

Degré d'hydratation du chlorure de magnésium

La présence de magnésium dans le corps humain stimule l'immunité et diminue la fatigue. Bien que le magnésium soit présent dans de nombreux aliments comme les amandes, les épinards ou les bananes, il peut être prescrit en complément. Des sachets de chlorure de magnésium sont disponibles en pharmacie et permettent cet apport complémentaire en magnésium au corps humain.

La poudre présente dans le sachet est du chlorure de magnésium hydraté pur, de formule $\text{MgCl}_2 \cdot 4,5 \text{H}_2\text{O}$, où 4,5 est appelé le degré d'hydratation. Celui-ci représente le nombre de moles d'eau présentes dans une mole de chlorure de magnésium hydraté.

Cet exercice propose de déterminer le degré d'hydratation du chlorure de magnésium du sachet à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie.

Données

masse de poudre dans le sachet : $m = 20,3 \text{ g}$

masse molaire de l'eau : $M_{\text{eau}} = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

masse molaire du chlorure de magnésium MgCl_2 : $M_2 = 95,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

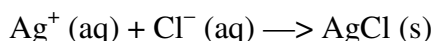
valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25 °C de quelques ions :

ion	Mg^{2+}	Cl^-	Ag^+	NO_3^-
λ en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$	10,61	7,63	6,19	7,14

Le contenu d'un sachet acheté en pharmacie est dissous en totalité pour fabriquer 1,00 L de solution aqueuse S_1 , la dissolution étant totale dans ces conditions. Une solution aqueuse S_2 est obtenue par dilution d'un facteur cinq de la solution aqueuse S_1 .

- 1 Ecrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution de la poudre du sachet dans l'eau.
- 2 Décrire précisément un protocole expérimental à mettre en œuvre pour préparer 100,0 mL de solution aqueuse S_2 à partir de la solution aqueuse S_1 .

Un dosage par titrage de la solution aqueuse S_2 est réalisé par une solution aqueuse S titrante de nitrate d'argent, (Ag^+ (aq) ; NO_3^- (aq)), à la concentration $C_S = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour cela, un volume de $V_2 = 10,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse S_2 est prélevé et versé dans un bécher, auquel sont ajoutés environ 200 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par la solution aqueuse S et suivi par conductimétrie. La réaction support du titrage a pour équation :



- 3 Les ions magnésium Mg^{2+} et nitrate NO_3^- sont des espèces spectatrices lors du titrage. Indiquer la signification de l'adjectif « spectatrice » donné à ces espèces.

La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante S. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits dans la représentation graphique ci-dessous (figure 2) :

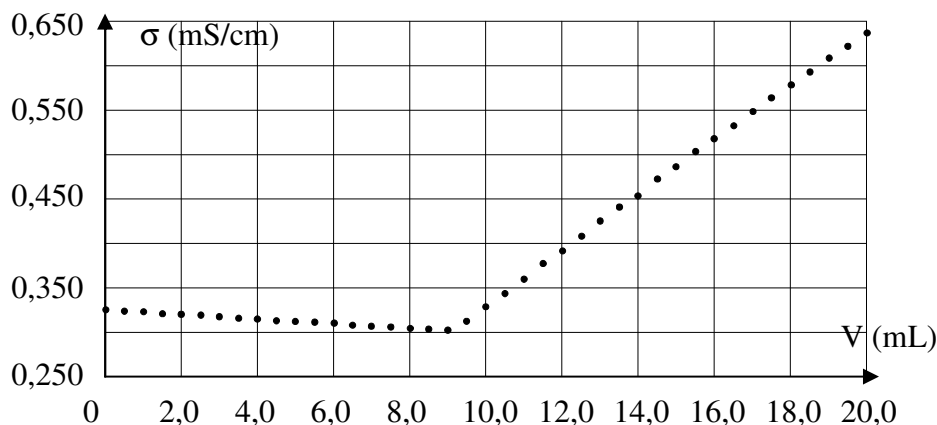


figure 2
représentation graphique de la conductivité de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume de solution aqueuse titrante S de nitrate d'argent versé

- 4 En utilisant les conductivités molaires ioniques, justifier l'allure de la courbe obtenue et déterminer la valeur du volume à l'équivalence du titrage.
- 5 Calculer la concentration en ions chlorure Cl^- dans la solution S_1 , puis montrer que la masse de chlorure de magnésium MgCl_2 , dans le sachet analysé, est de $m(\text{MgCl}_2) = 10,8 \text{ g}$.
- 6 En déduire le degré d'hydratation du chlorure de magnésium étudié. Conclure.

Corrigé

Degré d'hydratation du chlorure de magnésium

La présence de magnésium dans le corps humain stimule l'immunité et diminue la fatigue. Bien que le magnésium soit présent dans de nombreux aliments comme les amandes, les épinards ou les bananes, il peut être prescrit en complément. Des sachets de chlorure de magnésium sont disponibles en pharmacie et permettent cet apport complémentaire en magnésium au corps humain.

