Décapage d'une pièce en aluminium

Bac 2021 Amérique du Nord Sujet 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

A.1 Écrire l'équation de dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

Le chlorure d'hydrogène réagit totalement avec l'eau, à laquelle il cède un ion H^+ :

$$HCl\,(g) + H_2O\,(l) \longrightarrow H_3O^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

COMPRENDRE
L'acide chlorhydrique est une solution d'acide fort : il ne reste pas de molécules HCl en solution, d'où la flèche simple. Une mole de gaz dissous apporte une mole d'ions H_3O^+.

A.2 Déterminer la concentration en quantité de matière de chlorure d'hydrogène apportée C_S de la solution S.

Données utiles $V_{gaz} = 150$ L ; $V = 1{,}00$ L ; $P = 1013$ hPa ; $\theta = 20\ ^\circ$C ; $R = 8{,}32\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Le gaz est supposé parfait : $PV_{gaz} = nRT$, donc $n = \dfrac{PV_{gaz}}{RT}$.

Toute cette quantité est dissoute dans le volume V de solution :

$$C_S = \frac{n}{V} = \frac{PV_{gaz}}{RTV}$$

Unités : $P = 1013 \times 10^2$ Pa ; $V_{gaz} = 0{,}150\ \text{m}^3$; $T = 20 + 273{,}15 = 293{,}15$ K.

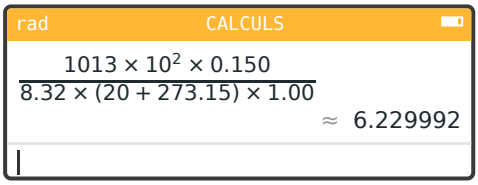
$$C_S = \frac{1013 \times 10^2 \times 0{,}150}{8{,}32 \times 293{,}15 \times 1{,}00}$$

$$C_S = 6{,}23\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

PIÈGE
Avec R en $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, la pression se met en pascals, le volume de gaz en mètres cubes et la température en kelvins. Laisser 150 L donne un résultat mille fois trop grand.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme V_{gaz}, V et R. Le volume V de la solution reste en litres, puisqu'on veut des $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



A.3 Justifier, en développant le raisonnement, l'évolution qualitative de la pente de la courbe de titrage conductimétrique.

Données utiles conductivités molaires ioniques en $\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: Na^+ 50 ; Cl^- 76 ; H_3O^+ 350 ; HO^- 200

Réaction support du titrage : $H_3O^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$. Les ions Na^+ et Cl^- sont spectateurs. La conductivité est la somme des contributions des ions : $\sigma = \sum \lambda_i\,[X_i]$.

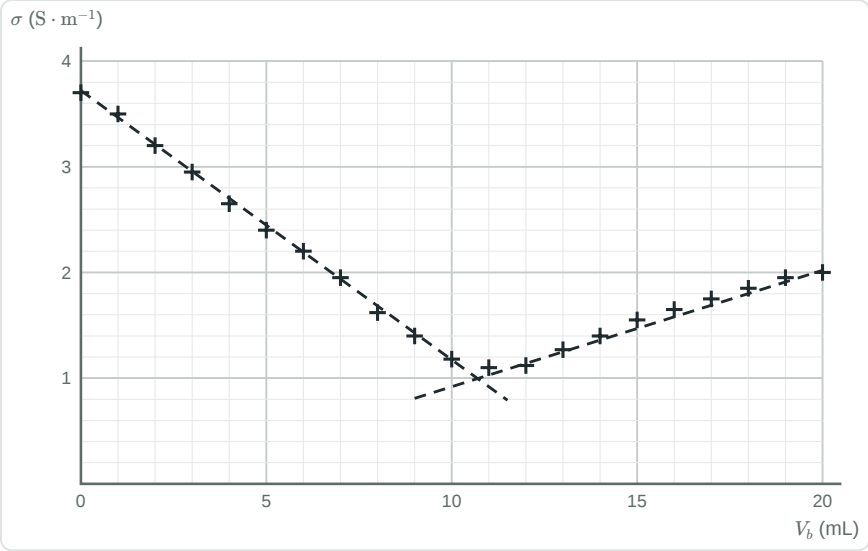
Avant l'équivalence : chaque ion HO^- versé est consommé et fait disparaître un ion H_3O^+, tandis qu'un ion Na^+ s'ajoute à la solution ; la quantité d'ions Cl^- ne change pas. Tout se passe comme si un ion H_3O^+ était remplacé par un ion Na^+, sept fois moins conducteur ($50 < 350$) : σ diminue, la pente est négative.

Après l'équivalence : il n'y a plus d'ions H_3O^+. Les ions Na^+ et HO^- versés s'accumulent sans réagir : σ augmente, la pente est positive.

La pente est négative avant l'équivalence (remplacement de H_3O^+ par Na^+, moins conducteur), puis positive après (ajout de Na^+ et HO^- en excès) ; la rupture de pente repère l'équivalence.

PIÈGE
Dire seulement « les ions H_3O^+ disparaissent » ne suffit pas : il faut citer l'arrivée des ions Na^+ et comparer les deux valeurs de λ, sinon le signe de la pente n'est pas justifié.

MÉTHODE
Pour chaque portion de la courbe : lister les ions présents, dire pour chacun si sa concentration augmente, diminue ou reste stable, puis comparer les conductivités molaires ioniques de ceux qui varient.



