

Devoir de chimie

DURÉE 2H

PROBLÈME 1

III.1 - Problème de calcaire

III.1.A - Provenance du calcaire

Données

Numéros atomiques : $Z(\text{H}) = 1$, $Z(\text{C}) = 6$, $Z(\text{O}) = 8$

Produit de solubilité du carbonate de calcium $\text{CaCO}_{3(\text{s})}$ à 298 K : $K_s = 10^{-8,4}$

L'eau contient de nombreux ions dissous parmi lesquels figurent les ions calcium en partie responsables de la formation de tartre. Lorsque l'eau est calcaire, 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.

- Q33.** Donner les configurations électroniques des atomes d'hydrogène H, de carbone C et d'oxygène O dans leur état fondamental et préciser le nombre d'électrons de valence de chaque atome.
- Q34.** L'ion hydrogénocarbonate a pour formule chimique HCO_3^- . Établir la représentation de Lewis de l'ion hydrogénocarbonate.

L'ion hydrogénocarbonate appartient aux couples acido-basiques suivants :

- $\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}/\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-$ auquel on associe la constante d'acidité K_{A1} à 298 K ($\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$, appelé acide carbonique, représente le mélange $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$) ;
- $\text{HCO}_{3(\text{aq})}^-/\text{CO}_{3(\text{aq})}^{2-}$ auquel on associe la constante d'acidité K_{A2} à 298 K.

- Q35.** Donner l'expression de la constante d'acidité K_A associée à un couple acido-basique $\text{AH}_{(\text{aq})}/\text{A}_{(\text{aq})}^-$. En déduire le lien entre $pK_A = -\log K_A$ et le pH.

On fournit le diagramme de distribution de l'acide carbonique sur la **figure 5**.

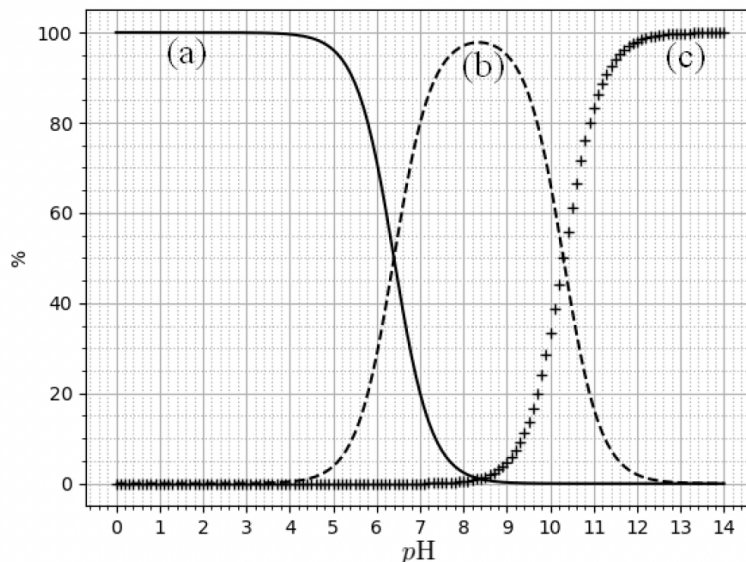


Figure 5 - Diagramme de distribution de l'acide carbonique

- Q36.** En expliquant votre démarche, attribuer chaque courbe de distribution ((a), (b) et (c)) à une espèce chimique (H_2CO_3 , HCO_3^- ou CO_3^{2-}).
- Q37.** À l'aide du diagramme de distribution de la **figure 5**, déterminer les valeurs de pK_{A1} et pK_{A2} en justifiant votre réponse.
- Q38.** Quelle est l'espèce majoritaire pour $7,4 < \text{pH} < 9,3$?

On s'intéresse à la solubilité s du carbonate de calcium (composé majoritaire du calcaire) dans l'eau.

- Q39.** Écrire l'équation de dissolution du carbonate de calcium dans l'eau.
- Q40.** Donner l'expression du produit de solubilité K_s du carbonate de calcium en assimilant les activités chimiques des constituants en solution à leurs concentrations.
- Q41.** Justifier que, pour $7,4 < \text{pH} < 9,3$, la solubilité s du carbonate de calcium est telle que $s = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{éq}}$ et $s \approx [\text{HCO}_3^-]_{\text{éq}}$.
- Q42.** En déduire l'expression de $ps = f(\text{pH})$ pour $7,4 < \text{pH} < 9,3$.

