Degré d'hydratation du chlorure de magnésium

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution de la poudre du sachet dans l'eau.

Le solide ionique se dissocie en ses ions, qui passent en solution :

$$\mathrm{MgCl_2\,(s) \longrightarrow Mg^{2+}\,(aq) + 2\,Cl^-\,(aq)}$$

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 devant $\mathrm{Cl^-}$: il sert à la question 5. Vérifier la neutralité électrique : $(+2) + 2 \times (-1) = 0$.

COMPRENDRE
L'eau d'hydratation du solide rejoint simplement le solvant : elle peut être omise. Si on part de la formule hydratée, on ajoute $4{,}5\ \mathrm{H_2O\,(l)}$ du côté des produits.

2 Décrire précisément un protocole expérimental pour préparer 100,0 mL de solution S_2 à partir de la solution S_1.

Données utiles facteur de dilution $F = 5$; volume à préparer $V_{\text{fille}} = 100{,}0$ mL

Volume de solution S_1 à prélever : $V_{\text{mère}} = \dfrac{V_{\text{fille}}}{F} = \dfrac{100{,}0}{5} = 20{,}0\ \text{mL}$.

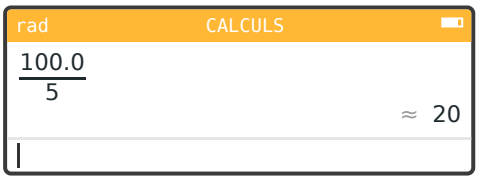
- Verser un peu de solution S_1 dans un bécher. Y prélever 20,0 mL avec une pipette jaugée de 20,0 mL munie d'une propipette.
- Introduire ce prélèvement dans une fiole jaugée de 100,0 mL.
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'aux trois quarts, boucher et agiter.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque sur le trait), boucher et homogénéiser.

On prélève $V_{\text{mère}} = 20{,}0\ \text{mL}$ de S_1 (pipette jaugée), dilués dans une fiole jaugée de 100,0 mL.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : seule la verrerie jaugée (pipette, fiole) a la précision attendue, et sa contenance doit être indiquée.

MÉTHODE
Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $C_{\text{mère}} V_{\text{mère}} = C_{\text{fille}} V_{\text{fille}}$, d'où $F = \dfrac{C_{\text{mère}}}{C_{\text{fille}}} = \dfrac{V_{\text{fille}}}{V_{\text{mère}}}$.

À LA CALCULATRICE



3 Les ions $\mathrm{Mg^{2+}}$ et $\mathrm{NO_3^-}$ sont des espèces spectatrices lors du titrage. Indiquer la signification de l'adjectif « spectatrice ».

Une espèce spectatrice est présente dans le milieu réactionnel mais n'intervient pas dans la réaction support du titrage : elle n'est ni consommée ni formée.

COMPRENDRE
Spectatrice ne veut pas dire sans effet : ces ions conduisent le courant et comptent dans la conductivité. La quantité de $\mathrm{NO_3^-}$ dans le bécher augmente même à chaque ajout de solution titrante.

4 En utilisant les conductivités molaires ioniques, justifier l'allure de la courbe obtenue et déterminer le volume à l'équivalence du titrage.

Données utiles en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: $\lambda(Mg^{2+}) = 10{,}61$; $\lambda(Cl^-) = 7{,}63$; $\lambda(Ag^+) = 6{,}19$; $\lambda(NO_3^-) = 7{,}14$

Loi de Kohlrausch : $\sigma = \lambda(Mg^{2+})[Mg^{2+}] + \lambda(Cl^-)[Cl^-] + \lambda(NO_3^-)[NO_3^-] + \lambda(Ag^+)[Ag^+]$.

Le volume du mélange varie peu (200 mL d'eau ajoutés) : la dilution est négligée. La quantité d'ions Mg^{2+} reste constante.

Avant l'équivalence : chaque ion Ag^+ versé est consommé et fait disparaître un ion Cl^-, tandis qu'un ion NO_3^- est apporté. Un ion Cl^- est donc remplacé par un ion NO_3^- un peu moins conducteur ($7{,}14 < 7{,}63$) : σ diminue légèrement.

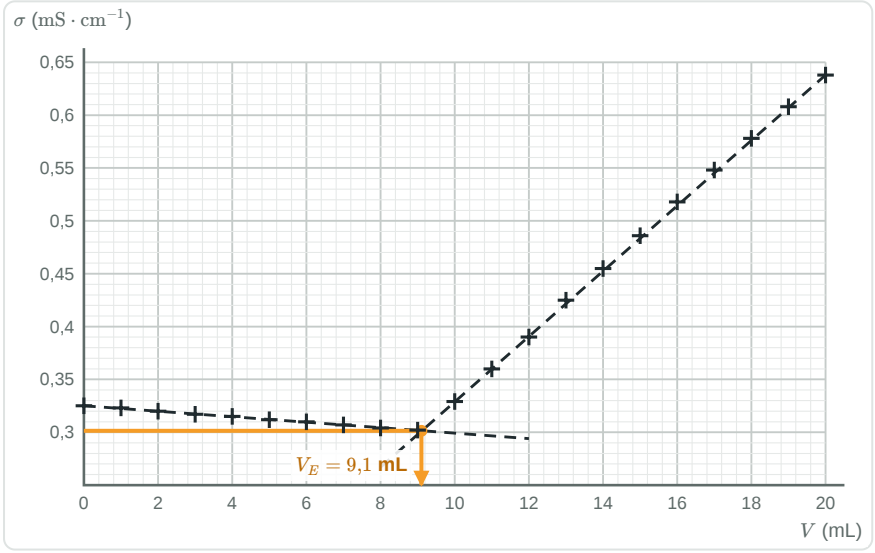
Après l'équivalence : il n'y a plus d'ions Cl^-. Les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent : σ augmente nettement.

