L'acidification des océans

Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Que peut-on déduire des courbes du document 1 ?

- La teneur en CO_2 de l'atmosphère à Mauna Loa augmente régulièrement depuis 1958.
- La pression de CO_2 dans l'océan augmente elle aussi : sa tendance passe d'environ 328 à 360 µatm entre 1990 et 2008.
- Sur la même période, le pH de l'océan diminue, d'environ 8,11 à 8,07.

Plus l'atmosphère contient de CO_2, plus l'océan en contient et plus son pH baisse : l'océan s'acidifie.

PIÈGE
La courbe rouge est tracée « sans souci d'échelle » : on ne lit pas ses valeurs sur l'axe de gauche. Le pH se lit sur l'axe de droite.

MÉTHODE
Pour exploiter des courbes : décrire le sens d'évolution de chaque grandeur, citer quelques valeurs lues avec leur unité, puis relier les évolutions entre elles.

1.2.1 À partir des documents 2 et 3, montrer qu'une augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère conduit à une diminution du pH de l'eau.

Document 2 (loi de Henry) : la concentration du gaz dissous est proportionnelle à sa pression partielle au-dessus du liquide. Si la quantité de $CO_2\,(g)$ augmente dans l'atmosphère, sa pression partielle augmente, donc $[CO_2\,(aq)]$ augmente dans l'océan.

Document 3 : $CO_2\,(aq)$ est un acide. L'apport de $CO_2\,(aq)$ déplace l'équilibre de la réaction 1 dans le sens direct, ce qui forme des ions H_3O^+ : $[H_3O^+]$ augmente.

Or $\text{pH} = -\log[H_3O^+]$, fonction décroissante de $[H_3O^+]$.

Davantage de CO_2 dans l'air, donc davantage de $CO_2\,(aq)$, donc davantage de H_3O^+ : le pH de l'eau diminue.

COMPRENDRE
Le terme « acidification » décrit une baisse du pH. L'océan reste basique (pH voisin de 8,1, supérieur à 7) : il devient seulement un peu moins basique.

1.2.2 Montrer qu'une diminution de 0,1 unité de pH au voisinage de 8,1 représente une augmentation de la concentration en ions oxonium d'environ 30 %.

Données utiles pH avant : 8,2 ; pH actuel : 8,1

Comme $[H_3O^+] = 10^{-\text{pH}}$ (en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) :

$$\frac{[H_3O^+]_{\text{après}}}{[H_3O^+]_{\text{avant}}} = \frac{10^{-8,1}}{10^{-8,2}} = 10^{0,1} = 1,26$$

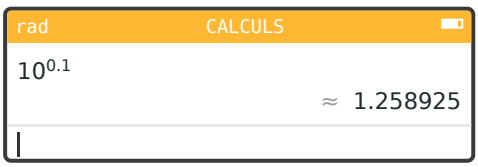
La concentration est multipliée par 1,26 : elle augmente de 26 %.

$[H_3O^+]$ augmente de 26 %, soit environ 30 % comme annoncé.

PIÈGE
Calculer la variation relative du pH lui-même ($0,1/8,2 \approx 1\,\%$) : la question porte sur la concentration, pas sur le pH.

COMPRENDRE
L'échelle de pH est logarithmique : une variation de pH qui paraît minime cache une forte variation relative de concentration. Le rapport $10^{0,1}$ ne dépend pas du pH de départ.

