

EXERCICE II – L'ACIDIFICATION DES OCÉANS (9 points)

1. Acidification des océans

1.1. (1,5) Le document 1 montre qu'à Mauna Loa la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente depuis 1958, ce qui entraîne une hausse de la pression de CO_2 et une baisse du pH de l'océan.

1.2.1. (1) Le document 2 permet de comprendre que si la concentration en dioxyde de carbone gazeux dans l'air augmente alors la concentration en CO_2 aqueux dans l'océan augmente aussi. Le document 3 montre que l'apparition de CO_2 aqueux dans l'océan a pour conséquence la formation d'ions oxonium H_3O^+ dans l'océan via les réactions 1 et 2. Comme $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$, si $[\text{H}_3\text{O}^+]$ augmente alors le pH diminue.

1.2.2. (1)

Si la concentration en ions oxonium augmente de 30 % alors $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{après}} = 1,3 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{avant}}$.

$$\text{pH}_{\text{après}} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{après}} = -\log 1,3 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{avant}} = -\log 1,3 - \log[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{avant}}$$

$$\text{pH}_{\text{après}} = -0,11 + \text{pH}_{\text{avant}}$$

On montre ainsi que le pH diminue de 0,11 unité lorsque $[\text{H}_3\text{O}^+]$ augmente de 30%.

Autre méthode :
$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{après}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{avant}}} = \frac{10^{-\text{pH}_{\text{après}}}}{10^{-\text{pH}_{\text{avant}}}} = 10^{-\text{pH}_{\text{après}} + \text{pH}_{\text{avant}}}$$

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{après}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{avant}}} = 10^{-8,0+8,1} = 10^{0,1} = 1,3 \text{ ce qui correspond à une hausse d'environ 30\%.$$

2. Le carbone dans les océans

2.1. $\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$ ainsi (0,25) lorsque $[\text{A}^-] = [\text{HA}]$ alors $\text{pH} = \text{pK}_a$.

Pour le couple associé à la réaction 1, lorsque $[\text{CO}_2] = [\text{HCO}_3^-]$ alors $\text{pH} = \text{pK}_{a1}$.

On a $\frac{[\text{CO}_2]}{C_T} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{C_T}$, soit $\alpha_1 = \alpha_2$.

Le document 4 permet de déterminer graphiquement pK_{a1} :

$$15,6 \text{ cm} \rightarrow 14 \text{ unités pH}$$

$$7,0 \text{ cm} \rightarrow \text{pK}_{a1}$$

(0,25) Ainsi $\text{pK}_{a1} = 6,3$

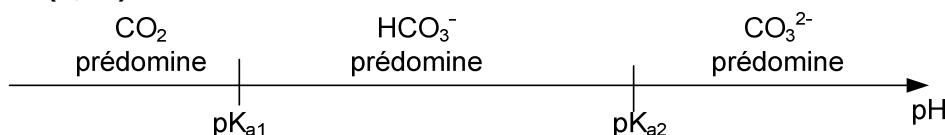
De même $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-]$ lorsque $\alpha_2 = \alpha_3$

$$15,6 \text{ cm} \rightarrow 14 \text{ unités pH}$$

$$11,5 \text{ cm} \rightarrow \text{pK}_{a2}$$

(0,25) Ainsi $\text{pK}_{a2} = 10,3$

2.2. (0,75)



2.3. (0,75) D'après l'énoncé (cf. 1.2.), aujourd'hui les océans ont un pH voisin de 8,1.

Sur le document 4, on cherche les ordonnées α_1 , α_2 et α_3 des points d'abscisse $\text{pH} = 8,1$.

Il est difficile de faire preuve de précision vu les faibles valeurs de α_1 et α_3 .

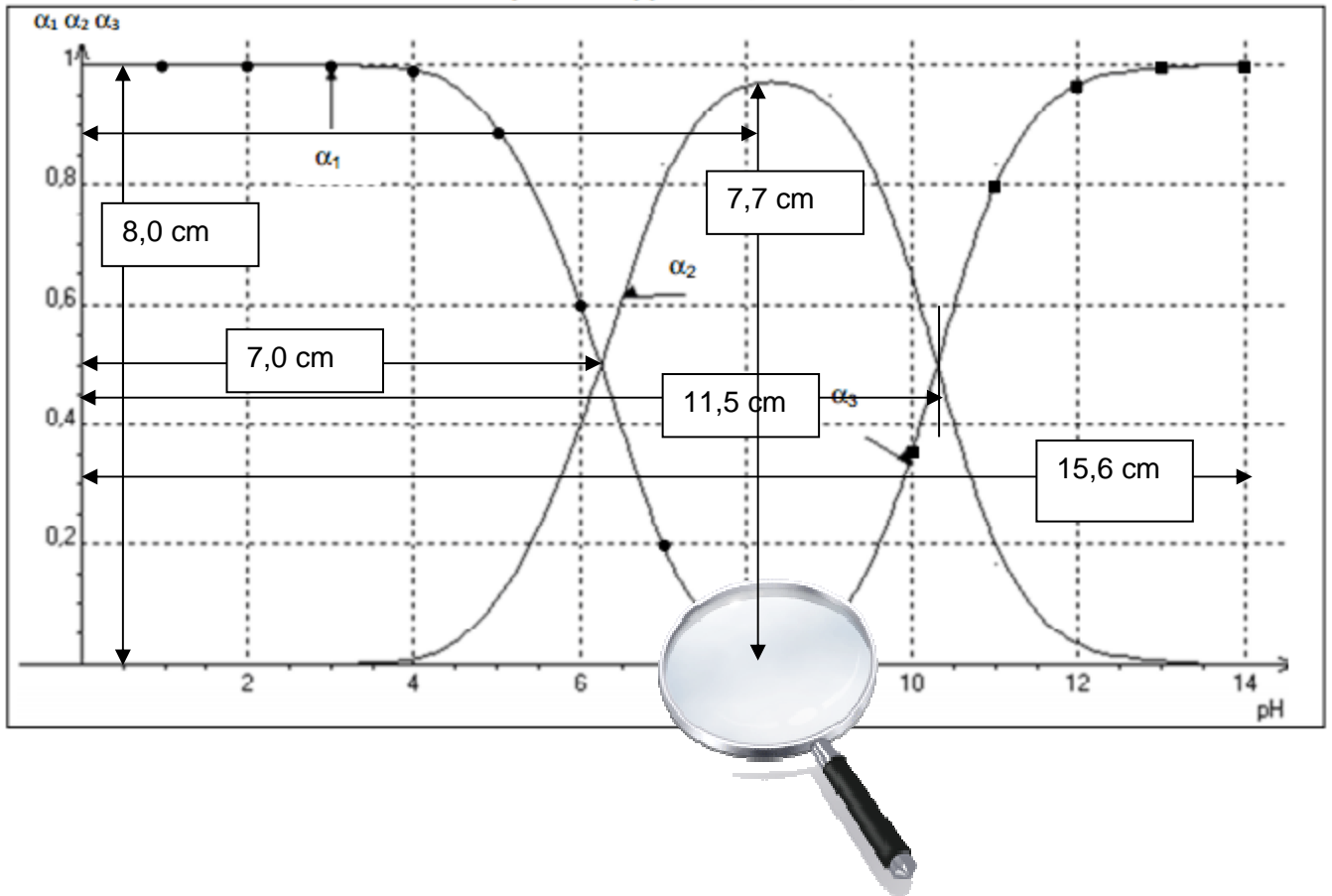
On trouve approximativement $\alpha_1 = 0,03$, tandis qu' α_3 est plus faible $\alpha_3 = 0,01$.