La poudre présente dans le sachet est du chlorure de magnésium hydraté pur, de formule $\text{MgCl}_2 \cdot 4,5 \text{H}_2\text{O}$, où 4,5 est appelé le degré d'hydratation. Celui-ci représente le nombre de moles d'eau présentes dans une mole de chlorure de magnésium hydraté.

Cet exercice propose de déterminer le degré d'hydratation du chlorure de magnésium du sachet à l'aide d'un titrage suivi par conductimétrie.

Données

masse de poudre dans le sachet : $m = 20,3 \text{ g}$

masse molaire de l'eau : $M_{\text{eau}} = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

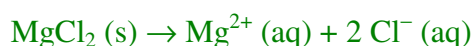
masse molaire du chlorure de magnésium MgCl_2 : $M_2 = 95,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

valeurs de la conductivité molaire ionique λ à 25 °C de quelques ions :

ion	Mg^{2+}	Cl^-	Ag^+	NO_3^-
λ en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$	10,61	7,63	6,19	7,14

Le contenu d'un sachet acheté en pharmacie est dissous en totalité pour fabriquer 1,00 L de solution aqueuse S_1 , la dissolution étant totale dans ces conditions. Une solution aqueuse S_2 est obtenue par dilution d'un facteur cinq de la solution aqueuse S_1 .

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



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

dilution d'un facteur cinq de la solution aqueuse S_1

$$\frac{c_{S1}}{c_{S2}} = 5 = \frac{V_{S2}}{V_{S1}}$$

préparer 100,0 mL de solution aqueuse S_2

$$V_{S2} = 100,0 \text{ mL}$$

$$V_{S1} = V_{S2} / 5 = 100,0 / 5 = 20,00 \text{ mL}$$

protocole (détaillé)

verser la solution S_1 dans un bécher

prélever $V_{S1} = 20,00 \text{ mL}$ à l'aide d'une pipette jaugée (munie d'un dispositif d'aspiration)

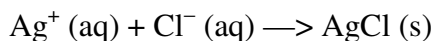
et verser le contenu de la pipette dans une fiole jaugée de 100,0 mL

ajouter, dans la fiole, de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge

boucher la fiole puis agiter pour homogénéiser la solution

Un dosage par titrage de la solution aqueuse S_2 est réalisé par une solution aqueuse S titrante de nitrate d'argent, ($\text{Ag}^+ (\text{aq}) ; \text{NO}_3^- (\text{aq})$), à la concentration $C_S = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour cela, un volume de $V_2 = 10,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse S_2 est prélevé et versé dans un bécher, auquel sont ajoutés environ 200 mL d'eau distillée. L'ensemble est alors titré par la solution aqueuse S et suivi par conductimétrie. La réaction

support du titrage a pour équation :



- 3 Les ions magnésium Mg^{2+} et nitrate NO_3^- sont des espèces spectatrices lors du titrage. Indiquer la signification de l'adjectif « spectatrice » donné à ces espèces.

Les ions magnésium Mg^{2+} et nitrate NO_3^- sont présents dans le système mais ils ne participent à la transformation chimique

La conductivité σ de la solution contenue dans le bécher est mesurée après chaque ajout de solution aqueuse titrante S. Les résultats expérimentaux obtenus sont reproduits dans la représentation graphique ci-dessous (figure 2) :

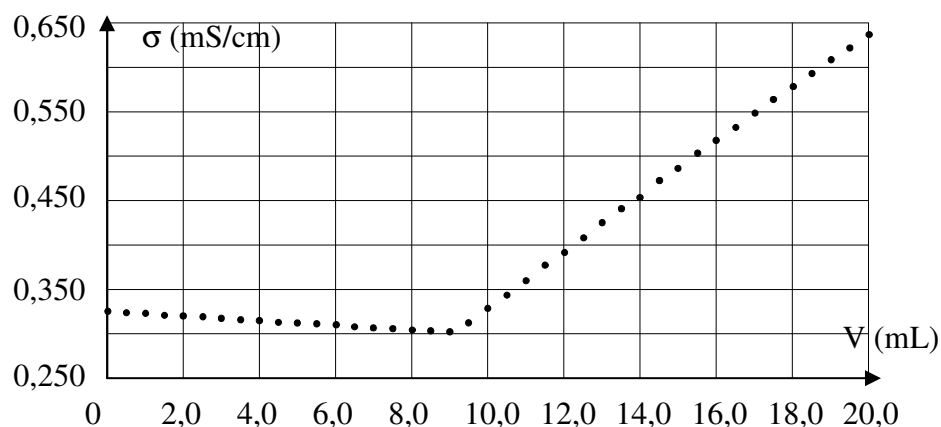


figure 2
représentation graphique de la conductivité de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume de solution aqueuse titrante S de nitrate d'argent versé

