10^{-1}$$

$$Q_{r,i} = 1,0 \times 10^{-1} \times \frac{1}{1,0.10^{-6}} = 1,0 \times 10^5$$

3.2.3.  $Q_{r,i} < K$ , donc évolution de la réaction dans le sens direct.

3.2.4. Si la réaction évolue dans le sens direct, alors la concentration en ions hypochlorite  $ClO^-$  diminue et celle en acide hypochloreux  $HClO$  augmente ; donc le rapport  $\frac{[ClO^-]}{[HClO]}$  diminue.

Or  $K_{A3} = \frac{[ClO^-]_{eq} \times [H_3O^+]_{eq}}{[HClO]_{eq}}$  reste constante, donc la concentration en ions oxonium augmente.

Le pH diminue.