

PC* 2025/ 2026

*Bellevue***Devoir de chimie 1 – à rendre le mercredi 10 Septembre****Exercice 1 :**

Le dioxyde de carbone est responsable de la mousse et des bulles qui se créent lorsque du champagne est versé dans un verre. Le but de cette partie est de déterminer le nombre de bulles que contient une coupe de champagne de 10 cL.

Pour traiter cette partie, on utilisera les **documents 1, 2, 3** dont il est recommandé de prendre connaissance avant de commencer à traiter les questions.

Document 1 : Quelques caractéristiques du champagne

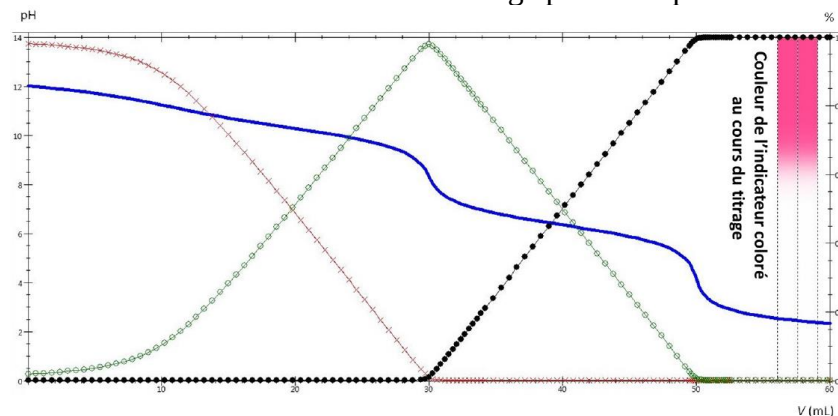
Dans une bouteille de champagne fermée, la concentration en dioxyde de carbone solvaté $\text{CO}_2(\text{aq})$ est de 12 g.L^{-1} . La pression dans la bouteille est de l'ordre de 6 bars. Le gaz contenu dans la bouteille fermée entre le liquide et le bouchon est essentiellement du dioxyde de carbone. Lorsque la bouteille est ouverte, le champagne retrouve la pression atmosphérique et présente une sursaturation en $\text{CO}_2(\text{aq})$. Pour retrouver l'équilibre, du dioxyde de carbone est alors dégazé. Ce dégazage peut se faire de deux manières :

- directement à l'interface entre le liquide et l'air ambiant se trouvant au-dessus de la coupe,
- via la formation de bulles au contact des poussières et des aspérités du verre se trouvant sur la paroi de la coupe. Les bulles remontent alors à travers le liquide jusqu'à l'interface. Ce phénomène est responsable de l'effervescence observée dans une coupe de champagne.

Le dégazage par formation de bulles ne représente que 20 % du dégazage total de dioxyde de carbone. Les tailles des bulles peuvent être variables. On considère qu'elles mesurent en moyenne 0,5 mm de diamètre.

Document 2 : Détermination expérimentale de la teneur en CO_2 dans l'atmosphère

À l'aide d'une pompe d'aquarium présentant un débit de 40 litres d'air par heure, on fait buller de l'air pendant 1 h 30 min dans un volume $V_0 = 50,0 \text{ mL}$ d'une solution de soude ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) de concentration molaire $C_0 = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Cette étape permet de piéger les n_0 moles de $\text{CO}_2(\text{g})$ contenues dans l'air ayant barboté dans la solution de soude. En effet, une transformation quantitative se produit entre $\text{CO}_2(\text{g})$ et la soude. On appelle S_0 la solution ainsi obtenue. On dose ensuite S_0 par de l'acide chlorhydrique de concentration molaire $C_A = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ en présence de phénolphtaléine. L'équivalence est observée pour $V_{\text{eq}} = 30,0 \text{ mL}$.

Document 3 : Courbe simulée du dosage pH-métrique de la solution S_0 **Légende :**

- courbe bleue (courbe lisse) : $\text{pH} = f(V)$
- courbe rouge (courbe avec des x) :
% molaire d'ions CO_3^{2-}
- courbe verte (courbe avec des o) :
% molaire d'ions HCO_3^-
- courbe noire (courbe avec des •) :
% molaire en $\text{CO}_2(\text{aq})$

Données à 298 K :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Masse molaire : $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g.mol}^{-1}$

Constante d'acidité : $\text{p}K_A(\text{CO}_{2(\text{aq})} / \text{HCO}_3^-) = 6,3$ $\text{p}K_A(\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}) = 10,3$ $\text{p}K_E = 14$

Volume molaire d'un gaz parfait sous 1 bar : $V_m = 24,7 \text{ L.mol}^{-1}$

Q1. Placer sur un diagramme de prédominance les espèces $\text{CO}_{2(\text{aq})}$, HCO_3^- et CO_3^{2-} .

