

Exercice n°1 : Nettoyage par électrolyse d'une piscine (inspiré de CCP TSI 2017)

On s'intéresse à un système de désinfection de l'eau de piscine par électrolyse au sel.

Document 1 - Électrolyse de sel

« L'électrolyse de sel » est un système de désinfection de l'eau de piscine dont le principe est de fabriquer du « chlore actif » à partir du sel préalablement dissous dans l'eau de la piscine.

Une petite quantité de chlore est libérée de façon permanente, ce qui assure la désinfection de l'eau. Conseil : adjoindre à l'électrolyseur une régulation de pH automatique car le procédé d'électrolyse fait monter le pH de l'eau.

Document 2 - Fonctionnement de « l'électrolyse de sel »

Du sel est mis directement dans la piscine (environ $4,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ la mer étant 9 fois plus salée).

Dès que le système de filtration est en marche, le cycle de transformation en 3 étapes peut commencer :

1. Formation de « chlore actif »

Une cellule d'électrolyseur, munie d'électrodes en titane, est placée sur le circuit de filtration, en aval, sur le circuit « retour piscine ».

Ces électrodes sont polarisées par un courant continu à basse tension (4 à 7 V).

Quand l'eau passe entre les électrodes, il se produit :

- sur l'électrode positive (+) l'oxydation des ions chlorure qui aboutit à la formation de dichlore;
- sur l'électrode négative (-) la réduction de l'eau produisant un dégagement de dihydrogène gazeux.

En réagissant sur les ions HO^- , le dichlore se transforme en ion hypochlorite.

2. Action désinfectante du « chlore actif »

Comme le dichlore, l'ion hypochlorite ClO^- en solution aqueuse est un puissant désinfectant qui élimine les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, algues...) avec une grande efficacité.

3. Régénération des ions chlorure

Une fois sa mission désinfectante accomplie et sous l'effet des UV, les ions hypochlorite sont à nouveau transformés sous forme d'ions chlorure. C'est pourquoi on n'a jamais cette sensation désagréable de chlore dans la piscine.

Données :

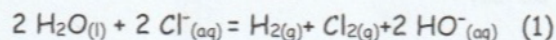
Constante de Faraday : $F = 96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

Couples rédox : $E^\circ(\text{Cl}_{2(g)}/\text{Cl}^-_{(aq)})$, $E^\circ(\text{H}^+_{(aq)}/\text{H}_{2(g)})$, $E^\circ(\text{ClO}^-_{(aq)}/\text{Cl}_{2(g)})$

Couples acido-basiques : $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}/\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{pKa}(\text{HSO}_4^-_{(aq)}/\text{SO}_4^{2-}_{(aq)}) = 1.9$, $\text{pKa}(\text{HCO}_3^-_{(aq)}/\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}) = 6.3$, $\text{pKa}(\text{HClO}_{(aq)}/\text{ClO}^-_{(aq)}) = 7.5$

Masses molaires atomiques (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : $M(\text{O}) = 16.0$; $M(\text{Na}) = 23.0$; $M(\text{Cl}) = 35.5$; $M(\text{C}) = 12$, $M(\text{Ca}) = 40$.

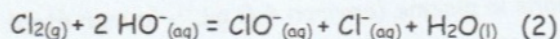
- 1) Les ions chlorure, la molécule de dichlore... correspondent à l'élément chlore. A quelle famille appartient l'élément chlore?
- 2) Donner la définition d'un oxydant.
- 3) Écrire la demi-équation d'oxydoréduction se produisant à l'électrode positive de l'électrolyseur.
- 4) Écrire la demi-équation d'oxydoréduction se produisant à l'électrode négative
- 5) En déduire l'équation bilan de l'électrolyse.
- 6) La réaction se faisant en milieu légèrement basique, on fait apparaître dans l'équation bilan d'une réaction rédox les ions OH^- plutôt que H^+ . Montrer que l'équation bilan de l'électrolyse est alors :



La tension aux bornes de la cellule d'électrolyse est de 7,0 V et l'intensité du courant est de 15 A. Sur la notice de la cellule d'électrolyseur, on peut lire : « production de dichlore : 19 g/h ».

- 7) Montrer que la masse de dichlore produite est conforme à l'information indiquée sur la notice.

Les ions hydroxyde et le dichlore formés sont consommés lors d'une nouvelle transformation chimique, supposée rapide et totale, dont l'équation est :



- 8) Déterminer les nombres d'oxydation du chlore dans Cl_2 , ClO^- et Cl^- .
- 9) En déduire le nom donné à la réaction (2).

La régulation du pH est essentielle dans le traitement de l'eau des piscines.

En s'assurant que le pH de l'eau est proche de 7,4 (valeur du pH du liquide lacrymal), il est notamment possible de réduire la sensation de picotement des yeux. Un écart de 0,2 par rapport à cette valeur est acceptable.

