Traitement de l'eau d'une piscine

Bac 2026 Antilles Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

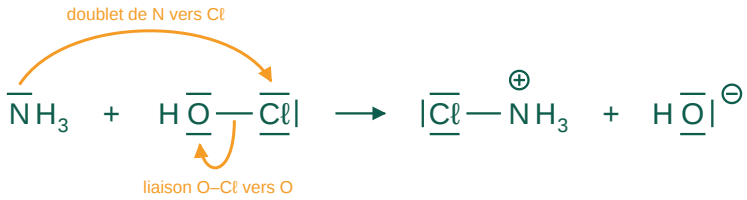
Q1 Représenter les flèches courbes de l'acte élémentaire n° 1 sur l'annexe 2. Indiquer, en justifiant, s'il s'agit d'une substitution, d'une addition ou d'une élimination.

Flèches courbes (voir l'annexe complétée) :

- une flèche part du doublet non liant de l'atome d'azote de NH_3 (site donneur) et pointe vers l'atome de chlore de $HO-Cl$ (site accepteur) : la liaison $Cl-N$ se forme ;
- une flèche part de la liaison $O-Cl$ et pointe vers l'atome d'oxygène : cette liaison se rompt et son doublet devient un doublet non liant de l'ion HO^-.

Sur l'atome de chlore, le groupe HO est remplacé par le groupe NH_3.

L'acte élémentaire n° 1 est une **substitution** : un groupe d'atomes en remplace un autre.



Q1 · Annexe 2 complétée : flèches courbes de l'acte élémentaire n° 1

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet d'électrons (non liant ou liaison), jamais d'un atome ni d'une charge, et pointe vers l'atome accepteur.

COMPRENDRE
L'oxygène est plus électronégatif que le chlore : dans $HO-Cl$, le chlore porte une charge partielle positive, c'est le site accepteur. L'oxygène garde le doublet de la liaison rompue.

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

On additionne membre à membre les deux actes élémentaires. Les intermédiaires réactionnels $ClNH_3^+$ et HO^-, formés par l'acte n° 1 et consommés par l'acte n° 2, se simplifient.

$$NH_3 + HClO \longrightarrow NH_2Cl + H_2O$$

MÉTHODE
Un intermédiaire réactionnel est produit par un acte puis consommé par un autre : il n'apparaît jamais dans l'équation de la réaction. Vérifier ensuite la conservation des éléments et des charges.

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

Un acide au sens de Brönsted est une espèce chimique capable de céder un ion hydrogène H^+.

COMPRENDRE
Ici, $HClO$ cède un ion H^+ et devient sa base conjuguée ClO^-.

Q4 Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide hypochloreux / ion hypochlorite en fonction des concentrations à l'équilibre et de c°.

Réaction de l'acide avec l'eau :

$$HClO\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons ClO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

$$K_A = \frac{[ClO^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[HClO]_{éq} \times c^\circ}$$

PIÈGE
L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans K_A. Ne pas inverser le quotient : les produits (base et H_3O^+) sont au numérateur.

Q5 Calculer le rapport $\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{[\mathrm{HClO}]_{éq}}$ lorsque le pH de l'eau de piscine est égal à 7,4.

Données utiles $\mathrm{p}K_A = 7{,}5$; $\mathrm{pH} = 7{,}4$; K_A (Q4)

D'après Q4 : $\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{[\mathrm{HClO}]_{éq}} = \frac{K_A \times c^\circ}{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}$, avec $K_A = 10^{-\mathrm{p}K_A}$ et $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$.

$$\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{[\mathrm{HClO}]_{éq}} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A} = 10^{7{,}4-7{,}5} = 10^{-0{,}1}$$

$$\boxed{\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{[\mathrm{HClO}]_{éq}} = 0{,}79}$$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$10^{7.4-7.5}$

$\approx$ 0.7943282

COMPRENDRE
Le rapport est inférieur à 1 : comme $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, l'acide HClO prédomine, de peu. Deux chiffres significatifs : c'est la valeur 0,79 que l'énoncé reprend ensuite.

MÉTHODE
La relation $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A + \log\frac{[\text{base}]}{[\text{acide}]}$ donne le même résultat directement ; on la retrouve en prenant le logarithme de K_A.

Q6 Montrer que, pour atteindre le seuil $c_{\text{m seuil}} = 2\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$ de « chlore libre », la concentration $[\mathrm{ClO^-}]_{éq}$ doit être égale à $1{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

Données utiles $M(\mathrm{HClO}) = 52{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{ClO^-}) = 51{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{[\mathrm{HClO}]_{éq}} = 0{,}79$; $c_{\text{m seuil}} = 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$

Le rapport donne $[\mathrm{HClO}]_{éq} = \frac{[\mathrm{ClO^-}]_{éq}}{0{,}79}$. On remplace dans la relation de l'énoncé :

$$c_{\mathrm{m}} = [\mathrm{ClO^-}]_{éq} \times \left(\frac{M(\mathrm{HClO})}{0{,}79} + M(\mathrm{ClO^-})\right)$$

$$[\mathrm{ClO^-}]_{éq} = \frac{c_{\text{m seuil}}}{\frac{M(\mathrm{HClO})}{0{,}79} + M(\mathrm{ClO^-})} = \frac{2 \times 10^{-3}}{\frac{52{,}5}{0{,}79} + 51{,}5}$$

$\boxed{[\mathrm{ClO^-}]_{éq} = 1{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$: c'est bien la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2 \times 10^{-3}}{\frac{52.5}{0.79} + 51.5}$

$\approx$ 1.695552×10^{-5}

PIÈGE
Convertir le seuil en $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$: $2\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}} = 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, car les masses molaires sont en $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

MÉTHODE
Deux inconnues, deux relations (le rapport et c_{m}) : exprimer une concentration en fonction de l'autre, remplacer, puis isoler l'inconnue avant de passer aux valeurs.

