

Correction du TP

✂ Capacités exigibles

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Identifier et exploiter la réaction support du titrage (recenser les espèces présentes dans le milieu au cours du titrage, repérer l'équivalence, justifier qualitativement l'allure de la courbe ou le changement de couleur observé). | <input type="checkbox"/> Choisir et utiliser un indicateur coloré de fin de titrage ; distinguer l'équivalence et le virage d'un indicateur coloré de fin de titrage. |
| <input type="checkbox"/> Exploiter une courbe de titrage pour déterminer la concentration d'une espèce dosée. | <input type="checkbox"/> Dosage par précipitation (technique de FAJANS) |

🎯 Objectifs

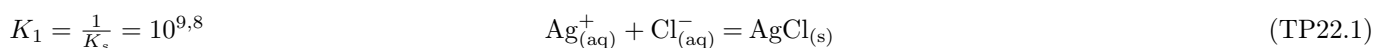
- ◇ Réaliser des dosages colorimétriques (méthode de FAJANS) et potentiométrique.
- ◇ Modéliser les courbes obtenues.
- ◇ Exploiter les courbes pour déterminer le pK_s du chlorure d'argent.

I S'appropriier

I/A Introduction

Le chlorure d'argent $\text{AgCl}_{(s)}$ est un solide blanc photosensible présent naturellement dans certains affleurements de filons d'argent. Il est, entre autres, utilisé dans les cathodes des batteries AgCl-Mg servant de dispositif de propulsion des torpilles sous-marines fonctionnant à l'eau de mer.

On veut doser une solution de chlorure de sodium ($\text{Na}^+; \text{Cl}^-$) de concentration c_0 par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+, \text{NO}_3^-$) de concentration c_1 , puis déterminer le produit de solubilité K_s du chlorure d'argent afin de le comparer à la valeur fournie par la littérature. En raison de la faible valeur du produit de solubilité du chlorure d'argent, la mise en présence des ions argent Ag^+ et chlorure Cl^- provoque la précipitation du chlorure d'argent, selon l'équation bilan



I/B Dosage colorimétrique des ions Cl^- par la méthode de FAJANS

La méthode de FAJANS est une méthode de dosage colorimétrique des ions chlorure Cl^- par les ions argent Ag^+ en présence de dichlorofluorescéine. En présence des ions Ag^+ , les ions chlorure peuvent former un précipité blanc (qui noircit à la lumière), tandis que la fluorescéine se lie avec le précipité AgCl pour former un ensemble adsorbé coloré :

- ◇ L'ensemble $\{\text{AgCl}_{(s)}, \text{Cl}_{\text{adsorbé}}^-\}$ est jaune-vert ;
- ◇ L'ensemble $\{\text{AgCl}_{(s)}, \text{Ag}_{\text{adsorbé}}^+\}$ est rose.

I/C Dosage potentiométrique : détermination de $pK_s(\text{AgCl})$

I/C) 1 Principe du dosage

Pour suivre ce dosage, on construit une pile d'oxydoréduction : dans $V_0 = 10 \text{ mL}$ de la solution de chlorure de sodium, on introduit une électrode de mesure constituée d'un fil d'argent de potentiel E . L'autre pôle est une électrode de référence au **sulfate mercureux**.

Le potentiel de cette électrode par rapport à l'électrode standard à hydrogène est égal à $E_{\text{ref}} = 651 \text{ mV}$ à 25°C . Ainsi, en notant U la tension lue au millivoltmètre haute impédance entre l'électrode de mesure et l'électrode de référence, et E le potentiel de la solution lue par l'électrode de mesure, on a

$$U = E - E_{\text{ref}} \Leftrightarrow E = U + E_{\text{ref}}$$

Attention TP22.1 : Volume d'eau ajouté

Pour que les électrodes trempent correctement, on ajoute $V_{\text{eau}} = 10 \text{ mL}$ d'eau distillée, mesurée à l'aide d'une pipette ou fiole jaugée.

Ce potentiel d'électrode est par ailleurs fourni par la formule de NERNST :

$$E = E(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) + 0,06 \log\left(\frac{[\text{Ag}^+]}{c^\circ}\right) \quad \text{avec} \quad E^\circ = 0,80 \text{ V}$$

Ainsi, la mesure de U permet de suivre l'avancement du dosage. On notera V le volume de solution de nitrate d'argent versé et V_{eqv} le volume versé à l'équivalence.