À LA CALCULATRICE



2.1 Déduire du diagramme du document 4 les valeurs de $\mathrm{p}K_{a1}$ et $\mathrm{p}K_{a2}$.

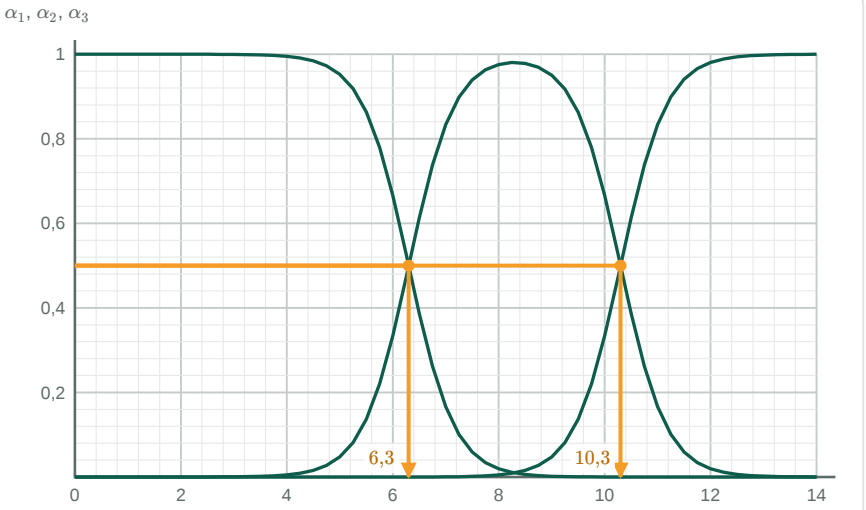
D'après $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \log\dfrac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]}$: lorsque $[\mathrm{A}^-] = [\mathrm{HA}]$, $\log 1 = 0$ donc $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a$.

Couple $\mathrm{CO_2\,(aq)/HCO_3^-}$ (réaction 1) : $[\mathrm{CO_2}] = [\mathrm{HCO_3^-}]$ quand $\alpha_1 = \alpha_2$. Les deux courbes se croisent à $\mathrm{pH} \approx 6{,}3$.

Couple $\mathrm{HCO_3^-/CO_3^{2-}}$ (réaction 2) : $[\mathrm{HCO_3^-}] = [\mathrm{CO_3^{2-}}]$ quand $\alpha_2 = \alpha_3$. Les deux courbes se croisent à $\mathrm{pH} \approx 10{,}3$.

$\mathrm{p}K_{a1} \approx 6{,}3$ et $\mathrm{p}K_{a2} \approx 10{,}3$

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, le $\mathrm{p}K_a$ d'un couple est l'abscisse du point où les courbes de l'acide et de sa base conjuguée se croisent, à l'ordonnée 0,5 quand la troisième espèce est négligeable.



2.1 · Document 4 : de gauche à droite α1, α2, α3 ; lecture des deux croisements

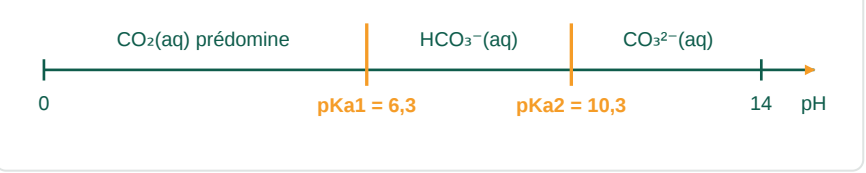
2.2 Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces $\mathrm{CO_2\,(aq)}$, $\mathrm{HCO_3^-\,(aq)}$ et $\mathrm{CO_3^{2-}\,(aq)}$.

Données utiles $\mathrm{p}K_{a1} \approx 6{,}3$ et $\mathrm{p}K_{a2} \approx 10{,}3$ (2.1)

Pour un couple, l'acide prédomine si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$ et la base si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$.

$\mathrm{CO_2\,(aq)}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 6{,}3$; $\mathrm{HCO_3^-\,(aq)}$ pour $6{,}3 < \mathrm{pH} < 10{,}3$; $\mathrm{CO_3^{2-}\,(aq)}$ pour $\mathrm{pH} > 10{,}3$.

COMPRENDRE
L'ion $\mathrm{HCO_3^-}$ est la base du premier couple et l'acide du second (espèce amphotère) : son domaine est encadré par les deux $\mathrm{p}K_a$.



