**09/2005 Métropole** **Calculatrice interdite**

## EXERCICE I : TRAITEMENT DE L'EAU D'UNE PISCINE (4 points)

*Depuis plusieurs décennies, l'acide chlorhydrique et l'hypochlorite de sodium sont utilisés dans les piscines (1). 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 (www.belgochlor.be)*

*(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.*

### 1. 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 ($Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$ ). 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 $HO^-$.*
*L'équation de la réaction modélisant l'électrolyse est :*

$$2\ H_2O + 2\ Cl^-_{(aq)} = H_{2\,(g)} + Cl_{2\,(g)} + 2\ HO^-_{(aq)}$$ ***(équation 1)***

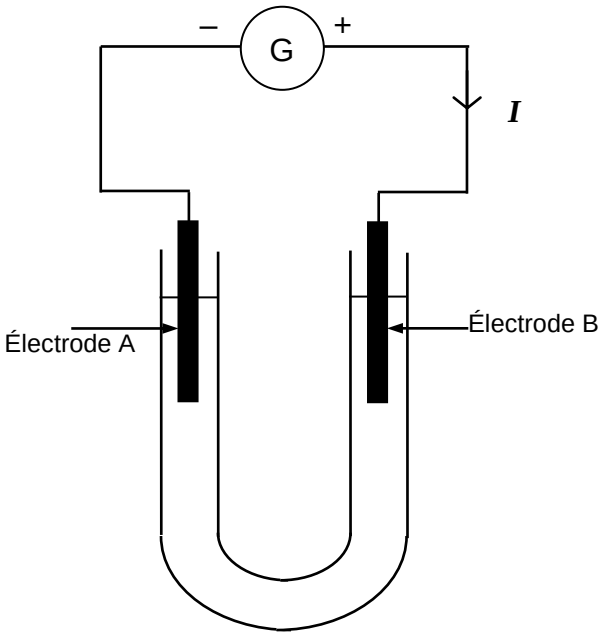



**Figure 1**

*Données : couples oxydant/réducteur :*
$H_2O / H_{2\,(g)}$ ; $Cl_{2\,(g)} / Cl^-_{(aq)}$ ; $O_{2\,(g)} / H_2O$ ; $ClO^-_{(aq)} / Cl_{2\,(g)}$

1.1. À partir des indications de l'énoncé, identifier les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu dans l'équation 1 modélisant l'électrolyse.
1.2. En déduire l'espèce chimique oxydée.
1.3. Identifier l'électrode (A ou B) à laquelle se produit l'oxydation. Quel gaz se dégage à cette électrode ?

## 2. 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 :** $N_A.e = 1{,}0 \times 10^5\ C.mol^{-1}$
avec $N_A$ constante d'Avogadro et e charge élémentaire

2.1. *Dans ce dispositif, l'électrolyse de la solution de chlorure de sodium est modélisée par l'équation 1 précédente :*

$$2\ H_2O + 2\ Cl^-_{(aq)} = H_{2\,(g)} + Cl_{2\,(g)} + 2\ HO^-_{(aq)}$$ ***(équation 1)***

2.1.1. Compléter le tableau d'avancement fourni **EN ANNEXE RENDRE AVEC LA COPIE.**
2.1.2. En déduire la relation entre la quantité $n(e^-)$, en mole, d'électrons échangés et la quantité $n_1(Cl_2)$ de dichlore formé lors de la réaction d'équation 1.

2.2. *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 :*

$$Cl_{2\,(g)} + 2\ HO^-_{(aq)} = ClO^-_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + H_2O$$ ***(équation 2)***

Établir la relation entre la quantité $n(ClO^-)$ d'ions hypochlorite formés et la quantité $n_2(Cl_2)$ de dichlore consommé dans la réaction d'équation 2.

2.3. La transformation associée à l'équation 2 étant supposée totale et rapide, en déduire la relation entre $n(e^-)$ et $n(ClO^-)$.
2.4. En déduire et calculer la quantité de matière maximale d'ions hypochlorite que peut fournir cet appareil, en une heure de fonctionnement.

## 3. 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 :*

$H_3O^+_{(aq)} / H_2O$ ; $pK_{A_1} = 0$

$H_2O / HO^-_{(aq)}$ ; $pK_{A_2} = 14$

acide hypochloreux/ion hypochlorite : $HClO_{(aq)} / ClO^-_{(aq)}$ ; $pK_{A_3} = 7{,}5$

3.1. *Lors d'un contrôle de pH, la sonde mesure la valeur pH = 8,5. Le pH de cette eau, plus élevé que celui de l'humeur aqueuse de l'œil humain, est responsable de l'irritation des yeux.*

3.1.1. À ce pH, indiquer l'espèce prédominante du couple $HClO_{(aq)}/ClO^-_{(aq)}$.

3.1.2. 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).

3.2. *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 :*

$$ClO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} = HClO_{(aq)} + H_2O \quad \textbf{(équation 3)}$$

3.2.1. Exprimer la constante d'équilibre K de cette réaction en fonction de $K_{A_3}$ . Calculer K.

3.2.2. *L'état initial du système est défini ainsi :*

- *le volume de l'eau de la piscine est $V = 1{,}0\times10^5$ L.*
- *on introduit 0,10 mol d'ions $H_3O^+$ par ajout d'acide chlorhydrique.*
- *le rapport $\dfrac{[ClO^-]_i}{[HClO]_i}$ est égal à celui calculé au 3.1.2.*

3.2.2.a. Calculer la concentration molaire effective initiale en ions $H_3O^+$ notée $[H_3O^+]_i$ .

3.2.2.b. Calculer le quotient de réaction initial Qr,i.

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

3.2.4. À partir de l'expression de la constante d'acidité $K_{A_3}$ du couple acide hypochloreux/ion hypochlorite et du rapport $\dfrac{[ClO^-]_i}{[HClO]_i}$ calculé au 3.1.2., montrer que le pH de l'eau de la piscine diminue.

## EXERCICE I

Question 2.1.1.

| | Avancement | $2H_2O$ + $2\ Cl^-_{(aq)}$ = | $H_{2\ (g)}$ + | $Cl_{2\ (g)}$ + | $2\ HO^-_{(aq)}$ | Quantité (en mol) d'électrons échangés |
|---|---|---|---|---|---|---|
| État initial | 0 | excès | $n(Cl^-)_i$ | 0 | 0 | 0 |
| État en cours de transformation | x | excès | | | | |
| État final | $x_f$ | excès | | | | |