I/C) 2 Relations quantitatives

La réaction (TP22.1) est pratiquement totale dans le sens direct. À l'équivalence, on a versé en solution autant d'ions argent que d'ions chlorure, soit $c_1 V_{\text{eq}} = c_0 V_0$ **compte-tenu de la stœchiométrie**. Avant, Ag^+ est limitant, après, Cl^- est limitant. Le tableau d'avancement en **quantité de matière** est donc :

Équation		$\text{Ag}^+_{(\text{aq})}$	+	$\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$	→	$\text{AgCl}_{(\text{s})}$
Initial	$\xi = 0$	0		$c_0 V_0$		0
Avant l'équi.	$\xi = \xi_{\text{max}} = c_1 V$	$c_1 V - c_1 V \approx \varepsilon_1$		$c_0 V_0 - c_1 V$		$c_1 V$
À l'équi.	$\xi_f = \xi_{\text{eq}}$	0		$c_0 V_0 - c_1 V_{\text{eqv}} = 0$		$c_1 V_{\text{eqv}}$
Après l'équi.	$\xi_f = \xi_{\text{eq}}$	$c_1 V - c_1 V_{\text{eqv}}$		$c_0 V_0 - c_1 V_{\text{eqv}} \approx \varepsilon_2$		$c_1 V_{\text{eqv}}$

On appelle ε_1 et ε_2 les quantité de matière infinitésimales restantes en ions Ag^+ avant l'équivalence, et en ions Cl^- après l'équivalence, respectivement.

I/C) 3 Expression de U au cours du dosage

◇ **À l'équivalence**, $V = V_{\text{eqv}}$ et les ions chlorure et argent ont été introduits en **proportions stœchiométriques**, et on est à l'équilibre soit

$$[\text{Ag}^+]_{\text{eq}} = [\text{Cl}^-]_{\text{eq}} = c^\circ \sqrt{K_s}$$

D'où
$$U_{\text{eqv}} = E - E_{\text{ref}} = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) + 0,03 \log K_s \Leftrightarrow U_{\text{eqv}} = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) - 0,03 \text{p}K_s - E_{\text{ref}}$$

◇ **Avant l'équivalence**, $V < V_{\text{eqv}}$ et d'après le tableau d'avancement avec la relation d'équivalence $c_0 V_0 = c_1 V_{\text{eqv}}$:

$$[\text{Cl}^-]_{\text{eq}} = \frac{c_0 V_0 - c_1 V}{V_0 + V + V_{\text{eau}}} = \frac{c_1 (V_{\text{eqv}} - V)}{V_0 + V + V_{\text{eau}}} \Leftrightarrow [\text{Ag}^+]_{\text{eq}} = K_s \frac{V_0 + V + V_{\text{eau}}}{c_1 (V_{\text{eqv}} - V)}$$

$$\Leftrightarrow U_{\text{avant}} = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) - 0,06 \text{p}K_s + 0,06 \log\left(\frac{V_0 + V + V_{\text{eau}}}{c_1 (V_{\text{eqv}} - V)}\right) - E_{\text{ref}}$$

◇ **Après l'équivalence**, $V > V_{\text{eqv}}$ et d'après le tableau d'avancement avec la relation d'équivalence $c_0 V_0 = c_1 V_{\text{eqv}}$:

$$[\text{Ag}^+]_{\text{eq}} = \frac{c_1 (V - V_{\text{eqv}})}{V_0 + V + V_{\text{eau}}}$$

$$\Leftrightarrow U_{\text{après}} = E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) + 0,06 \log\left(\frac{c_1 (V - V_{\text{eqv}})}{V_0 + V + V_{\text{eau}}}\right) - E_{\text{ref}}$$

L'évolution rapide de la courbe de U à l'équivalence est exploitée pour déterminer le point équivalent.

II Analyser**II/A Condition de précipitation**

On dispose d'une solution de chlorure de sodium de volume $V_0 = 10,0 \text{ mL}$ et de concentration $c_0 \approx 7,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, et d'une solution de nitrate d'argent de concentration $c_1 \approx 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; ce sont des ordres de grandeur des concentrations.

- ① Montrer que le précipité apparaît dès la première goutte de nitrate d'argent versée. On pourra pour cela trouver le volume limite à verser pour atteindre la saturation.