2.2 · Diagramme de prédominance des espèces carbonées

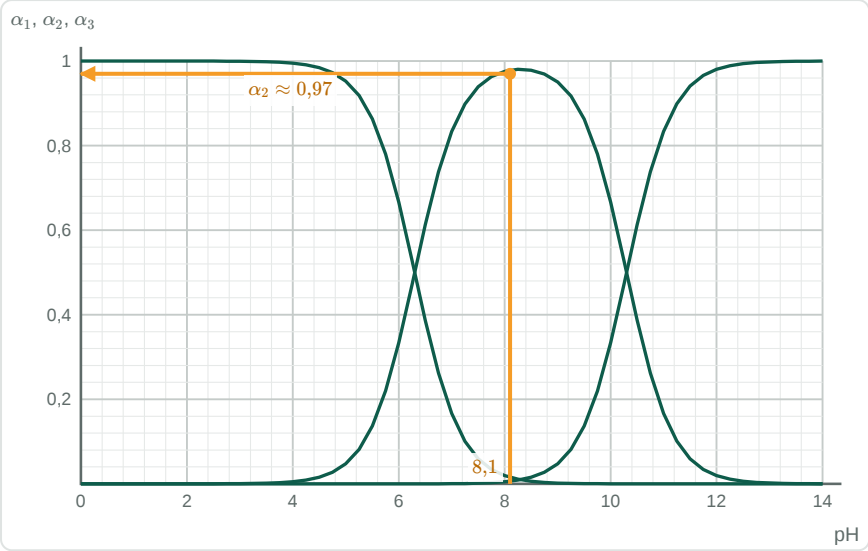
2.3 Évaluer α_1, α_2 et α_3 dans les océans.

Données utiles pH des océans : 8,1

On lit sur le document 4 les ordonnées des trois courbes à l'abscisse $\mathrm{pH} = 8{,}1$: α_2 est proche de son maximum, α_1 et α_3 sont très faibles.

$\alpha_1 \approx 0{,}02$; $\alpha_2 \approx 0{,}97$; $\alpha_3 \approx 0{,}01$

PIÈGE
Les lectures de α_1 et α_3 sont peu précises, les courbes frôlant l'axe : un seul chiffre significatif suffit, et toute valeur de quelques centièmes est acceptable.



2.3 · Document 4 : lecture à pH = 8,1

COMPRENDRE
Par définition de C_T, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$: on le vérifie sur les valeurs lues. Dans l'océan, le carbone dissous est presque entièrement sous forme d'ions hydrogénocarbonate.

2.4 La variation de pH observée a-t-elle modifié de manière notable la valeur de α_2 ?

Entre $\mathrm{pH} = 8{,}2$ et $\mathrm{pH} = 8{,}1$, on se trouve au sommet de la courbe α_2, où elle est presque horizontale : la lecture donne la même valeur, voisine de 0,97, pour les deux pH.

Non : α_2 n'a pratiquement pas varié.

COMPRENDRE
En revanche α_3, déjà très faible, diminue en proportion nettement plus : c'est la part des ions carbonate, utiles aux coquilles, qui est touchée.

2.5 Quelle est la conséquence de l'augmentation du dioxyde de carbone dissous pour les organismes marins qui ont une coquille à base de carbonate de calcium ? Justifier à l'aide d'un des documents.

Document 5 : en présence d'un excès de $\mathrm{CO_2\,(aq)}$, le carbonate de calcium solide est consommé selon

$$\mathrm{CaCO_3\,(s) + CO_2\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons Ca^{2+}\,(aq) + 2\,HCO_3^-\,(aq)}$$

Une augmentation de $[\mathrm{CO_2\,(aq)}]$ déplace cet équilibre dans le sens direct, celui de la dissolution du solide.

Les coquilles calcaires se dissolvent en partie : elles s'amincissent, se fragilisent et sont plus difficiles à fabriquer, ce qui menace moules, huîtres et coraux.