Pour α_2 : $8,0 \text{ cm} \rightarrow 1$

$$7,7 \text{ cm} \rightarrow \alpha_2$$

Donc $\alpha_2 = 0,96$.

On doit vérifier que $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.



2.4. (0,25) La forme arrondie de la courbe représentative de α_2 aux alentours de $\text{pH} = 8,1$ permet de dire que la valeur de α_2 est peu modifiée par une variation de pH de 0,1 unité.

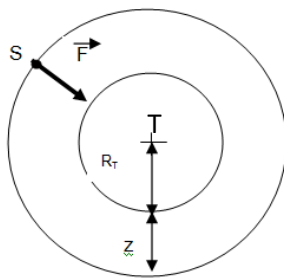
2.5. (0,25) Le document 5 indique qu'en présence d'un excès de dioxyde de carbone, le carbonate de calcium se dissout.

(0,5) L'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dissous a pour conséquence la dissolution des coquilles des organismes marins et donc leur amincissement voire leur disparition.

3. Étude du mouvement du satellite IBUKI

3.1.

(0,25)



\vec{F} force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite IBUKI.

S : satellite
T : Terre

3.2.

(0,25) Dans le référentiel géocentrique supposé galiléen, on applique la 2^{ème} loi de Newton au système {satellite} : $\vec{F} = m_s \cdot \vec{a}$

La force \vec{F} et l'accélération \vec{a} ont même sens (centripète) et même direction (radiale), donc

$$F = m_s \cdot a$$

$$G \cdot \frac{M_T \cdot m_s}{(z + R_T)^2} = m_s \cdot a$$

(0,25) ainsi $a = G \cdot \frac{M_T}{(z + R_T)^2}$

- Le mouvement du satellite est circulaire uniforme sur l'orbite de rayon R_T+z donc $a = \frac{v^2}{(z+R_T)}$

En égalant les deux expressions de l'accélération, on a $\frac{v^2}{(z+R_T)} = G \cdot \frac{M_T}{(z+R_T)^2}$

$$v^2 = \frac{G.M_T}{(z+R_T)}$$

(0,5)

$$v = \sqrt{\frac{G.M_T}{(z+R_T)}} \quad (1)$$

- Pendant une période T , le satellite parcourt son orbite de longueur $2\pi(z+R_T)$ à la vitesse v , donc $T = \frac{2\pi \cdot (z+R_T)}{v}$. (2)

Dans l'expression (2), on remplace v par son expression (1), $T = \frac{2\pi \cdot (z+R_T)}{\sqrt{\frac{G.M_T}{(z+R_T)}}$

$$T^2 = \frac{(2\pi)^2 \cdot (z+R_T)^2}{\frac{G.M_T}{(z+R_T)}} = \frac{(2\pi)^2 \cdot (z+R_T)^3}{G.M_T}$$

(0,5) finalement on obtient $T = 2\pi \sqrt{\frac{(z+R_T)^3}{G.M_T}}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{((667 + 6,38 \times 10^3) \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 5,98 \times 10^{24}}} = 5,89 \times 10^3 \text{ s}$$

(0,5) $T = 98 \text{ min} = 1 \text{ h } 38 \text{ min}$

Remarque sur la chimie :

Les pKa de l'acide carbonique dans l'eau de mer sont différents de ceux dans l'eau pure à retrouver sur la figure 4 : environ 5,8 au lieu de 6,3 et 8,9 au lieu de 10,3. De ce fait au lieu de représenter 1% de la somme des carbonates, l'ion CO_3^{2-} en représente près de 10% (cela varie avec la température). Et surtout ce n'est pas le pH qui fixe la proportion des différents ions, mais les concentrations des différents ions contraintes par la somme des carbonates, l'électroneutralité de la solution et les équilibres acido-basiques qui fixent le pH.