Q2. Sachant que le pH de la solution S_0 vaut 12,2, écrire l'équation de la réaction qui s'est produite lors du barbotage de l'air (contenant $\text{CO}_{2(\text{g})}$) dans la solution de soude.

Q3. En analysant le document 3, montrer que le virage de la phénolphthaléine marque la fin du domaine dans lequel deux réactions se sont produites. Écrire les équations de ces deux réactions et montrer que ces réactions sont quantitatives grâce au calcul de leur constante d'équilibre.

Q4. Montrer que $n_0 = C_0V_0 - C_AV_{\text{eq}}$. *Le candidat pourra admettre cette relation pour la suite du problème.*

Q5. En déduire la valeur expérimentale de la pression partielle du dioxyde de carbone P_{CO_2} dans l'air supposé à la pression atmosphérique ($P_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar}$) et à 298 K.

On cherche maintenant à déterminer la solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau. Pour cela, on étudie, dans un premier temps, sa solubilité en fonction du pH.

On note K la constante d'équilibre entre $\text{CO}_{2(\text{g})}$ et $\text{CO}_{2(\text{aq})}$:

$$\text{CO}_{2(\text{g})} = \text{CO}_{2(\text{aq})} \text{ Constante d'équilibre } K$$

On considère, pour les questions qui suivent, que la pression partielle en $\text{CO}_{2(\text{g})}$ vaut $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$.

Q6. A l'aide du document 1, déterminer la valeur numérique de K .

Q7. Définir la solubilité s du dioxyde de carbone gazeux dans l'eau. Etablir son expression en fonction de K , K_{A1} , K_{A2} , P_{CO_2} et de $[\text{H}_3\text{O}^+]$

Q8. Expliquer pourquoi, dans l'expérience du document 2, le barbotage se fait dans la soude et pas dans l'eau distillée.

Q9. Sachant que le pH du champagne est égal à 3, déterminer la quantité dissoute de dioxyde de carbone dans 1 L de champagne à l'équilibre avec l'atmosphère dans laquelle on considère que la pression partielle en $\text{CO}_{2(\text{g})}$ vaut $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$.

Q10. A l'aide des informations contenues dans les différents documents et des réponses aux questions précédentes, estimer le nombre de bulles que peut libérer une coupe de champagne de 10 cL. *Cette question ouverte appelle un raisonnement en plusieurs étapes et l'utilisation de données contenues dans les documents. Toute tentative sera valorisée lors de la correction.*

Exercice 2 : *Encore les propriétés acides du dioxyde de carbone dissous*

En 2014, le prix Potier a été remis à l'entreprise Solvay pour son innovation BiFor-SafE.

Cette solution à base de bicarbonate de sodium et de sels minéraux, agréée pour une utilisation en agriculture biologique, permet de lutter efficacement contre certains parasites et d'améliorer l'hygiène des bâtiments agricoles. La principale formulation commercialisée de BiFor-SafE est PROCropTM.

Données à $T = 298 \text{ K}$:

$\text{p}K_A(\text{H}_2\text{CO}_3 / \text{HCO}_3^-) = 6,4$ $\text{p}K_A(\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}) = 10,3$, $\text{p}K_E = 14$

$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g.mol}^{-1}$

Q11. Expliquer le terme « prédominance » ; Pourquoi cette notion a-t-elle une importance en chimie des solutions ?

Q12 . Sur la fiche technique de PROCropTM, il est indiqué que le pH de la solution vaut 8,8. Montrer quantitativement que dans la solution PROCropTM, la présence des ions carbonate CO_3^{2-} peut être négligée.

Q13. Expliquer les résultats des lignes 2 et 3 du premier tableau du document A. Pour chaque cas, donner l'allure de la courbe $\text{pH} = f(V)$ que l'on aurait obtenu si le dosage avait été suivi par pH-métrie.

