Mesures et incertitudes : activité pour les élèves

Comparaison de deux méthodes de dosage de l'ion hydrogénocarbonate dans l'eau d'Évian

Cette activité est adossée au programme de la partie « Chimie Développement durable » de spécialité SPCL (Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire) de la classe de terminale. Elle peut être proposée dans la séquence 2 : « acides et bases ».

Objectif de l'activité

Évian® est une marque d'eau minérale appartenant à la division « *eaux* » du groupe agroalimentaire français Danone, n° 2 mondial en volume des eaux en bouteilles avec 18 milliards de litres derrière Nestlé Waters.
Sa source se situe dans les Alpes à Évian-les-Bains dans le département de la Haute-Savoie. L'eau est conditionnée à l'usine d'embouteillage d'Amphion-les-Bains.

On souhaite comparer deux méthodes de dosage des ions hydrogénocarbonates en termes de justesse et de fidélité. Pour cela on se propose de mettre en œuvre un dosage par titrage colorimétrique et un dosage par titrage avec suivi conductimétrique.

La solution titrante notée S_A est une solution d'acide chlorhydrique (H_3O^+, Cl^-) de concentration en quantité de matière C_A voisine de 0,020 mol·L^{-1} (valeur précise fournie par l'enseignant), le volume V_{eau} de la prise d'essai est à déterminer au préalable.

1. Activité préparatoire : quel volume d'eau minérale va-t-on doser ?

Données : Couples acide/base : $CO_2, H_2O/HCO_3^-$; H_3O^+/H_2O
Masse molaire de l'ion HCO_3^- : $M_{HCO_3^-} = 61{,}3\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. Rappeler la relation entre concentration en quantité de matière et concentration massique. À partir de l'étiquette de l'eau Évian®, déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière C_B en ion hydrogénocarbonate HCO_3^- de cette eau.
2. Nommer et donner la formule du réactif titrant intervenant dans le titrage envisagé.
3. En déduire l'équation de la réaction acidobasique support de ce titrage puis établir la relation à l'équivalence entre C_B, V_{eau}, C_A, et V_E (volume à l'équivalence).
4. Pour déterminer le volume V_{eau} d'eau minérale à doser, on fixe la valeur du volume équivalent V_E à 15 mL.
   À partir de la relation à l'équivalence, calculer le volume V_{eau} de la prise d'essai.
5. À partir du matériel disponible sur la paillasse, choisir la verrerie à utiliser pour prélever précisément ce volume.

BY NC SA

2. Les protocoles expérimentaux

Ouvrir la feuille de calcul Excel « Méthodes de dosage eau Evian résultats » dans laquelle vous noterez l'ensemble de vos mesures expérimentales.

2.1. Mode opératoire titrages par colorimétrie

Nous utilisons le « vert de bromocrésol » comme indicateur coloré pour réaliser ce titrage. Sa forme acide est jaune et sa forme basique est bleue. Sa zone de virage s'étend de pH = 3,8 à pH = 5,4 et nous admettons que cet indicateur convient pour repérer l'équivalence du titrage de l'ion hydrogénocarbonate.

- Réaliser le titrage colorimétrique en suivant le protocole n°1 donné dans l'encadré ci-dessous
- Recommencer le dosage pour obtenir 8 valeurs de volume à l'équivalence.
- Compléter la feuille de résultats Excel avec les 8 valeurs de volumes mesurées.

PROTOCOLE n°1 : dosage par titrage avec indicateur coloré

- Conditionner la burette et la remplir avec la solution S_A d'acide chlorhydrique
- Prélever précisément le volume V_{eau} d'eau minérale déterminé dans l'activité préparatoire.
- Introduire ce prélèvement dans un erlenmeyer et ajouter quelques gouttes de vert de bromocrésol (indicateur coloré).
- Placer l'erlenmeyer sous la burette, sous agitation magnétique modérée.
- Introduire progressivement la solution S_A, jusqu'à ce que la coloration verte persiste on est alors à l'état d'équivalence, qui doit être atteint à la goutte de solution titrante près.
- Le volume de solution titrante introduit correspond au volume à l'équivalence V_{E1} : noter sa valeur dans la feuille de calcul.

2.2. Mode opératoire titrages avec suivi conductimétrique

- Réaliser le titrage avec suivi conductimétrique de l'ion hydrogénocarbonate de l'eau minérale en suivant le protocole n°2 donné dans l'encadré ci-dessous.
- Recommencer le dosage pour obtenir 8 valeurs de volume à l'équivalence en employant toujours la même méthode pour repérer le point d'équivalence.
- Compléter la feuille de résultats.