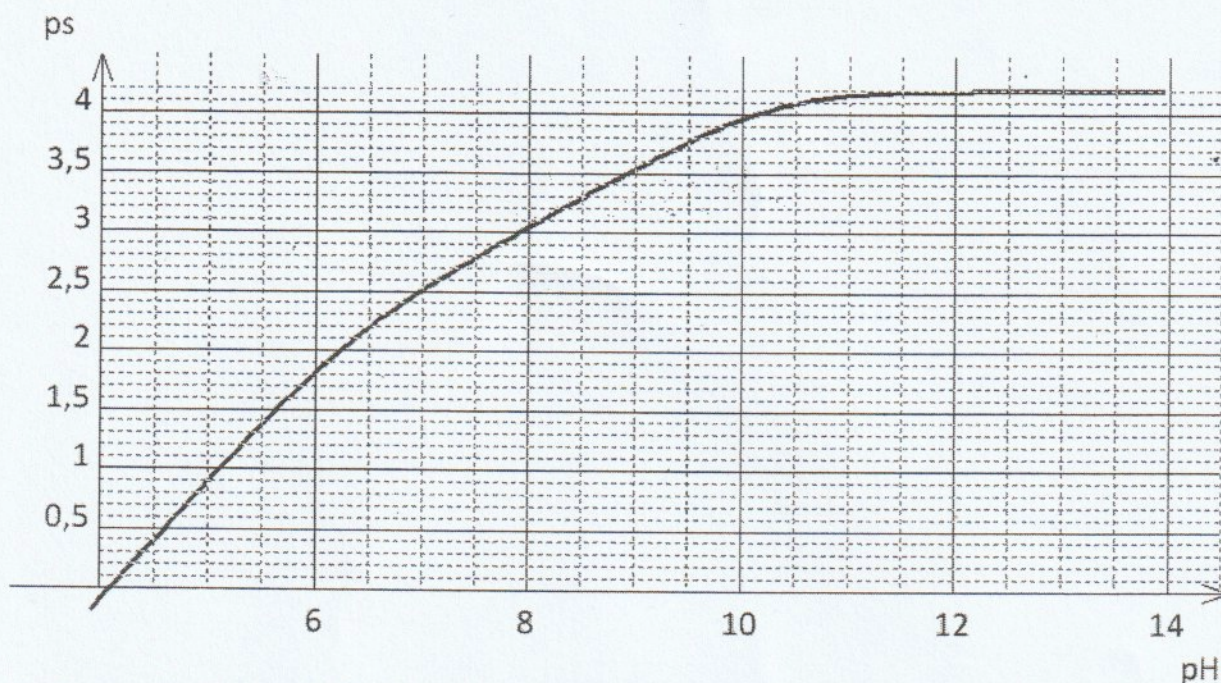
On réalise un contrôle de pH de l'eau de la piscine. On mesure la valeur $\text{pH} = 8,2$.

- 10) A ce pH, indiquer l'espèce prédominante du couple $\text{HClO}_{(aq)}/\text{ClO}^-_{(aq)}$.
- 11) Calculer le rapport des concentrations de ces espèces.

Si le pH est supérieur à 8, l'eau devient trouble et blanchâtre : on observe la précipitation des ions calcium Ca^{2+} sous la forme de calcaire ou carbonate de calcium $\text{CaCO}_{3(s)}$. A 298K, le produit de solubilité du calcaire est $K_s = 10^{-8,4}$.

- 12) Écrire l'équation de la réaction de dissolution du carbonate de calcium dans l'eau en négligeant dans cette question les propriétés basiques des ions carbonate. Exprimer alors la solubilité du carbonate de calcium et en déduire sa valeur à 298 K exprimée en mg.L^{-1} .
- 13) En réalité, la solubilité dans l'eau pure à 298 K est de l'ordre de 15 mg.L^{-1} , évaluer, à l'aide du graphe ci-dessous, le pH d'une solution saturée en carbonate de calcium. En déduire les espèces majoritairement présentes dans le milieu.

On donne ci-après la courbe de $\text{ps} = -\log(s/C^\circ)$ en fonction du pH où s représente la solubilité du carbonate de calcium.



14) Comment varie la solubilité du carbonate de calcium dans l'eau si le pH diminue.

On dispose de deux produits en granulés pour piscines appelés pH-plus, pour augmenter le pH de l'eau et pH-moins, pour diminuer le pH de l'eau. Malheureusement, l'étiquette des produits n'est plus totalement lisible (Figure 1).



Figure 1 - Étiquettes des produits

- 15) Donner la signification du pictogramme situé sur l'étiquette de gauche (granulés de Na_2CO_3) et en déduire les précautions à prendre lors de l'utilisation du produit.
- 16) Ecrire les équations de dissolution des composés ioniques $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$ et $\text{NaHSO}_4(\text{s})$.
- 17) En justifiant précisément la réponse, déterminer le produit à utiliser pour retrouver un pH optimal et en déduire les espèces chimiques présentes dans les granulés « pH-moins » et « pH-plus ».