On fournit les graphes suivants :

- le graphe du cologarithme décimal de la solubilité $ps = -\log(s)$ du carbonate de calcium $\text{CaCO}_{3(s)}$ en fonction du pH à 298 K (**figure 6**) ;

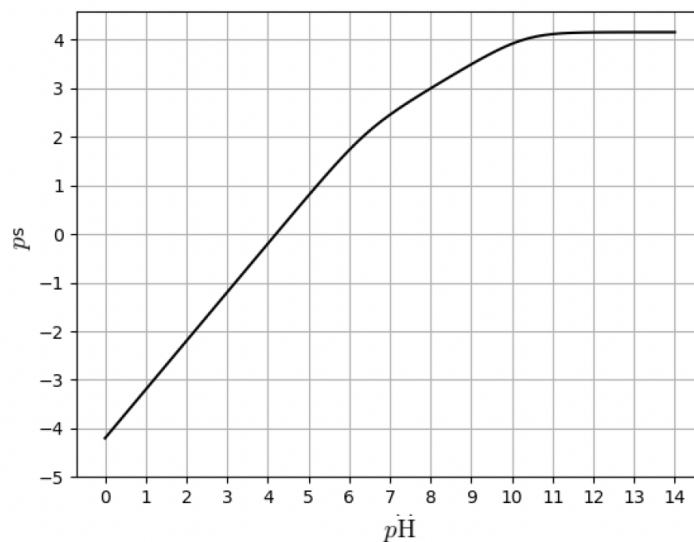


Figure 6 - Évolution du ps de CaCO_3 en fonction du pH à $T = 298\text{K}$

- le graphe du cologarithme décimal de la solubilité ps du carbonate de calcium $\text{CaCO}_{3(s)}$ en fonction du pH pour différentes températures (**figure 7**) ;

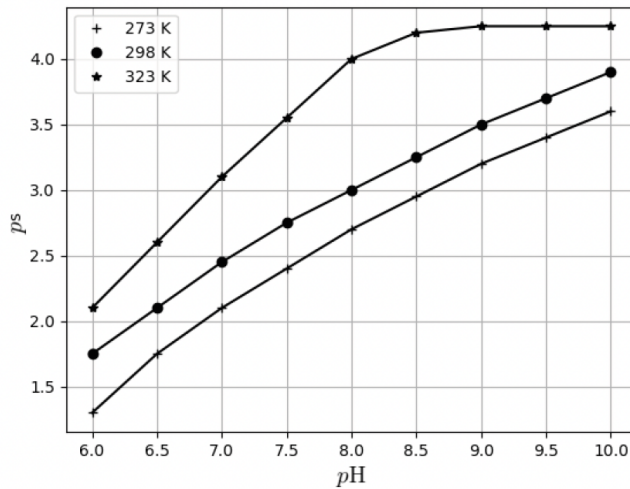


Figure 7 - Évolution du ps de CaCO_3 en fonction du pH pour différentes températures

- Q43.** Vérifier la cohérence du résultat précédent avec le graphe fourni sur la **figure 6**.
- Q44.** Dans la cuve d'un chauffe-eau, comment évolue le dépôt de calcaire lorsque le pH augmente? Justifier.
- Q45.** Pour nettoyer le dépôt de calcaire sur la résistance électrique chauffante d'un chauffe-eau, faut-il utiliser une solution acide ou basique? Justifier.
- Q46.** Dans la cuve d'un chauffe-eau, comment évolue le dépôt de calcaire lorsque la température augmente? Justifier.

PROBLÈME 2

III.2 - Émissions liées à la production des batteries

La seconde source d'émissions carbone associée aux voitures électriques est le processus de production de la batterie. En fonction de la taille de la batterie, les émissions associées à ce processus peuvent être plus ou moins importantes. Nous nous intéresserons ici aux batteries des voitures citadines Zoé de la marque Renault, plutôt légères et faiblement émettrices de CO₂ lors de leur fabrication. Leurs caractéristiques sont données dans le **document 3** et leur principe de fonctionnement est décrit dans le **document 4**.

