D.S. de chimie PSI 2

lundi 5 mai 2025 - Durée 1h00

Vous devez écrire au stylo bic bleu ou noir. L'utilisation d'un correcteur est interdite.

Problème 1 : Entretien d'un chauffe-eau : le calcaire

Un chauffe-eau à accumulation, ou cumulus, est un réservoir en acier muni d'une résistance chauffante, permettant de stocker une grande quantité d'eau chaude pour la consommation quotidienne d'un foyer.

Ce stockage présente toutefois l'inconvénient du risque d'entartrage (dépôt de calcaire, notamment sur la résistance chauffante), qui nuit à l'efficacité énergétique ainsi qu'à la durée de vie de l'appareil.

Données :

— numéros atomiques : $Z(H) = 1$, $Z(C) = 6$ et $Z(O) = 8$.

— produit de solubilité du carbonate de calcium $CaCO_{3(s)}$ à $298°C$: $K_s = 10^{-8,4}$

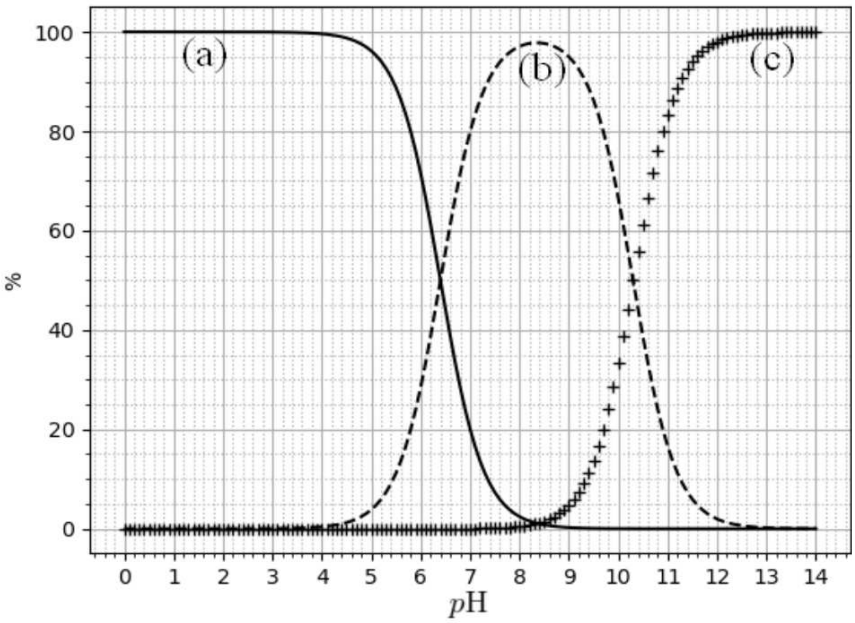
L'eau contient de nombreux ions dissous, parmi lesquels figurent les ions calcium, en partie responsables de la formation de tartre. Le contact direct de la résistance chauffante avec l'eau favorise la formation de tartre, qui se dépose sur la résistance et altère sa performance.

Le tartre est un précipité blanc essentiellement constitué de carbonate de calcium (ou calcaire), qui est un solide ionique de formule $CaCO_{3(s)}$.

1. On rappelle que le calcium est un élément alcalino-terreux. En déduire la formule des deux ions qui constituent le carbonate de calcium.
2. Dessiner la structure de Lewis de l'ion carbonate, sachant que les trois longueurs de liaison y sont rigoureusement égales. L'ion carbonate est une dibase. Rappeler ce que cela signifie.

On note K_{a1} la constante d'acidité du couple $H_2CO_{3(aq)}/HCO^-_{3(aq)}$ et K_{a2} celle du couple $HCO^-_{3(aq)}/CO^{2-}_{3(aq)}$

On fournit le diagramme de distribution des trois espèces figurant dans ces couples en fonction du pH sur la figure suivante :