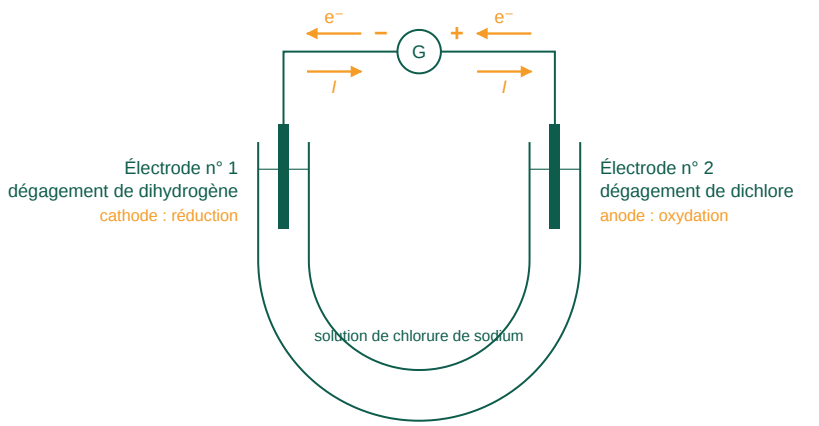
Q7 Indiquer sur le schéma de l'annexe 3 le sens de circulation des électrons dans les fils, le sens du courant d'intensité I et la polarité du générateur.

À l'électrode n° 1, $2\,H_2O\,(l) + 2\,e^- \longrightarrow H_2\,(g) + 2\,HO^-\,(aq)$: des électrons sont consommés (réduction). Ils arrivent donc par le fil sur l'électrode n° 1.

À l'électrode n° 2, $2\,Cl^-\,(aq) \longrightarrow Cl_2\,(g) + 2\,e^-$: des électrons sont libérés (oxydation). Ils quittent donc l'électrode n° 2 par le fil.

Dans les fils, les électrons circulent de l'électrode n° 2 vers l'électrode n° 1 en traversant le générateur. Le courant circule en sens inverse : il sort du générateur par sa borne $+$.

Borne $-$ du générateur reliée à l'électrode n° 1, borne $+$ reliée à l'électrode n° 2 ; le courant I va de la borne $+$ vers l'électrode n° 2 et revient de l'électrode n° 1 vers la borne $-$.



Q7 · Annexe 3 complétée : sens des électrons, sens du courant et polarité du générateur

PIÈGE
Ne pas raisonner comme pour une pile. Dans une électrolyse, le générateur impose le sens : l'électrode où a lieu la réduction (cathode) est reliée à la borne $-$.

COMPRENDRE
Le sens conventionnel du courant est opposé au sens de déplacement des électrons, porteurs de charge négative.

Q8 Calculer la durée Δt de l'électrolyse nécessaire pour que la concentration en ions hypochlorite dans l'eau de la piscine atteigne $1{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $[\text{ClO}^-] = 1{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q6) ; $V = 50\ \text{m}^3$; $I = 5{,}0\ \text{A}$; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C}$

Quantité d'ions hypochlorite à former, avec $V = 50\ \text{m}^3 = 5{,}0 \times 10^4\ \text{L}$:

$n(\text{ClO}^-) = [\text{ClO}^-] \times V = 1{,}7 \times 10^{-5} \times 5{,}0 \times 10^4 = 0{,}85\ \text{mol}$

D'après $\text{Cl}_2\,(\text{g}) + 2\,\text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{ClO}^-\,(\text{aq}) + \text{Cl}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$: une mole de dichlore donne une mole d'ions hypochlorite, donc $n(\text{Cl}_2) = n(\text{ClO}^-)$.

D'après $2\,\text{Cl}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}_2\,(\text{g}) + 2\,\text{e}^-$: la formation d'une mole de dichlore met en jeu deux moles d'électrons, donc $n(\text{e}^-) = 2\,n(\text{Cl}_2) = 2\,n(\text{ClO}^-) = 1{,}7\ \text{mol}$.

Or $Q = I \times \Delta t$ et $Q = n(\text{e}^-) \times N_A \times e$, donc :

$$\Delta t = \frac{2\,[\text{ClO}^-] \times V \times N_A \times e}{I} = \frac{2 \times 0{,}85 \times 6{,}02 \times 10^{23} \times 1{,}6 \times 10^{-19}}{5{,}0}$$

$\Delta t = 3{,}3 \times 10^4\ \text{s}$, soit environ $9{,}1\ \text{h}$.

PIÈGE

Convertir le volume en litres ($1\ \text{m}^3 = 10^3\ \text{L}$) et ne pas oublier le facteur 2 : deux électrons échangés par molécule de dichlore, donc par ion hypochlorite formé.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme I, e et la concentration. Ce calcul suit l'énoncé : il ne compte pas les ions ClO^- qui se transforment ensuite en HClO ; la durée réelle serait plus longue.

MÉTHODE

Électrolyse : 1) quantité de produit voulue ; 2) quantité d'électrons grâce aux équations ; 3) $Q = n(\text{e}^-) \times N_A \times e$; 4) $\Delta t = Q \div I$.

À LA CALCULATRICE