Document 3 - Caractéristiques de la batterie d'une Renault Zoé

Nombre de cellules	100
Masse de lithium par cellule (g)	42
Masse de carbone par cellule (g)	251
Masse de cobalt par cellule (g)	56
Nombre maximal de cycles	1 000

Tableau 4 - Caractéristiques de la batterie

Source : www.renaultgroup.com

On considèrera dans toute la suite que la batterie est maintenue à 298 K.

Q60. Préciser le rôle du milieu poreux.

Q61. Justifier l'attribution des noms d'anode et de cathode à chacune des électrodes.

Q62. Établir l'équation-bilan de fonctionnement d'une cellule.

Q63. Exprimer les potentiels associés à chacun des couples.

Q64. Exprimer, puis calculer la tension à vide U d'une cellule. En déduire la valeur de la tension à vide de la batterie U_{bat} .

Pour la suite, on prendra la valeur $U_{\text{bat}} = 400 \text{ V}$ pour la tension à vide de la batterie.

La puissance délivrée par la batterie pour faire rouler la voiture à $v_0 = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ est de 20 kW.

Q65. Calculer l'intensité I_{bat} du courant délivré par la batterie. En déduire la valeur de la durée de décharge totale de la batterie.

Q66. Pour une vitesse constante de v_0 , déterminer la distance totale qui peut être parcourue sur la durée de vie totale de la batterie.

On estime à 2 tonnes d'équivalent carbone les émissions liées à la fabrication de la batterie d'une Zoé, ces émissions s'ajoutant à celles issues de la fabrication du reste de la voiture portant le total à environ 5 tonnes. Pour conclure l'étude, nous avons représenté en **figure 6** les émissions carbone cumulées pour trois types de voiture : une voiture thermique Clio, une voiture électrique Zoé (dont les données sont issues des raisonnements que nous venons de mener) et le dernier SUV électrique produit par Tesla, le Cybertruck.

Couple	Li ⁺ /LiC ₆	CoO ₂ /LiCoO ₂
Potentiel standard d'oxydoréduction (V)	- 3,05	0,65

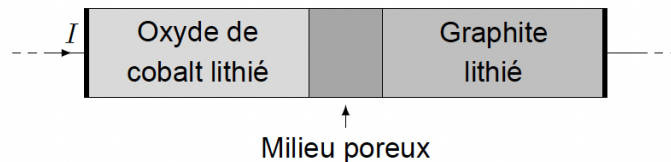
- constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- numéros atomiques : $Z(\text{H}) = 1$, $Z(\text{C}) = 6$, $Z(\text{N}) = 7$, $Z(\text{O}) = 8$;
- masses molaires : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Li}) = 7,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Ni}) = 59 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Document 4 - Batteries Lithium-Ion

Les batteries Lithium-Ion (Li-Ion), ou accumulateurs Lithium-Ion, sont composées de plusieurs cellules associées en série. Chacune de ces cellules est constituée de deux électrodes :

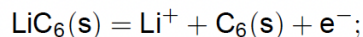
- une cathode en oxyde de cobalt lithié de formule LiCoO₂ ;
- une anode en graphite lithié de formule LiC₆.

Ces électrodes sont produites par insertion d'atomes de lithium Li dans des cristaux d'oxyde de cobalt et de graphite. Ces deux cristaux hôtes sont séparés par un milieu poreux.

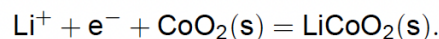


Au niveau de chaque électrode, les processus électroniques en jeu peuvent être modélisés par les demi-équations électroniques suivantes :

- à l'anode pour le couple Li⁺/LiC₆ :



- à la cathode pour le couple CoO₂/LiCoO₂ :



Les cellules sont utilisées sur deux phases :

- la décharge, lors de laquelle la batterie délivre un courant vers un circuit externe : elle fonctionne comme une pile ;
- la charge, lors de laquelle le circuit externe est remplacé par un générateur : elle fonctionne comme un électrolyseur.

Les utilisateurs et utilisatrices enchaînent des phases de charge et de décharge qui constituent des cycles. Le nombre de cycles que peut effectuer une batterie Li-Ion est limité ; la batterie atteint alors sa fin de vie, elle n'est plus utilisable.