A.3 · Courbe du sujet : les deux portions de droite se coupent à l'équivalence, vers $V_b \approx 11$ mL

B.1 Indiquer si l'équation de la réaction de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium traduit une réaction acido-basique ou une réaction d'oxydo-réduction. Justifier.

L'aluminium métallique devient un ion Al^{3+} : il perd des électrons, il est oxydé.

$$Al(s) = Al^{3+}(aq) + 3\,e^-$$

Les ions H_3O^+ donnent du dihydrogène : ils captent ces électrons, ils sont réduits.

$$2\,H_3O^+(aq) + 2\,e^- = H_2(g) + 2\,H_2O(l)$$

En multipliant la première demi-équation par 2 et la seconde par 3, on retrouve l'équation du sujet (6 électrons échangés).

Il y a transfert d'électrons du réducteur Al vers l'oxydant H_3O^+ : c'est une réaction d'oxydo-réduction.

PIÈGE
La présence de H_3O^+ ne fait pas une réaction acido-basique. Un acide céderait un ion H^+ à une base ; ici aucune base ne le reçoit et il se forme du dihydrogène.

COMPRENDRE
Couples mis en jeu : Al^{3+} / Al et H_3O^+ / H_2. Le gaz incolore et très inflammable décrit par l'énoncé est le dihydrogène.

B.2 Déterminer la concentration C en quantité de matière d'ions H_3O^+ de la solution à utiliser pour que le décapage cesse lorsque 0,10 % de la masse d'aluminium a réagi.

Données utiles $m_{pièce} = 350$ g ; $V = 1{,}00$ L ; $M(Al) = 27{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; transformation totale

Masse d'aluminium à faire réagir : $m_{Al} = \dfrac{0{,}10}{100} \times 350 = 0{,}35$ g.

Le décapage s'arrête quand les ions H_3O^+ sont épuisés : ils doivent être le réactif limitant, l'aluminium restant en large excès. D'après l'équation, 6 mol de H_3O^+ réagissent avec 2 mol de Al :

$$\frac{n(H_3O^+)}{6} = \frac{n(Al)}{2} \quad \text{donc} \quad n(H_3O^+) = 3\,n(Al) = \frac{3\,m_{Al}}{M(Al)}$$

$$C = \frac{n(H_3O^+)}{V} = \frac{3\,m_{Al}}{M(Al)\,V} = \frac{3 \times 0{,}35}{27{,}0 \times 1{,}00}$$

$$C = 3{,}9 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$$

PIÈGE
Calculer avec les 350 g de la pièce entière, ou oublier le facteur 3 des nombres stœchiométriques $(6/2)$. 0,10 % signifie un millième, pas un dixième.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, imposés par « 0,10 % ». Pour la suite, on garde la valeur non arrondie en mémoire dans la calculatrice.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.10}{100} \times 350$ ≈ 0.35

$\frac{3 \times 0.35}{27.0 \times 1.00}$ ≈ 0.03888889

B.3 Déterminer la dilution à appliquer à la solution commerciale à 23 % en masse pour décaper correctement la pièce d'aluminium.

Données utiles titre massique 23 % ; $\rho_{sol} = 1{,}15\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M(\text{HCl}) = 1{,}0 + 35{,}5 = 36{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $C = 3{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (B.2)

Concentration C_0 de la solution commerciale. Un litre de cette solution a une masse $m_{sol} = \rho_{sol} \times 1000 = 1150$ g et contient $m_{\text{HCl}} = \frac{23}{100} \times 1150 = 264{,}5$ g de chlorure d'hydrogène dissous.

$$C_0 = \frac{m_{\text{HCl}}}{M(\text{HCl}) \times 1{,}00} = \frac{264{,}5}{36{,}5} = 7{,}2\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Dilution. La quantité de matière de soluté se conserve : $C_0\,V_0 = C\,V$. Le facteur de dilution est

$$F = \frac{C_0}{C} = \frac{7{,}25}{3{,}89 \times 10^{-2}} \approx 1{,}9 \times 10^{2}$$

Pour préparer $V = 1{,}00$ L de solution de décapage : $V_0 = \frac{C\,V}{C_0} = \frac{3{,}89 \times 10^{-2} \times 1{,}00}{7{,}25} = 5{,}4 \times 10^{-3}$ L.

Il faut diluer la solution commerciale environ 190 fois : $V_0 = 5{,}4$ mL de solution commerciale, complétés à 1,00 L avec de l'eau distillée.

PIÈGE
Les 23 % portent sur la masse de solution, pas sur son volume : il faut passer par la masse d'un litre de solution, donc convertir ρ_{sol} en $1150\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

COMPRENDRE
Un volume de 5,4 mL se prélève à la pipette graduée et se verse dans une fiole jaugée de 1,00 L. On peut aussi peser la solution commerciale : $1{,}15 \times 5{,}4 \approx 6{,}2$ g.

MÉTHODE
Titre massique w et masse volumique donnent la concentration : $C_0 = \frac{w\,\rho_{sol}}{M}$, avec ρ_{sol} en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Ensuite, toute dilution se traite avec $C_0\,V_0 = C\,V$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{23}{100} \times 1.15 \times 1000$ ≈ 264.5

$\frac{264.5}{36.5}$ ≈ 7.246575

$\frac{7.246575342}{0.03888888889}$ ≈ 186.3405

$\frac{0.03888888889 \times 1.00}{7.246575342}$ ≈ 0.00536652