

TITRAGE

Objectifs : réaliser et exploiter un titrage pour déterminer la concentration d'une espèce en solution.



Problématique : Le Lugol® est une solution aqueuse orangée composée notamment de diiode et couramment utilisée comme désinfectant et antiseptique. Quelle est la concentration en diiode dans le Lugol® ?

I. ÉTUDE DE LA RÉACTION ENTRE LE CALCIUM ET L'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Dosage par titrage

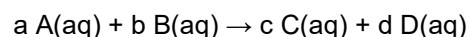
Un dosage par titrage (ou titrage) est une technique de dosage s'appuyant sur le déroulement d'une transformation chimique. La réaction qui la modélise doit être rapide, totale et unique (sans réaction parasite).

L'espèce chimique dont on ignore la valeur de la concentration en solution et que l'on souhaite doser est le *réactif titré*. On la fait réagir avec une espèce chimique dont on connaît bien la concentration en solution et qu'on appelle le réactif titrant.

Lors d'un titrage, une quantité de matière initiale et inconnue n_{initial} de réactif titré est prélevée. On ajoute ensuite progressivement dans le mélange du réactif titrant en mesurant le volume versé jusqu'à repérer l'équivalence.

Équivalence

On note A le réactif titré et B le réactif titrant. L'équation de la réaction support du titrage est :



L'équivalence E du titrage est un état particulier du système. Elle est atteinte lorsque le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. Alors

$$\frac{n_{\text{initial}}(\text{A})}{a} = \frac{n_{\text{E}}(\text{B})}{b}$$

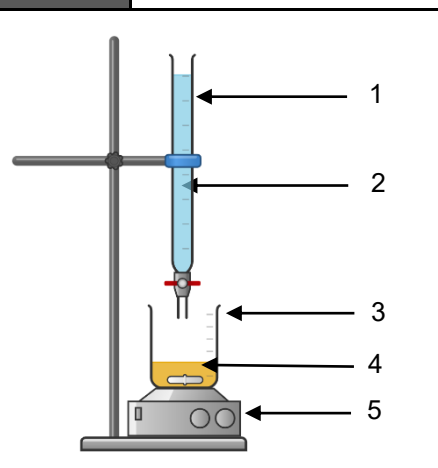
Lors d'un titrage suivi par colorimétrie, l'équivalence est repérée expérimentalement par un changement de couleur du mélange.

Protocole



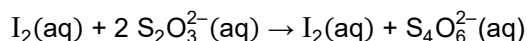
- Rincer la burette avec un mince filet de solution titrante et jeter le volume de rinçage ;
- remplir la burette de solution titrante jusqu'à zéro, en veillant à l'absence de bulles d'air, notamment sous le robinet de la burette ;
- à l'aide d'une pipette jaugée, prélever le volume souhaité de solution titrée et l'introduire dans un bécher ;
- introduire un barreau aimanté dans le bécher, le disposer sur un agitateur magnétique, le tout à la verticale de la burette ;
- sous agitation modérée, verser peu à peu la solution titrante dans le bécher et diminuer le débit de solution titrante lors des premiers états du système de couleur changeante ;
- repérer le volume versé pour lequel un changement de couleur durable est observé.

Schéma



On souhaite réaliser le titrage d'un échantillon de Lugol® à 1 % de diiode $\text{I}_2(\text{aq})$ dilué vingt fois par une solution de thiosulfate de sodium ($2 \text{ Na}^+(\text{aq})$, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) incolore et de concentration en thiosulfate de sodium égale à $c_{\text{thio}} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La réaction support du titrage a pour équation :



RÉALISER

suivre un protocole

A B C D



1. Préciser les légendes du schéma à l'aide du vocabulaire fourni dans le protocole.
2. Indiquer quelle est la solution à placer dans le bécher et quelle est celle à placer dans la burette.
3. Préparer le titrage d'un volume $V_{\text{Lugol}} = 20,0 \text{ mL}$ de Lugol® dilué vingt fois. **APPEL** 🙌.