PROTOCOLE n°2 : dosage par titrage avec suivi conductimétrique

- Préparer le tableur -grapheur afin de saisir les valeurs de deux grandeurs : V_A (volume de solution titrante introduit) et G (conductance) ou σ (conductivité), selon le type de conductimètre disponible.
- Conditionner la burette et la remplir avec la solution S_A d'acide chlorhydrique
- Prélever précisément le volume V_{eau} d'eau minérale déterminé dans l'activité préparatoire.
- Introduire ce prélèvement dans un bécher de 600 mL.
- Plonger dans le bécher la cellule de conductimétrie et ajouter 300 mL d'eau distillée.
- Placer le bécher sous la burette, sous agitation magnétique modérée.
- Mesurer la conductance ou la conductivité de la solution et noter sa valeur dans le tableur-grapheur.
- Mesurer la conductance ou la conductivité en effectuant des ajouts de 1 mL de solution titrante et noter, après chaque ajout, les valeurs de V_A et de G ou σ dans le tableur-grapheur.
- Représenter graphiquement l'évolution de G ou σ en fonction de V_A et exploiter la courbe obtenue pour déterminer le volume à l'équivalence V_{E2} .
- Le volume de solution titrante introduit correspond au volume à l'équivalence V_{E1} : noter sa valeur dans la feuille de calcul.

3. Analyse des résultats de mesures et comparaison des deux méthodes

Dans toute cette partie on s'intéressera à la dispersion des valeurs de concentration de l'ion hydrogénocarbonate et à leurs valeurs moyennes pour chaque méthode de dosage.

6. Pour chaque méthode de dosage, analyser les sources d'erreur affectant les valeurs des volumes équivalents.

7. Sachant que moins une méthode de mesure donne des résultats dispersés, plus on la qualifie de « fidèle », quelle est selon vous la méthode de titrage la plus fidèle, la moins fidèle ?

Le but des questions suivantes est de vérifier l'hypothèse formulée à la question 7 en réalisant une analyse statistique des résultats expérimentaux obtenus.

8. En tenant compte des relations de la question 3 et de la question 1, programmer les colonnes F et K afin de calculer toutes les valeurs C_{mB} de concentrations en masse (en mg·L^{-1}) en ion hydrogénocarbonate correspondant aux valeurs des volumes à l'équivalence mesurés.

9. Programmer les cellules F11 et K11pour calculer la moyenne des concentrations obtenues par chacune des deux méthodes testées.

10. Indiquer si, *à priori*, l'allure des graphiques obtenus permet de valider l'hypothèse formulée à la question 7.

11. Proposer une exploitation possible des séries de mesure afin de comparer quantitativement les 2 méthodes en termes de fidélité.

12. Après validation par le professeur, exploiter la feuille de calcul pour mettre en œuvre la méthode proposée à la question précédente et, en conclusion, comparer la fidélité des 2 méthodes en justifiant votre raisonnement.

13. Formuer deux phrases (une par méthode testée) sur le modèle :

« La méthode ... donne une concentration de valeur moyenne ... avec une incertitude-type de ... ».

14. Appliquer le critère présenté dans le document 2 pour évaluer la compatibilité (ou non) de la moyenne des valeurs mesurées avec la valeur de référence de la concentration en masse en ions hydrogénocarbonate.

15. Comparer finalement les deux méthodes de dosage en termes de justesse et fidélité.

DOCUMENT 1 : évaluation d'une incertitude-type par une méthode de type A

Lorsque l'on dispose d'un échantillon de n valeurs mesurées avec la même méthode, alors :

- la moyenne des valeurs de l'échantillon est le meilleur estimateur de la valeur mesurée ;
- son incertitude-type peut être évaluée avec la relation :

$$u(V_{E\text{moy}}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

s étant l'écart-type de l'échantillon et n le nombre de valeurs qu'il contient.

DOCUMENT 2 : comparaison d'un résultat de mesure à une valeur de référence

Une valeur de référence x_{ref} d'une grandeur x est une valeur supposée avoir une incertitude beaucoup plus faible que la valeur mesurée x_{mes} à laquelle on la compare.

On considère que la valeur mesurée est compatible avec la valeur de référence si leur différence (en valeur absolue) est inférieure au double de l'incertitude-type, soit :

$$|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}| \leq 2 \times u(x_{\text{mes}})$$

CC BY NC SA