

TP Titration des ions chlorure

TP INFO

Chapitre 3

MOTS CLES:

Titration – conductimétrie – dosage

PREREQUIS

- Utilisation d'un conductimètre
- Notion de titration et repérage de l'équivalence

OBJECTIFS

- Mettre en œuvre un protocole de titration par suivi conductimétrique.

Introduction [1]

En France, l'eau du robinet est l'un des aliments les plus contrôlés. Elle fait l'objet d'un suivi sanitaire permanent, destiné à en garantir la sécurité sanitaire.

Quelle est la concentration en masse des ions chlorure de l'eau du robinet ?

I. Les documents du TP

Document 1 : Contrôle sanitaire de l'eau du robinet

Le site web suivant : <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/eau> permet de consulter les résultats du contrôle sanitaire de la qualité de l'eau potable en ligne, commune par commune.

Document 2 : Principe du titrage par suivi conductimétrique

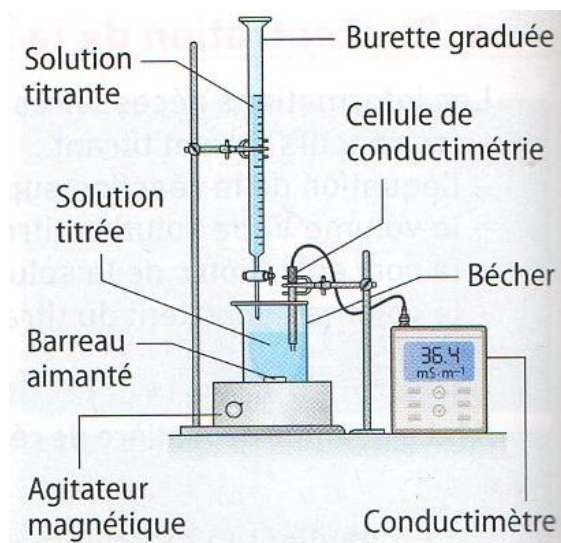
Si la réaction support du titrage met en jeu des ions, on peut repérer l'équivalence par suivi conductimétrique : à chaque ajout de solution titrante, on mesure la conductivité σ du mélange réactionnel ou sa conductance G .

On trace ensuite le graphique représentant la conductivité σ ou la conductance G en fonction du volume V de solution titrante ajouté.

Pour déterminer le volume à l'équivalence :

- Tracer deux portions de droite modélisant les points de mesure avant et après équivalence.
- Relever l'abscisse de leur point d'intersection : c'est le volume équivalent V_{eq}

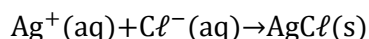
Attention avec un tableur il faudra créer deux colonnes de valeurs, avant et après équivalence, pour pouvoir modéliser ces portions de courbes par des fonctions affines.



Montage d'un titrage conductimétrique.

Document 3 : Réaction support du titrage

Les ions chlorure peuvent être titrés par une solution titrante de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+_{(aq)}$; $\text{NO}_3^-_{(aq)}$) par suivi conductimétrique. Les ions argent et chlorure se lient et forment une entité neutre solide, non soluble dans l'eau et appelée précipité. Ce précipité est de couleur blanche et il noircit à la lumière.



Document 4 : Réaction support du titrage

Liste de matériel :

Solution de nitrate d'argent à $c_2 = 0,007 \text{ mol.L}^{-1}$

Pipette jaugée de 25 mL, éprouvette graduée de 250 mL.

Données :

- Conductivités molaires ionique des ions mis en jeu :
- Conductivité molaire ionique $\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$: Ag^+ : $61,9.10^{-4}$; NO_3^- : $71,4.10^{-4}$; Cl^- : $76,3.10^{-4}$
- Masse molaire : $M_{\text{Na}} = 23,0 \text{ g/mol}$ et $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g/mol}$;

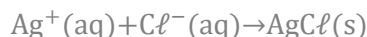
II. Questions

1. *A l'aide du document 1, trouver la valeur de la concentration en ions chlorure de l'eau du lycée en mg.L^{-1} .