On réalise deux titrages de 10,0 mL d'une solution S contenant un mélange de carbonate de sodium (Na_2CO_3) de concentration molaire C_1 et d'hydrogencarbonate de sodium (NaHCO_3) de concentration molaire C_2 par de l'acide chlorhydrique à $0,109 \text{ mol.L}^{-1}$. Le premier titrage est effectué en présence de phénolphthaléine et le second en présence de vert de bromocrésol.

Les volumes équivalents obtenus sont respectivement $V_{pp} = 8,2 \text{ mL}$ et $V_{vb} = 19,1 \text{ mL}$.

Q14. Déterminer les concentrations C_1 et C_2 .

En déduire le pH de la solution S.

La solution d'acide chlorhydrique est fabriquée à partir d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique à 37% en masse de densité ($d = 1,19$). La solution obtenue est ensuite étalonnée en réalisant un titrage d'une masse connue précisément d'hydrogencarbonate de sodium par la solution de concentration molaire inconnue d'acide chlorhydrique. Après avoir réalisé l'étalonnage, une équipe technique transmet les informations suivantes :

- la masse d'hydrogencarbonate de sodium pesée vaut 140 mg avec une incertitude type de 0,3 mg,
- le volume équivalent vaut 15,2 ml avec une incertitude-type de 0,05 mL.

Q15. Décrire un protocole permettant d'obtenir 250 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration environ égale à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ à partir de la solution commerciale. On détaillera la verrerie à utiliser, les volumes à prélever ainsi que les consignes de sécurité à respecter.

Q16. Donner un encadrement de la valeur de la concentration molaire de la solution d'acide chlorhydrique avec un intervalle de confiance à 95% .

Document A : extrait de Chimie Analytique de D. Skoog, D. West et J. Holler

L'analyse de tels mélanges [NDLR : mélange de carbonate de sodium, de l'hydrogencarbonate de sodium et de l'hydroxyde de sodium] nécessite deux titrages effectués l'un avec un indicateur à zone de virage alcaline comme la phénolphthaléine et l'autre avec un indicateur à zone de virage acide tel que le vert de bromocrésol. La composition qualitative de la solution peut se déduire immédiatement du rapport entre les

volumes d'acide utilisés pour titrer séparément deux volumes égaux de l'échantillon (voir tableau). La composition de la solution étant connue, les résultats du titrage peuvent être utilisés pour déterminer la concentration de chacun des ions

	Constituant(s) dans l'échantillon	Relation entre V_{pp} et V_{vb} lors du titrage de volumes égaux d'échantillons*
1	NaOH	$V_{pp} = V_{vb}$
2	Na_2CO_3	$V_{pp} = \frac{1}{2} V_{vb}$
3	NaHCO_3	$V_{pp} = 0 ; V_{vb} > 0$
4	NaOH, Na_2CO_3	$V_{pp} > \frac{1}{2} V_{vb}$
5	Na_2CO_3 , NaHCO_3	$V_{pp} < \frac{1}{2} V_{vb}$

* V_{pp} = volume d'acide requis pour atteindre le point de fin de titrage en présence de phénolphthaléine ; V_{vb} = volume d'acide requis pour atteindre le point de fin de titrage en présence de vert de bromocrésol.

on rappelle les zones de virage des indicateurs colorés

Indicateur	Couleur Forme acide	Couleur Forme basique	Largeur de la zone de virage
Vert de bromocrésol Rhodamine	Jaune	Bleu	3,8 – 5,4
Phénolphthaléine	Incolore	Rose	8,3 - 10

Exercice 3 :

La composition des eaux naturelles est la résultante des interactions entre l'eau et les minéraux (roches). Ainsi, la dissolution, la précipitation et l'altération des phases solides jouent un rôle essentiel pour la concentration des éléments majeurs, tels le calcium ou le silicium, dans les eaux.

A titre d'exemple l'eau du Lagon bleu (Blue Lagoon) en Islande est très riche en silice, ce qui lui confère des couleurs cristallines.

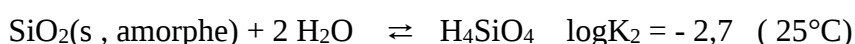
*Elle a une **composition chimique unique** au monde et est naturellement chargée en sels minéraux, en silicates et en micro algues. Elle est efficace dans le traitement de maladies de la peau tels que le psoriasis et l'eczéma, car la silice encouragerait la différenciation des kératinocytes, cellules de l'épiderme supérieur, et renforcerait ainsi les barrières naturelles de la peau.*



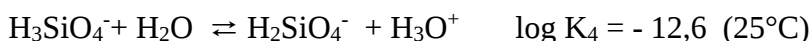
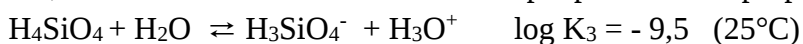
C'est à l'origine de la présence de l'élément silicium que l'on s'intéresse ci-après, en considérant deux **modèles** simples.