L'empois d'amidon est une espèce chimique qui permet de révéler les traces de diiode en solution : l'empois d'amidon et le diiode forment un complexe de couleur bleue.

4. Réaliser le titrage en ajoutant quelques gouttes d'empois d'amidon lorsque le mélange est presque incolore.



ANALYSER

exploiter les grandeurs de la chimie quantitative

A B C D

5. Calculer la quantité de matière titrée $n_{\text{initial}}(\text{I}_2)$ en diiode dans l'échantillon étudié de Lugol® dilué dix fois.

6. Calculer la concentration en quantité de matière c_{diode} en diode dans l'échantillon étudié de Lugol® dilué vingt fois.
7. En déduire la concentration c_{Lugol} en quantité de matière diode dans le Lugol®. **APPEL** 🙌.

**VÉRIFIER***organiser les informations extraites***A B C D**

L'étiquette de Lugol® à 1 % indique qu'il s'agit d'une solution aqueuse contenant 1,0 g de diode pour 100 g de solution.

Données :

- masse volumique du Lugol à 25 °C : $\rho_{\text{Lugol}} = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$;
- masse molaire de l'iode : $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

8. Montrer à l'aide des données et des indications de l'étiquette que la concentration en diode dans le Lugol® doit être égale à $10,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et à $39,8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Incertitudes sur la mesure

▪ L'expérience conduit à des mesures et des résultats qui ne sont jamais exacts, et cela en raison de la variabilité de la mesure ou des erreurs liées à la justesse ou la fidélité des instruments, ou encore à la précision de l'expérimentateur. L'incertitude sur une grandeur X est notée $u(X)$ et se mesure dans la même unité que X . Un résultat donné avec son incertitude s'écrit sous la forme :

$$X = X_{\text{mesure}} \pm u(X)$$

Par exemple, après mesure sur une règle graduée placée le long du mur, on peut indiquer que la taille d'un patient chez le médecin vaut $h = (168 \pm 0,7) \text{ cm}$. Cette information signifie qu'on accorde près de 70 % de confiance à une hauteur mesurée comprise entre $(168 - 0,7) \text{ cm}$ et $(168 + 0,7) \text{ cm}$.

▪ Le *z-score* est un quotient qui compare l'écart entre une valeur obtenue expérimentalement et une valeur de référence, rapporté à l'incertitude de la mesure :

$$z = \frac{|\text{valeur mesurée} - \text{valeur de référence}|}{\text{incertitude de la mesure}}$$

Selon le niveau de confiance que l'on souhaite accorder à l'expérience, il peut être admis comme critère que l'expérience est satisfaisante si $z < 2$.

9. Compte-tenu de la précision des instruments employés lors de l'expérience, on peut déterminer que l'incertitude $u(c_{\text{Lugol}})$ sur la valeur calculée à la question 7 vaut 0,53 % de cette valeur. Réécrire la réponse de la question 7 en fournissant cette fois la valeur calculée assortie de son incertitude.
10. Calculer le *z-score* pour la concentration c_{Lugol} et conclure en termes de précision de l'expérience.

Éléments de correction

1. Légende 1 : burette graduée ; légende 2 : solution titrante ; légende 3 : bécher ; légende 4 : solution titrée ; légende 5 : agitateur magnétique.

2. La solution à placer dans la burette est la solution de thiosulfate de sodium qui joue le rôle de solution titrante ; la solution à placer dans le bécher est la solution de Lugol diluée dix fois, qui joue le rôle de solution titrée.

3. et 4. Voir vidéo en ligne. Le volume équivalent mesuré est égal à 15,0 mL.