Le site indique une concentration en masse d'ion chlorure de 72 mg/L.

2. *Expliquer à partir de l'équation support du titrage pourquoi un suivi conductimétrique est possible. Compléter l'explication en donnant la variation de la conductivité au fur et à mesure de l'ajout de la solution titrante.

L'équation support du titrage est la suivante :



Les ions qui participent à la conduction sont donc $\text{Ag}^+(\text{aq})$; $\text{Cl}^-(\text{aq})$ et $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ ainsi que tous les autres ions présents dans l'eau du robinet.

Les ions $\text{Ag}^+(\text{aq})$ sont introduits à l'aide de la burette au fur et à mesure du titrage, ils sont ajoutés avec leur contre ion : $\text{NO}_3^-(\text{aq})$. Ils réagissent avec les ions chlorures $\text{Cl}^-(\text{aq})$ présents dans l'eau du robinet.

Avant l'équivalence : Les ions $\text{Ag}^+(\text{aq})$ sont limitants et la quantité de matière des ions $\text{Cl}^-(\text{aq})$ diminue, donc leur concentration aussi. La conductivité molaire ionique de ions $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ est légèrement plus faible que celle des ions chlorures. La conductivité va légèrement diminuer.

Explication mathématique :

En effet avant l'équivalence : $\sigma_{\text{avant}} = \lambda_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}^-]_{\text{restant}} + \lambda_{\text{NO}_3^-} [\text{NO}_3^-]_{\text{versé}} + \sigma_{\text{autres}}$

Or avec un tableau d'avancement on peut montrer que $[\text{Cl}^-]_{\text{restant}} = \frac{c_i V_i - c_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}}$ et $[\text{NO}_3^-]_{\text{versé}} = \frac{c_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}}$.

Avec $V_{\text{tot}} = V_i + V_{\text{versé}} \approx V_i$ donc constante car $V_i \gg V_{\text{versé}}$

$$\sigma_{\text{avant}} = \lambda_{\text{Cl}^-} \frac{c_i V_i - c_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}} + \lambda_{\text{NO}_3^-} \frac{c_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}} + \sigma_{\text{autres}} = \lambda_{\text{Cl}^-} \frac{c_i V_i}{V_{\text{tot}}} + \frac{c_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}} (\lambda_{\text{NO}_3^-} - \lambda_{\text{Cl}^-}) + \sigma_{\text{autres}}$$

$$\sigma_{\text{avant}} = \lambda_{\text{Cl}^-} \frac{c_i V_i}{V_{\text{tot}}} + \sigma_{\text{autres}} - \frac{c_2}{V_{\text{tot}}} (-\lambda_{\text{NO}_3^-} + \lambda_{\text{Cl}^-}) V_{\text{verse}}$$

Qu'on peut mettre sous la forme $\sigma_{\text{avant}} = \alpha - \beta V_{\text{verse}}$ avec α et β des constantes positives. C'est une droite affine de pente négative.

Après l'équivalence : C'est $\text{Cl}^-(\text{aq})$ qui est le réactif limitant, il n'y en a plus. Lorsqu'on ajoute du réactif titrant, il ne réagit plus, la quantité de matière des ions $\text{Ag}^+(\text{aq})$ augmentent de même que celle des ions NO_3^- . La conductivité va augmenter fortement.

Explication mathématique :

En effet après l'équivalence : $\sigma_{\text{après}} = \lambda_{\text{Ag}^+} [\text{Ag}^+]_{\text{excès}} + \lambda_{\text{NO}_3^-} [\text{NO}_3^-]_{\text{versé}} + \sigma_{\text{autres}}$

$$\text{Or } [\text{NO}_3^-]_{\text{versé}} = \frac{C_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}} \text{ et } [\text{Ag}^+]_{\text{excès}} = \frac{C_2 (V_{\text{verse}} - V_E)}{V_{\text{tot}}}.$$