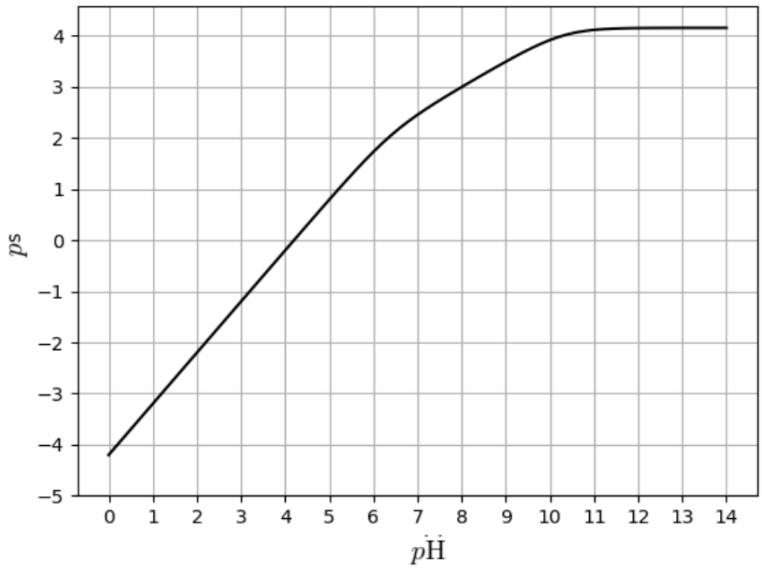
3. Attribuer chaque courbe (a), (b) et (c) aux différentes espèces mentionnées dans les couples acido-basiques précédents.
4. Déterminer grâce à ce diagramme les valeurs de pK_{a1} et de pK_{a2}. Justifier.
5. Retrouver l'équation théorique de la courbe $\%(c) = f(pH)$. Comment cette équation peut-elle se simplifier pour un domaine de $pH > 9$?

On s'intéresse à la solubilité s du carbonate de calcium dans l'eau.

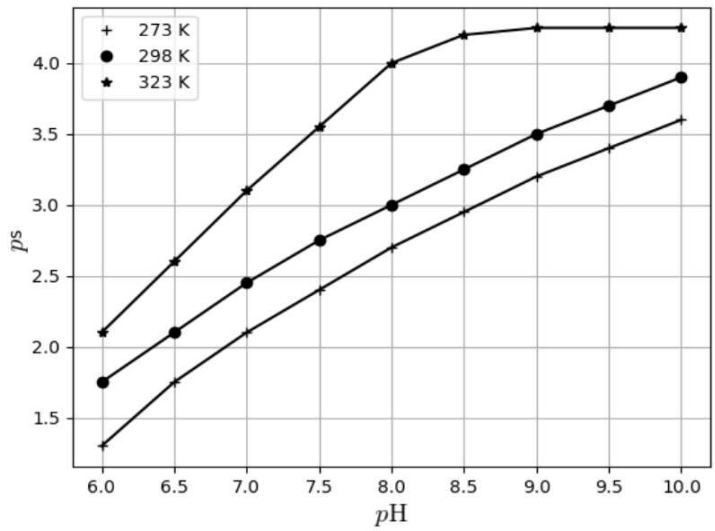
6. Écrire l'équation de dissolution du carbonate de calcium dans l'eau à $pH = 13$ (cette équation a pour constante d'équilibre K_s). En déduire la solubilité du carbonate de calcium à ce pH.

7. Lorsque le pH de l'eau est compris entre $7,4$ et $9,3$, quelle espèce acido-basique est majoritaire parmi les espèces du diagramme de distribution ? Si on néglige la concentration des deux autres espèces, la RP unique est
$$CaCO_{3(s)} + H_3O^+_{(aq)} = Ca^{2+}_{(aq)} + HCO^-_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$
Déterminer la constante d'équilibre de cette réaction.
8. En déduire l'expression de $ps = f(pH)$ pour $7,4 < pH < 9,3$.
Rappel : $ps = -log(s)$

On fournit le graphe complet $ps = f(pH)$ à $T = 298\ K$:



On fournit également le graphe $ps = f(pH)$ à différentes températures, zoomé dans la zone de pH qu'on peut rencontrer dans un chauffe-eau :



9. Dans la cuve d'un chauffe-eau, comment évolue le dépôt de calcaire lorsque le pH augmente ? Pour nettoyer le dépôt de calcaire sur la résistance électrique d'un chauffe-eau, faut-il utiliser une solution acide ou basique ? Justifier.
10. On considère une résistance entartrée, recouverte d'un dépôt de $0,200\ mol$ de calcaire. On plonge cette résistance dans un volume $V = 1,00\ L$ de solution d'acide chlorhydrique molaire (concentration $1\ mol.L^{-1}$). La RP unique est alors
$$CaCO_{3(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} = Ca^{2+}_{(aq)} + H_2CO_{3(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$
Montrer que celle-ci entraînera la disparition totale du calcaire de la résistance.
11. Pourquoi un chauffe-eau s'entartre-t-il bien davantage qu'une simple citerne conservant de l'eau potable ?