## Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine (4 points)

Une piscine nécessite une désinfection continue pour empêcher la croissance des algues et éliminer les bactéries pathogènes. La méthode de désinfection la plus couramment utilisée consiste à introduire dans l'eau de la piscine des ions hypochlorite $\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-(\mathrm{aq})$ formés par électrolyse. Ces ions coexistent alors avec l'acide hypochloreux $\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}(\mathrm{aq})$.

Dans cet exercice, on souhaite déterminer la durée nécessaire de l'électrolyse pour produire la quantité optimale d'ions hypochlorite.

### 1. Formation des chloramines

Les matières biologiques d'origine humaine conduisent à la formation d'ammoniaque $\mathrm{NH_3(aq)}$ qui réagit avec l'acide hypochloreux $\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}(\mathrm{aq})$ pour former des chloramines à l'origine de l'odeur « de chlore » et des irritations des yeux. Le mécanisme réactionnel de cette transformation se décompose en plusieurs actes élémentaires figurant dans l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

**Q1.** Sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter les flèches courbes pour l'acte élémentaire n° 1. Indiquer, en justifiant, s'il s'agit d'une substitution, d'une addition ou d'une élimination.

**Q2.** Établir l'équation de la réaction modélisée par le mécanisme réactionnel fourni.

### 2. L'ion hypochlorite au service de la désinfection

L'AFSSET (agence française de sécurité sanitaire environnementale et du travail) est chargée d'assurer la sécurité sanitaire des usagers des piscines. Elle recommande une concentration en masse en « chlore libre » comprise entre $2$ et $4\ \mathrm{mg{\cdot}L^{-1}}$.

**Données**

- masses molaires : $M(\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}) = 52{,}5\ \mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$ ; $M(\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-) = 51{,}5\ \mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$ ;
- couple acide-base associé à l'ion hypochlorite : $\mathrm{HC}\ell\mathrm{O(aq)}$ / $\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-\mathrm{(aq)}$ ;
- $\mathrm{p}K_\mathrm{A}$ du couple $\mathrm{HC}\ell\mathrm{O(aq)}$ / $\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-\mathrm{(aq)}$ : $\mathrm{p}K_\mathrm{A} = 7{,}5$ à $25°\ \mathrm{C}$ ;
- concentration standard : $c° = 1\ \mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

L'acide hypochloreux est un acide au sens de Brönsted.

**Q3.** Donner la définition d'un acide au sens de Brönsted.

**Q4.** Exprimer la constante d'acidité $K_\mathrm{A}$ du couple acide hypochloreux / ion hypochlorite en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre $[\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}]_{\text{éq}}$, $[\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-]_{\text{éq}}$, $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ et de la concentration standard $c°$.

**Q5.** Calculer le rapport des concentrations en quantité de matière $\frac{[\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}]_{\text{éq}}}$ lorsque la valeur du $\mathrm{pH}$ de l'eau de piscine est égale à $7{,}4$.

La concentration en masse $c_{\mathrm{m}}$ (en $\mathrm{g{\cdot}L^{-1}}$) de « chlore libre » recommandée par l'AFSSET est liée aux concentrations en quantité de matière $[\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}}$ (en $\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$) d'acide hypochloreux et $[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}$ (en $\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$) d'ions hypochlorite par la relation suivante :

$$c_{\mathrm{m}} = [\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}} \cdot M(\mathrm{HC\ell O}) + [\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}} \cdot M(\mathrm{C\ell O^-})$$

Dans l'eau de la piscine, à la température de $25\ °\mathrm{C}$, le rapport des concentrations en quantité de matière d'ions hypochlorite et d'acide hypochloreux est $\frac{[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}}{[\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}}} = 0{,}79$.

**Q6.** Montrer que pour atteindre le seuil $c_{\mathrm{m\ seuil}} = 2\ \mathrm{mg{\cdot}L^{-1}}$ de « chlore libre », il est nécessaire que la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite $[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}$ dans l'eau de piscine étudiée soit égale à $1{,}7{\times}10^{-5}\ \mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

## 3. Obtention des ions hypochlorite par électrolyse

Pour éliminer les bactéries et maintenir un état sanitaire optimal de l'eau de la piscine, les ions hypochlorite doivent être générés de façon continue. L'une des solutions consiste à dissoudre dans l'eau de la piscine du chlorure de sodium solide, de formule chimique $\mathrm{NaC\ell(s)}$, puis d'électrolyser la solution obtenue.