————— Réponse —————

Condition d'existence :
$$\frac{[\text{Cl}^-]_0[\text{Ag}^+]_{\text{lim}}}{c^{\circ 2}} = K_s \Leftrightarrow \frac{[\text{Ag}^+]_{\text{lim}}}{c^{\circ}} = K_s \frac{c^{\circ}}{c_0} = \frac{c_1 V_{\text{lim}}}{c^{\circ} V_0}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{V_{\text{lim}} = V_0 K_s \frac{c^{\circ 2}}{c_0 c_1}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V_0 = 10,0 \times 10^{-3} \text{ L} \\ K_s = 10^{-9,8} \\ c_0 = 7,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \\ c_1 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \end{cases}$$

A.N. : $V_{\text{lim}} = 42 \text{ nL} = 42 \times 10^{-6} \text{ mL}$

Ce qui est bien évidemment très inférieur au volume d'une goutte de burette.



- ② Déterminer l'ordre de grandeur du volume V_{eqv} de la solution de nitrate d'argent nécessaire pour que tous les ions aient précipité.

————— Réponse —————

$$\boxed{V_{\text{eqv}} = V_0 \frac{c_0}{c_1}} \Rightarrow \underline{V_{\text{eqv}} = 15 \text{ mL}}$$



Dans toute la suite on supposera qu'il y a équilibre hétérogène (coexistence solide-liquide).

II/B Étude théorique de la méthode de FAJANS

- ③ Quelle est l'espèce adsorbée par le précipité avant l'équivalence ? En déduire quelle sera la couleur de la solution initiale.

————— Réponse —————

Avant l'équivalence, il reste des ions $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$, donc la solution sera **jaune-vert**.



- ④ Comment repérer l'équivalence ?

————— Réponse —————

On repère l'équivalence par le changement de couleur de la solution, qui devient **rose**.



III Réaliser

Expérience TP22.1 : Dosage colorimétrique

- 1) Réaliser le dosage colorimétrique correspondant à la méthode de FAJANS avec les quantités précisées. On placera sous le bécher un morceau de **papier blanc** pour bien repérer le changement de couleur.
- 2) Penser à faire un **témoin colorimétrique** en préparant dans un second bécher la même solution initiale (mélange d'ions chlorure et d'ions chromate) qui, elle, ne sera **pas dosée**.

- 1 Noter la couleur du premier précipité formé, puis du second.

————— Réponse —————

On trouve bien du jaune-vert puis du rose.



- 2 Déterminer le volume équivalent V_{eqv} et en déduire la concentration c_0 de la solution de chlorure de sodium.

————— Réponse —————

On trouve...



Expérience TP22.2 : Dosage potentiométrique

- 1) Préparer une solution contenant $V_0 = 10,0$ mL de chlorure de sodium à la concentration c_0 . N'oublier pas d'ajouter le volume $V_{\text{eau}} = 10$ mL d'eau distillée pour que les électrodes soient correctement immergées.
- 2) Réaliser le titrage potentiométrique de cette solution par le nitrate d'argent de concentration c_1 , en relevant la tension U indiquée par le potentiomètre pour différents volumes V versés.
- 3) Créer un tableau de valeurs sur **Régressi** (important pour la modélisation ensuite) avec deux colonnes : U et V . Resserrer les valeurs autour de l'équivalence. La mesure de U n'est valable que si les deux électrodes trempent dans la solution.

IV Analyser

- 3 Réaliser la méthode des tangentes automatique sur Régressi pour déterminer le volume équivalent.

Réponse

Non corrigé.



- 4 Modéliser la courbe en deux parties grâce aux curseurs :

Avant
$$U = a + b \log \left(\frac{V_0 + V + V_{\text{eau}}}{c_1(V_{\text{eqv}} - V)} \right)$$

Après
$$U = c + d \log \left(\frac{c_1(V - V_{\text{eqv}})}{V_0 + V + V_{\text{eau}}} \right)$$

Les coefficients a , b , c et d sont déterminés par l'ordinateur, vous devez remplacer les autres variables par leurs valeurs manuellement. Imprimer la modélisation.

À défaut, par manque de temps, n'utiliser que la valeur de U à l'équivalence pour déterminer pK_s .

Réponse

Non corrigé.



- 5 Grâce aux expressions de U données dans la partie S'approprier, vérifier qu'on obtient pK_s grâce à la relation :

$$pK_s = \frac{c - a}{b} = \frac{c - a}{d}$$

Réponse

Ça marche.



V Conclure

- 6 Donner alors la valeur de pK_s pour chacun de deux calculs précédent, ainsi que la valeur moyenne. Estimez l'incertitude en faisant varier les valeurs de V_{eqv} dans les modélisations, et calculer l'écart normalisé.

Réponse

À faire...