5. D'après la relation à l'équivalence (doc. 2) : $\frac{n_{\text{diode,initiale}}}{1} = \frac{n_{\text{thiosulfate,équivalence}}}{2}$

Le volume de solution titrante versé à l'équivalence vaut $V_E = 15,0 \text{ mL}$ et la concentration en thiosulfate de sodium de cette solution vaut $c_{\text{thio}} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$. La quantité de matière en ions thiosulfate introduite à l'équivalence dans le bécher vaut $n_{\text{thiosulfate,équivalence}} = c_{\text{thio}} \cdot V_E = 1,00 \times 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 15,0 \text{ mL} = 15,0 \times 10^{-2} \text{ mmol} = 150 \mu\text{mol}$.

On en déduit, d'après l'égalité à l'équivalence, que la quantité en diiode initialement présente dans le bécher valait :

$$\frac{n_{\text{diode,initiale}}}{1} = \frac{n_{\text{thiosulfate,équivalence}}}{2} = \frac{150 \mu\text{mol}}{2} = 75,0 \mu\text{mol}$$

6. Cette quantité de matière a été prélevée dans un volume de 20,0 mL de Lugol dilué dix fois. La concentration en diiode dans le Lugol dilué dix fois vaut donc :

$$c_{\text{diode}} = \frac{n_{\text{diode,initiale}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{75,0 \mu\text{mol}}{20,0 \text{ mL}} = 3,75 \frac{\mu\text{mol}}{\text{mL}} = 3,75 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$$

7. Compte tenu de la dilution réalisée sur le Lugol, la concentration en diiode dans le Lugol est dix fois plus grande :

$$c_{\text{Lugol}} = 10 \cdot c_{\text{diode}} = 37,5 \text{ mmol/L}$$

8. On sait que 100 g de solution de Lugol doivent contenir 1,0 g de diiode selon l'étiquette.

Pour connaître la concentration en quantité de matière ($C = \frac{n}{V}$), nous devons connaître la quantité de matière en diiode correspond à 1,0 g, et nous devons connaître le volume de la solution correspondant à 100 g.

Calcul du volume correspondant à 100 g de solution de Lugol :

La masse volumique de la solution de Lugol est égale à $\rho_{\text{Lugol}} = 1,01 \text{ g/mL}$: chaque mL de solution pèse 1,01 g. Une masse de 100 g de solution correspond à un volume très voisin de 100 mL, la valeur exacte est :

$$V_{100 \text{ g}} = \frac{m}{\rho} = \frac{100 \text{ g}}{1,01 \text{ g/mL}} = 99,0 \text{ mL}$$

Calcul de la quantité de matière en diiode correspondant à 1,0 g de diiode :

$$n_{\text{diode}} = \frac{m_{\text{diode}}}{M_{\text{diode}}} = \frac{1,0 \text{ g}}{2 \times 126,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3,940 \text{ mmol (trop de CS)}$$

Calcul de la concentration en quantité de matière de diiode dans le Lugol d'après les indications de l'étiquette :

$$C_{\text{Lugol,étiquette}} = \frac{n_{\text{diode}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{3,940 \text{ mmol}}{99,0 \text{ mL}} = 39,8 \text{ mmol/L}$$

Calcul de la concentration en masse de diiode dans le Lugol d'après les indications de l'étiquette :

$$C_{\text{Lugol,étiquette}} = \frac{m_{\text{diode}}}{V_{\text{solution}}} = \frac{1,0 \text{ g}}{99 \text{ mL}} = 10,1 \text{ g/L}$$

9. $u(c_{\text{Lugol}}) = \frac{0,53}{100} \times c_{\text{Lugol}} = \frac{0,53}{100} \times 37,5 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 0,20 \text{ mmol/L}$ donc $c_{\text{Lugol}} = (37,50 \pm 0,20) \text{ mmol/L}$

10. $z_{\text{score}} = \frac{39,8 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 37,5 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}}{0,20 \text{ mmol/L}} = \frac{2,3}{0,20} = 11,5$: cette valeur est beaucoup trop grande, il faudrait reproduire l'expérience plusieurs fois pour vérifier les résultats obtenus.