Q17. Solubilité de la silice en fonction du pH

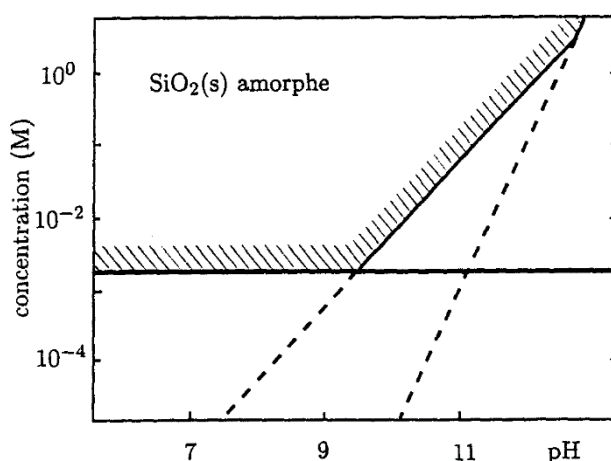
Le quartz (forme cristalline naturelle de $\text{SiO}_{2(s)}$) et la silice amorphe $\text{SiO}_{2(s)}$ ont une solubilité dans l'eau pure caractérisée par les équilibres suivants :



Cependant, cette solubilité varie en fonction du pH par suite des propriétés acides de H_4SiO_4



Le diagramme (simplifié) de solubilité totale de SiO_2 (s, amorphe) en fonction du pH est représenté sur la figure ci-dessous :



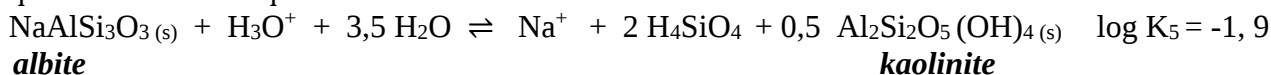
17a) Écrire les équations-bilans des équilibres mis en jeu le long des segments de droite du diagramme et justifier la pente de ceux-ci.

17b) Que peut-on en déduire quant à la solubilité minimale du quartz en solution aqueuse? Comment peut-on expliquer simplement qu'elle soit inférieure à celle de la silice amorphe?

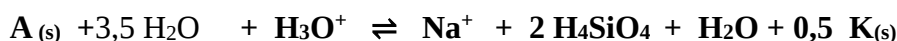
Q18. Dissolution de l'albite sous l'influence du CO₂ atmosphérique

L'albite est un silico-aluminate de sodium qui entre dans la composition des roches (feldspath de sodium). Son altération au contact d'une eau en équilibre avec le CO₂ atmosphérique conduit à une dissolution partielle accompagnant la transformation de l'albite en un autre silico-aluminate, la kaolinite.

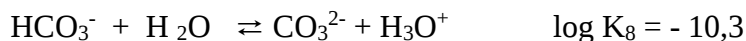
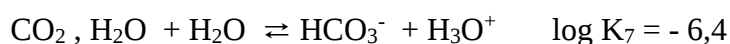
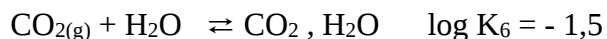
Les équilibres acido-basiques à considérer sont les suivants :



Soit en abrégé :



et, en notant CO₂, H₂O le dioxyde de carbone dissous (on néglige la forme moléculaire H₂CO₃, très minoritaire (< 0,3%)) :



18a) Sachant que le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 7 et 8, quelles sont les formes prédominantes en solution du dioxyde de carbone et de la silice?

18b) Écrire l'équation-bilan de la réaction de dissolution partielle de l'albite au contact d'une eau en équilibre, avec le CO₂ atmosphérique, donc impliquant CO_{2(g)} et en déterminer la constante, sous forme de log K.

18c) Sachant que la pression partielle du CO₂ atmosphérique est pCO₂ = 10^{-3,5} atm, quelles sont les concentrations des espèces prédominantes en solution résultant de la mise en équilibre d'albite en excès avec de l'eau pure au contact du CO₂ atmosphérique? En déduire le pH de la solution. Comment la solubilité varie-t-elle avec pCO₂ ?