La courbe est donc formée de deux portions de droite. Leur point d'intersection donne l'équivalence :

$$\boxed{V_E = 9{,}1 \text{ mL}}$$

PIÈGE
Dire seulement « la conductivité baisse puis monte ». La justification attendue compare des valeurs de λ : NO_3^- remplace Cl^- avant l'équivalence, Ag^+ et NO_3^- s'ajoutent après.

MÉTHODE
Tracer à la règle une droite par portion, en s'appuyant sur les points éloignés de la rupture de pente, puis lire l'abscisse de leur intersection. Le résultat se donne à 0,1 ou 0,2 mL près.



4 · Figure 2 du sujet : les deux droites tracées et la lecture du volume à l'équivalence

5 Calculer la concentration en ions chlorure dans la solution S_1, puis montrer que la masse de chlorure de magnésium $MgCl_2$ dans le sachet analysé est $m(MgCl_2) = 10{,}8$ g.

Données utiles $C_S = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_2 = 10{,}0$ mL ; $V_E = 9{,}1$ mL (Q4) ; $F = 5$; $V = 1{,}00$ L ; $M_2 = 95{,}3$ g · mol^{-1}

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(Cl^-)_{\text{titré}} = n(Ag^+)_{\text{versé}}$, soit $[Cl^-]_{S_2} V_2 = C_S V_E$.

La solution S_1 est cinq fois plus concentrée que S_2 :

$$[Cl^-]_{S_1} = 5 \times \frac{C_S V_E}{V_2} = 5 \times \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 9{,}1}{10{,}0} = 0{,}23 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

D'après l'équation de dissolution (Q1), une mole de $MgCl_2$ libère deux moles de Cl^- : $n(MgCl_2) = \dfrac{n(Cl^-)}{2} = \dfrac{[Cl^-]_{S_1} V}{2}$.

$$m(MgCl_2) = \frac{[Cl^-]_{S_1} V}{2} \times M_2 = \frac{0{,}2275 \times 1{,}00}{2} \times 95{,}3 = 10{,}8 \text{ g}$$

$$\boxed{[Cl^-]_{S_1} = 0{,}23 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ et } m(MgCl_2) = 10{,}8 \text{ g, valeur attendue.}}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 5 de la dilution (le titrage porte sur S_2) ou la division par 2 (deux ions Cl^- par $MgCl_2$). Les volumes V_E et V_2 peuvent rester en mL dans le rapport.

COMPRENDRE
C_S et V_E n'ont que deux chiffres significatifs : la concentration s'écrit $0{,}23$ mol · L^{-1}. On garde la valeur non arrondie $0{,}2275$ dans la suite du calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5 \times 5.0 \times 10^{-2} \times 9.1}{10.0} \approx 0.2275$

$\dfrac{0.2275 \times 1.00}{2} \times 95.3 \approx 10.84037$

COMPRENDRE
Le résultat dépend de la lecture graphique : avec $V_E = 9{,}0$ mL on obtient 10,7 g. Dans un « montrer que », un écart aussi faible reste acceptable s'il est commenté.

6 En déduire le degré d'hydratation du chlorure de magnésium étudié. Conclure.

Données utiles $m = 20{,}3$ g ; $m(\mathrm{MgCl_2}) = 10{,}8$ g (Q5) ; $M_{\text{eau}} = 18{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_2 = 95{,}3\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La poudre ne contient que du chlorure de magnésium et de l'eau :
$m_{\text{eau}} = m - m(\mathrm{MgCl_2}) = 20{,}3 - 10{,}8 = 9{,}5$ g.

$n_{\text{eau}} = \dfrac{m_{\text{eau}}}{M_{\text{eau}}} = \dfrac{9{,}5}{18{,}0} = 0{,}53$ mol $\qquad n(\mathrm{MgCl_2}) = \dfrac{m(\mathrm{MgCl_2})}{M_2} = \dfrac{10{,}8}{95{,}3} = 0{,}113$ mol

Le degré d'hydratation x est la quantité d'eau par mole de $\mathrm{MgCl_2}$:

$$x = \frac{n_{\text{eau}}}{n(\mathrm{MgCl_2})} = \frac{0{,}528}{0{,}113} = 4{,}7$$

Écart relatif avec la valeur indiquée : $\dfrac{4{,}7 - 4{,}5}{4{,}5} \approx 4\ \%$.

$x = 4{,}7$: le titrage confirme, à environ 4 % près, le degré d'hydratation 4,5 annoncé pour la poudre du sachet.

COMPRENDRE
La soustraction donne m_{eau} au dixième de gramme, soit deux chiffres significatifs : x s'écrit 4,7 et non 4,66.

COMPRENDRE
Le résultat est très sensible à V_E : 9,0 mL donne $x = 4{,}7$ et 9,2 mL donne $x = 4{,}5$. L'écart observé s'explique par l'incertitude de la lecture graphique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$20.3 - 10.8 \approx 9.5$

$\dfrac{9.5}{18.0} \approx 0.5277778$

$\dfrac{10.8}{95.3} \approx 0.1133263$

$\dfrac{\frac{9.5}{18.0}}{\frac{10.8}{95.3}} \approx 4.65715$

$\dfrac{4.7 - 4.5}{4.5} \approx 0.04444444$