Bac 2026 Amérique du nord Jour 2 **Correction © https://www.labolycee.org**

Exercice 3 : La lessive de cendre (4 points)

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 : $Ke = 1{,}0\times10^{-14}$ et $pKe = 14{,}0$.

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

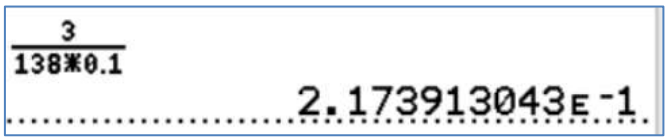
D'après Bronsted, une base est une espèce chimique capable de gagner un ou plusieurs protons H^+.

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.

$$C = \frac{n}{V} \text{ or } n = \frac{m}{M} \text{ donc } C = \frac{m}{M\cdot V}$$

$$C = \frac{3{,}0\ g}{138{,}0\ \frac{g}{mol}\times 0{,}1000\ L} = 0{,}22\ mol\cdot L^{-1}$$



Il s'agit de la concentration apportée en K_2CO_3, on cherche la concentration effective en ions carbonate CO_3^{2-}.

L'équation de dissolution est $K_2CO_3(s) \rightarrow 2K^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$, ainsi il se forme autant d'ions carbonate que l'on apporte de K_2CO_3 et donc $C = [CO_3^{2-}(aq)]$.

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

$$CO_3^{2-}(aq) + H_2O(\ell) \rightleftarrows HCO_3^-(aq) + HO^-(aq)$$

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

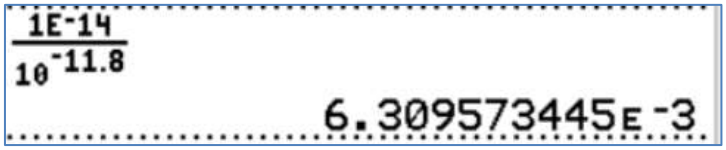
Q.4. En déduire la concentration en ions hydroxyde HO^- dans la solution S.

$$[H_3O^+(aq)]\cdot[HO^-(aq)] = Ke$$

$$[HO^-(aq)] = \frac{Ke}{[H_3O^+(aq)]}$$

$$[HO^-(aq)] = \frac{Ke}{10^{-pH}}$$

$$[HO^-(aq)] = \frac{1{,}0\times10^{-14}}{10^{-11{,}8}} = 6{,}3\times10^{-3}\ mol\cdot L^{-1}$$



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.

La concentration en ions hydroxyde $\left[HO^-(aq)\right] = 6{,}3\times10^{-3}$ mol·L^{-1} est très inférieure à la concentration apportée en ions carbonate C = 0,22 mol·L^{-1}.
D'après l'équation de la réaction vue en Q3., si la transformation avec l'eau était totale alors on aurait $n_{CO_3^{2-}(aq)\,apportée} = n_{HO^-(aq)\,finale}$ donc $C = \left[HO^-(aq)\right]$.
On en déduit que la transformation n'est pas totale donc l'ion carbonate est une base faible.

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.
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 = 5,00×10^{-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 : $CO_3^{2-}(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + 2H_2O(\ell)$

Première étape : Couple $HCO_3^-(aq) / CO_3^{2-}(aq)$

Demi-équation acido-basique : $CO_3^{2-}(aq) + H^+(aq) = HCO_3^-(aq)$

Erreur dans le sujet ? Lors du titrage c'est le couple H_3O^+(aq) / $H_2O(\ell)$ qui intervient.
Demi-équation acido-basique : $H_3O^+(aq) = H_2O(\ell) + H^+(aq)$

$$CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(\ell)$$

Deuxième étape : Couple $H_2CO_3(aq) / HCO_3^-(aq)$

Demi-équation acido-basique : $HCO_3^-(aq) + H^+(aq) = H_2CO_3(aq)$

Couple H_3O^+(aq) / $H_2O(\ell)$
Demi-équation acido-basique : $H_3O^+(aq) = H_2O(\ell) + H^+(aq)$

$$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + H_2O(\ell)$$

En faisant le bilan des deux étapes $CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(\ell)$
$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + H_2O(\ell)$
On retrouve bien l'équation support du titrage :

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

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.

À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

$$\frac{n_{H_3O^+}}{2}\text{versée} = n_{CO_3^{2-}}\text{initiale}$$

$$\frac{c_A \cdot V_{eq}}{2} = c_1 \cdot V_1$$

$$c_1 = \frac{c_A \cdot V_{eq}}{2V_1}$$

$$c_1 = \frac{5{,}00\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\times 17{,}0\ \text{mL}}{2\times 10{,}0\ \text{mL}} = 4{,}25\times10^{-3}\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

La solution titrée S_1 a été diluée d'un facteur 10, ainsi $c_0 = 10\ c_1$.

$c_0 = 4{,}25\times10^{-2}\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

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.

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.

Pour une eau dure $6{,}0\times10^{-3} \le n \le 1{,}0\times10^{-2}$ mol.

$n = c \cdot V$ donc $V = \frac{n}{C}$

$$\frac{6{,}0\times10^{-3}}{4{,}25\times10^{-2}} \le V \le \frac{1{,}0\times10^{-2}}{4{,}25\times10^{-2}}\ \text{L}$$

$1{,}4\times10^{-1} \le V \le 2{,}4\times10^{-1}$ L de lessive de cendre.

En cas d'usage d'une lessive commerciale, il faudrait entre 50 et 150 mL de lessive donc entre $5{,}0\times10^{-2}$ L et $1{,}50\times10^{-1}$ L.

On remarque donc qu'avec la lessive de cendre il faut un plus grand volume de lessive.

Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs à labolycee@labolycee.org