EXERCICE 3 : La lessive de cendre (4 points)

La lessive de cendre est une lessive maison très simple à fabriquer. Il suffit de tamiser les cendres de bois produites par un feu de cheminée puis d'en mettre l'équivalent d'un verre par litre d'eau, de laisser reposer et de filtrer le tout. On obtient ainsi une lessive écologique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les caractéristiques chimiques de cette lessive pour déterminer la quantité à utiliser en machine à laver.

1. Étude de l'ion carbonate

Les cendres de bois contiennent de nombreuses espèces chimiques. Parmi elles, les ions carbonateCO_3^{2-} sont en quantité significative et possèdent des propriétés acido-basiques.

Données :

- couples acide-base :
  - dihydrogénocarbonate / ion hydrogénocarbonate : $H_2CO_3(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$;
  - ion hydrogénocarbonate / ion carbonate : $HCO_3^-(aq)$ / $CO_3^{2-}(aq)$;
  - couples de l'eau : $H_3O^+(aq)$ / $H_2O(\ell)$; $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$.
- masse molaire du carbonate de potassium : $M(K_2CO_3) = 138{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- produit ionique de l'eau à 25 °C : $K_e = 1{,}0\times10^{-14}$ et $pK_e = 14{,}0$.

Q.1. Définir une espèce chimique basique selon Brönsted.

Pour étudier le comportement des ions carbonate de la lessive de cendre, on pèse au laboratoire une masse m = 3,0 g de carbonate de potassium $K_2CO_3(s)$ que l'on dissout dans une fiole jaugée de 100,0 mL. On obtient ainsi la solution aqueuse S.

Q.2. Calculer la concentration en quantité de matière des ions carbonate dans la solution S.

Q.3. Écrire et ajuster l'équation de la réaction acido-basique se produisant entre CO_3^{2-} et H_2O.

Le pH de la solution S est de 11,8.

Q.4. En déduire la concentration en ions hydroxyde HO^- dans la solution S.

Q.5. Comparer la concentration en ions hydroxyde à la concentration apportée en ions carbonate. En déduire que l'ion carbonate est une base faible, permettant d'assimiler la lessive de cendre à une solution d'ions carbonate.

2. Titrage des espèces basiques contenues dans la lessive de cendre

L'objectif de cette partie est de déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour remplacer une lessive classique. Pour cela, on réalise un titrage des ions carbonate $CO_3^{2-}(aq)$ présents dans la lessive de cendre.

Données :

Pour une machine contenant 5 kg de linge, l'étiquette d'une lessive commerciale préconise, selon la dureté de l'eau du robinet, les quantités en espèces chimiques basiques suivantes :

Dureté de l'eau du robinet	Très douce	Douce	Dure	Très dure
Quantité d'espèces chimiques basiques à introduire	Entre $4{,}0\times10^{-3}$ mol et $5{,}0\times10^{-3}$ mol	Entre $5{,}0\times10^{-3}$ mol et $6{,}0\times10^{-3}$ mol	Entre $6{,}0\times10^{-3}$ mol et $1{,}0\times10^{-2}$ mol	Entre $1{,}0\times10^{-2}$ mol et $1{,}5\times10^{-2}$ mol

D'après une étiquette d'une lessive commerciale.

Pour une lessive commerciale, cela correspond à un volume de lessive compris entre 50 et 150 mL.

Protocole :

On dispose d'une solution de lessive de cendre notée S_0.

On réalise une solution S_1 à partir d'une dilution par 10 de la solution S_0.

Le titrage d'un volume V_1 = 10,0 mL de solution S_1 est réalisé par pH-métrie. L'acide chlorhydrique ($H_3O^+(aq)$, $C\ell^-(aq)$) de concentration $c_A = 5{,}00\times10^{-3}$ mol·L^{-1} est la solution titrante.

Q.6. Écrire les demi-équations des deux couples acide-base mettant en jeu les ions carbonate et du couple $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$, et justifier que l'équation support de la réaction de titrage s'écrit :

$$CO_3^{2-}(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + 2H_2O(\ell)$$

Dans la pratique, la courbe de titrage fait apparaître deux sauts de pH. On admet que le volume équivalent correspondant à la réaction précédente vaut V_{eq} = 17,0 mL.

Q.7. Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions carbonate de la lessive de cendre S_0.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Des mesures effectuées conduisent à qualifier l'eau de dure.

Q.8. Déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour répondre aux préconisations de l'étiquette. Commenter le résultat obtenu.