Afin d'étudier au laboratoire le principe de l'électrolyse de l'eau d'une piscine, on met en place le dispositif schématisé dans l'**ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE**.
Le tube en U est rempli avec une solution aqueuse de chlorure de sodium $(\mathrm{Na^+(aq)}+\mathrm{C\ell^-(aq)})$ dans laquelle on plonge deux électrodes en graphite reliées à un générateur de tension continue.

Les transformations chimiques qui se déroulent aux électrodes sont forcées et peuvent être modélisées par des réactions électrochimiques dont les équations s'écrivent :

- à l'électrode n° 1 : $2\ \mathrm{H_2O(\ell)} + 2\ \mathrm{e^-} \rightarrow \mathrm{H_2(g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)}$ ;
- à l'électrode n° 2 : $2\ \mathrm{C\ell^-(aq)} \rightarrow \mathrm{C\ell_2(g)} + 2\ \mathrm{e^-}$.

**Q7.** En s'appuyant sur ces équations, indiquer sur le schéma de l'**ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE** :

- le sens de circulation des électrons dans les fils conducteurs ;
- le sens du courant d'intensité $I$ ;
- la polarité du générateur.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui se produit lors de l'électrolyse s'écrit :

$$2\ \mathrm{C\ell^-(aq)} + 2\ \mathrm{H_2O(\ell)} \rightarrow \mathrm{C\ell_2(g)} + \mathrm{H_2(g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)}$$

Les ions hydroxyde $\mathrm{OH^-(aq)}$ et le dichlore $\mathrm{C\ell_2(g)}$ formés réagissent entre eux pour produire des ions hypochlorite $\mathrm{C\ell O^-(aq)}$ qui participent à la désinfection de l'eau de la piscine. Cette transformation chimique est modélisée par la réaction d'équation :

$$\mathrm{C\ell_2\ (g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)} \rightarrow \mathrm{C\ell O^-(aq)} + \mathrm{C\ell^-(aq)} + \mathrm{H_2O\ (\ell)}$$

Une piscine neuve est équipée d'un électrolyseur fonctionnant sur le même principe que dans le dispositif réalisé au laboratoire. Après le remplissage de la piscine et la dissolution de la quantité adéquate de chlorure de sodium, l'installateur met en fonctionnement l'électrolyseur.

**Données**

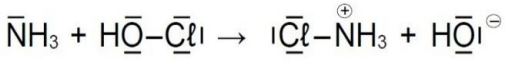
- la quantité d'électricité $Q$ (en $\mathrm{C}$) traversant une portion de circuit parcourue par un courant d'intensité constante $I$ (en $\mathrm{A}$) pendant une durée de fonctionnement $\Delta t$ (en $\mathrm{s}$) est donnée par la relation : $Q = I \cdot \Delta t$ ;
- la quantité d'électricité $Q$ (en $\mathrm{C}$) est proportionnelle à la quantité de matière d'électrons échangés $n(\mathrm{e}^-)$ (en $\mathrm{mol}$), à la constante d'Avogadro $N_A$ et à la charge électrique élémentaire $e$ (en $\mathrm{C}$) : $Q = n(\mathrm{e}^-) \cdot N_A \cdot e$ ;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$;
- charge électrique élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$ ;
- intensité du courant fourni par l'électrolyseur : $I = 5{,}0\ \mathrm{A}$ ;
- masses molaires : $M(\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}) = 52{,}5\ \mathrm{g \cdot mol}^{-1}$ ; $M(\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-) = 51{,}5\ \mathrm{g \cdot mol}^{-1}$ ;
- volume de la piscine : $V = 50\ \mathrm{m}^3$.

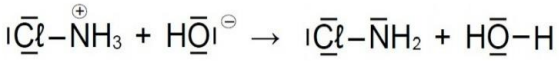
**Q8.** Sachant que la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite dans l'eau de piscine étudiée doit être égale à $1{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L}^{-1}$ pour atteindre le seuil de la norme définie par l'AFSSET en chlore libre, calculer la durée $\Delta t$ nécessaire de l'électrolyse pour atteindre ce seuil.

*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter correctement sa démarche, même non aboutie, car elle sera évaluée.*

**ANNEXES À RENDRE AVEC LA COPIE**

**Annexe 2 (Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine – Question Q1)**

Acte élémentaire n° 1 : 

Acte élémentaire n° 2 : 

**Annexe 3 (Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine – Question Q7)**