$$\text{Donc } \sigma_{\text{après}} = \lambda_{\text{Ag}^+} \frac{C_2 (V_{\text{verse}} - V_E)}{V_{\text{tot}}} + \lambda_{\text{NO}_3^-} \frac{C_2 V_{\text{verse}}}{V_{\text{tot}}} + \sigma_{\text{autres}} = -\lambda_{\text{Ag}^+} \frac{C_2 V_E}{V_{\text{tot}}} + \sigma_{\text{autres}} + (\lambda_{\text{NO}_3^-} + \lambda_{\text{Ag}^+}) \frac{C_2}{V_{\text{tot}}} V_{\text{verse}}$$

Qu'on peut mettre sous la forme : $\sigma_{\text{avant}} = \alpha' + \beta' V_{\text{verse}}$ avec α de signe inconnu mais on s'en moque et $\beta > 0$.

La conductivité augmente donc bien.

3. *Rédiger un protocole pour réaliser le titrage des ions chlorure pour un volume de 25 mL d'eau du robinet complétée de 200 mL d'eau distillée pour négliger l'effet de la dilution lors de l'ajout de solution titrante.

Protocole :

- Verser de l'eau du robinet dans un bécher
- Prélever 25 mL d'eau du robinet l'aide d'une pipette jaugée préalablement rincée.
- Verser dans un très grand bécher et compléter avec 200 mL d'eau distillée prélevée approximativement à l'éprouvette.
- Verser la solution de nitrate d'argent dans la burette
- Réaliser le titrage conductimétrique en relevant la conductivité chaque mL.

Appeler le professeur

4. Mettre en œuvre le protocole.
5. Déterminer la concentration en quantité de matière des ions chlorure : $[\text{Cl}^-]$.

Le volume à l'équivalence est situé entre 10,5 et 11,5 mL. On retiendra 11 mL.

A l'équivalence les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques donc :

$$\frac{n_{\text{Ag}^+}(\text{versé})}{1} = \frac{n_i(\text{Cl}^-)}{1}$$

$$C_2 V_E = [\text{Cl}^-] V_i \Leftrightarrow [\text{Cl}^-] = \frac{C_2 V_E}{V_i}$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{7,00 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \times 11,0 \text{ mL}}{25,0 \text{ mL}} = 3,08 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

6. En déduire la concentration en masse en mg.L^{-1} .

$$c_i = [\text{Cl}^-] \times M(\text{Cl})$$

$$c_i = 3,08 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \times 35,5 \text{ g.mol}^{-1} = 110 \text{ mg.L}^{-1}$$

7. L'eau testée est-elle conforme à la législation ?

La concentration en masse est inférieure à 200 mg/L l'eau est conforme à la législation.

III. Pour aller plus loin

8. Déterminer l'incertitude type sur le volume à l'équivalence : $u(V_{eq})$ en utilisant la formule :

$$u(V_{eq}) = \frac{\Delta/2}{\sqrt{3}}$$

Avec Δ la plage de valeur où on est sûr à 100% que le volume se situe.

$$u(V_{eq}) = \frac{1 \text{ mL}/2}{\sqrt{3}} = 0,3 \text{ mL}$$

9. On considère que :

$$\frac{u([\text{Cl}^-])}{[\text{Cl}^-]} \approx \frac{u(V_{eq})}{V_{eq}}$$

Comparer la valeur obtenue à celle trouvée à la question 1.

$$\frac{u([\text{Cl}^-])}{[\text{Cl}^-]} \approx \frac{u(V_{eq})}{V_{eq}} = \frac{0,3 \text{ mL}}{11 \text{ mL}} = 3\%$$

Donc $u([\text{Cl}^-]) = 3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Les deux valeurs ne sont pas compatibles clairement !

Ceci peut être dû à la sécheresse après l'été, à la mauvaise indication donnée, à une mesure trop ancienne. Ou au titrage d'autres espèces chimiques en même temps que les ions chlorures ?

Références

[1] 8 8 2024. [En ligne]. Available: <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/eau>. [Accès le 1 10 2024].