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

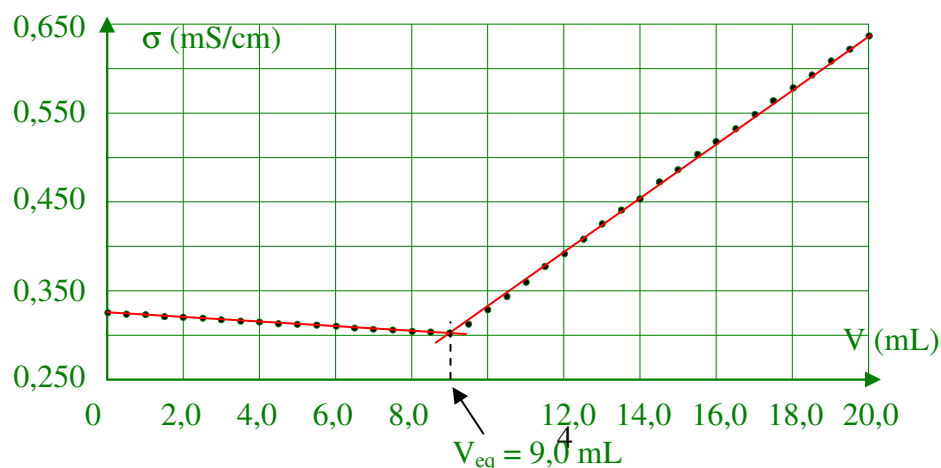
la solution dans le bécher contient initialement les ions Mg^{2+} et Cl^-

avant équivalence, les ions Cl^- du bécher réagissent avec les ions Ag^+ apportés ($\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl} (\text{s})$), cela revient à remplacer chaque ion Cl^- par un ions NO_3^- : la conductivité diminue légèrement ($\lambda_{\text{NO}_3^-} < \lambda_{\text{Cl}^-}$)

après équivalence, la transformation chimique est terminée et les ajouts de solution S contenant les ions Ag^+ et NO_3^- ne font qu'ajouter des ions à la solution contenue dans le bécher : la conductivité augmente

- 5 Calculer la concentration en ions chlorure Cl^- dans la solution S_1 , puis montrer que la masse de chlorure de magnésium MgCl_2 , dans le sachet analysé, est de $m(\text{MgCl}_2) = 10,8$ g.

volume équivalent



à l'équivalence : $\frac{n_i(\text{Cl}^-)}{1} = \frac{C_S * V_{\text{éq}}}{1}$ ($\text{Ag}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl} (\text{s})$)

$$n_i(\text{Cl}^-) = 5,0 \cdot 10^{-2} * 9,0 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

concentration des ions Cl^- dans la solution S_2

$$n_i(\text{Cl}^-) = [\text{Cl}^-] * V_2$$

$$[\text{Cl}^-]_{S_2} = n_i(\text{Cl}^-) / V_2 = 4,5 \cdot 10^{-4} / 10,0 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

concentration des ions Cl^- dans la solution S_1

$$\text{réponse à la question 2 : } \frac{c_{S_1}}{c_{S_2}} = 5$$

$$[\text{Cl}^-]_{S_1} = 5 * [\text{Cl}^-]_{S_2} = 5 * 4,5 \cdot 10^{-2} = 2,2 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$$

masse de chlorure de magnésium MgCl_2 , dans le sachet analysé

énoncé : contenu d'un sachet dissous en totalité pour fabriquer 1,00 L de solution aqueuse S_1

$$n(\text{Cl}^-) = [\text{Cl}^-]_{S_1} * V_{S_1} = 2,2 \cdot 10^{-1} * 1,00 = 2,2 \cdot 10^{-1} \text{ mol.}$$

$$m(\text{MgCl}_2) = n(\text{Cl}^-) * M_2 / 2 = 2,2 \cdot 10^{-1} * 95,3 / 2 = 10,5 \text{ g}$$

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

notation : d° = degré d'hydratation du chlorure de magnésium

$$n(\text{MgCl}_2, d^\circ \text{H}_2\text{O}) = n(\text{MgCl}_2) = \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M(\text{MgCl}_2)}$$

$$n(\text{MgCl}_2, d^\circ \text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) / d^\circ = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{d^\circ * M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m - m(\text{MgCl}_2)}{d^\circ * M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$\frac{m(\text{MgCl}_2)}{M(\text{MgCl}_2)} = \frac{m - m(\text{MgCl}_2)}{d^\circ * M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$d^\circ = \frac{M(\text{MgCl}_2) * (m - m(\text{MgCl}_2))}{m(\text{MgCl}_2) * M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{95,3 * (20,3 - 10,5)}{10,5 * 18,0} = 4,94$$

écart relatif

$$\frac{|d^\circ_{\text{théo}} - d^\circ_{\text{exp}}|}{d^\circ_{\text{théo}}} = \frac{|4,5 - 4,94|}{4,5} = 0,098 (= 9,8 \%)$$

la valeur déterminée expérimentalement est cohérente avec la valeur fournie