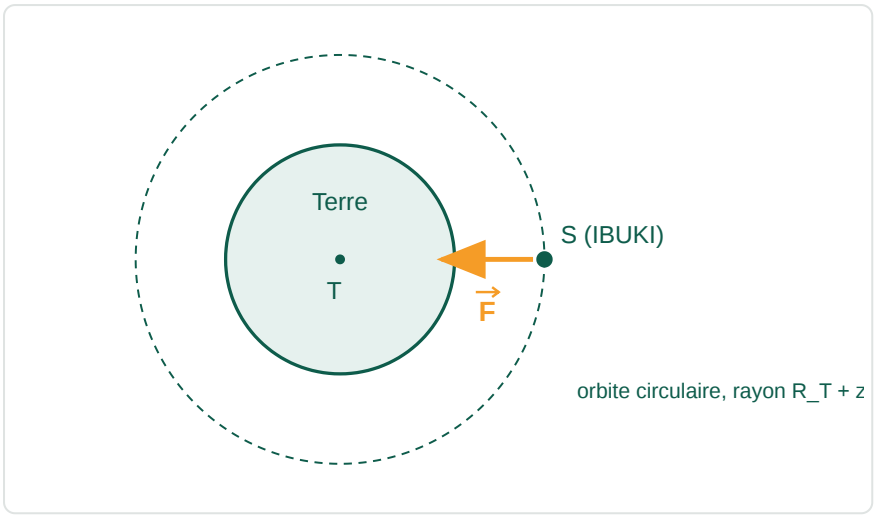
MÉTHODE
« Justifier à l'aide d'un document » : nommer le document, citer l'information utile (ici l'équation), puis faire le lien avec la question posée.

3.1 Représenter sans souci d'échelle sur un schéma la Terre, le satellite IBUKI et la force $\vec{F}$ d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite.

La force $\vec{F}$ est appliquée au satellite S, dirigée selon la droite (ST) et orientée de S vers le centre T de la Terre (force attractive).

Schéma ci-dessous : $\vec{F}$ part de S et pointe vers T.

PIÈGE
Faire partir la flèche du centre de la Terre : ce serait la force exercée par le satellite sur la Terre. Le point d'application est le satellite.



3.1 · La Terre, le satellite et la force exercée par la Terre sur le satellite

3.2 En appliquant la deuxième loi de Newton, calculer la valeur de la période de rotation du satellite autour de la Terre, en détaillant les étapes du calcul.

Données utiles $z = 667$ km ; $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $M_T = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2} ; $a = \dfrac{v^2}{r}$

Système {satellite}, de masse m_S ; référentiel géocentrique supposé galiléen ; seule force : $\vec{F}$, de valeur $F = G\dfrac{M_T\, m_S}{r^2}$ avec $r = R_T + z$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m_S\,\vec{a}$. En valeur : $G\dfrac{M_T\, m_S}{r^2} = m_S\, a$, donc $a = \dfrac{G\, M_T}{r^2}$.

Le mouvement est circulaire uniforme : $a = \dfrac{v^2}{r}$. D'où $\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{G\, M_T}{r^2}$, soit $v = \sqrt{\dfrac{G\, M_T}{r}}$.

Le satellite parcourt la circonférence $2\pi r$ pendant une période T à la vitesse v :

$$T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\, M_T}}$$

Avec $r = 6{,}38 \times 10^6 + 6{,}67 \times 10^5 = 7{,}047 \times 10^6$ m :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(7{,}047 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}98 \times 10^{24}}} = 5{,}89 \times 10^3 \text{ s}$$

$T = 5{,}89 \times 10^3$ s ≈ 98 min, soit environ 1 h 38 min entre deux passages au-dessus d'un même pôle.

PIÈGE

Utiliser l'altitude z à la place du rayon de l'orbite $r = R_T + z$, ou laisser les distances en kilomètres : G impose des mètres.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme les données. La masse m_S du satellite se simplifie : la période ne dépend que du rayon de l'orbite et de la masse de la Terre.

À LA CALCULATRICE

