

# NOUVELLE-CALÉDONIE 2013 - EX.2

## L'acidification des océans (9 pts)

### Moules et huîtres menacées par l'acidification des océans

Depuis le début de l'ère industrielle, les émissions anthropiques<sup>(1)</sup> de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère ont fortement augmenté.

Frédéric Gazeau, chercheur à l'Institut Néerlandais d'Écologie, et ses collègues dont Jean-pierre Gattuso, directeur de recherche au laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-mer (CNRS/Université Pierre et Marie Curie) ont examiné la réponse des huîtres et des moules cultivées en Europe à l'acidification des océans.

Les résultats, publiés dans la revue Geophysical Research Letters, sont sans appel : ils montrent pour la première fois que ces mollusques seront directement affectés par le bouleversement en cours de la composition chimique de l'eau de mer. Au-delà de leur intérêt commercial, les moules et les huîtres rendent des services écologiques très importants : elles créent par exemple des habitats permettant l'installation d'autres espèces, contrôlent en grande partie les flux de matière et d'énergie et sont d'importantes proies pour les oiseaux au sein des écosystèmes qui les abritent. Un déclin de ces espèces aurait donc des conséquences graves sur la biodiversité des écosystèmes côtiers et sur les services qu'elles rendent aux populations humaines.

(1) : anthropique = lié aux activités humaines.

### Dans cet exercice on s'intéresse :

- dans les parties 1 et 2, au processus dit « acidification de l'océan » et à ses conséquences sur les organismes calcificateurs comme les coraux et les mollusques qui fabriquent un squelette ou une coquille calcaire ;
- dans la partie 3 à la surveillance par satellite du dioxyde de carbone à l'origine de ce phénomène.

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes les unes des autres.

### 1. Acidification des océans

Les documents utiles à la résolution de cette partie sont donnés en fin de l'exercice.

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

Aujourd'hui, les océans ont un pH voisin de 8,1 soit 0,1 unité plus faible qu'au moment de la révolution industrielle.

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 dans l'eau.

1.2.2. Montrer qu'une diminution de 0,1 unité pH au voisinage de 8,1 représente une augmentation de la concentration en ions oxonium [ $\text{H}_3\text{O}^+$ ] d'environ 30%.

### 2. Le carbone dans les océans

Le carbone est principalement présent dans les océans sous trois formes qui coexistent : l'ion carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$ , l'ion hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$  et l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Ce dernier étant instable en solution aqueuse, s'écrit  $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

Soit  $K_a$  la constante d'acidité du couple acide / base noté  $\text{HA} / \text{A}^-$ .

On peut montrer que  $\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]}$

Soient  $K_{a1}$  et  $K_{a2}$  les constantes d'acidité des couples associés aux espèces carbonées des réactions 1 et 2 du document 3.

On pose  $C_T = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$ .

Le diagramme du document 4 représente les variations en fonction du

pH des rapports :  $\alpha_1 = \frac{[\text{CO}_2]}{C_T}$ ,  $\alpha_2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{C_T}$  et  $\alpha_3 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{C_T}$

2.1. Déduire de ce diagramme les valeurs de  $\text{p}K_{a1}$  et  $\text{p}K_{a2}$ .

2.2. Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces  $\text{CO}_2(\text{aq})$ ,  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  et  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ .

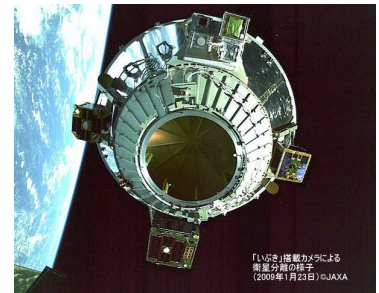
2.3. Évaluer  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$  dans les océans.

2.4. La variation de pH observée a-t-elle modifié de manière notable la valeur de  $\alpha_2$  ?

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.

### 3. Étude du mouvement du satellite Ibuki

Le début de l'année 2009 a marqué le début d'une ère nouvelle dans l'étude du changement climatique, avec le lancement par les japonais du premier satellite du monde consacré à l'observation des gaz de l'atmosphère terrestre qui contribuent au réchauffement climatique.



Le satellite appelé Ibuki, ce qui signifie « souffle » en japonais, est équipé de capteurs de haute précision qui peuvent sonder environ 56 000 points sur la planète.

L'agence spatiale japonaise a décidé de diffuser gratuitement les données du satellite aux scientifiques du monde entier. Elles seront utilisées notamment pour étudier des modèles du cycle du carbone actuellement utilisés pour tenter non seulement de reconstituer les flux entre les différents réservoirs (sols, air, eau, biosphère) mais aussi pour tenter de reconstituer les flux d'émissions anthropiques.

Pour réaliser ces mesures, le satellite Ibuki tourne autour de la Terre suivant une trajectoire circulaire qui passe au-dessus des pôles à l'altitude  $z = 667$  km.

Pour régler les appareils de mesure, il a fallu déterminer la durée entre deux passages successifs du satellite au-dessus de l'un des pôles.

#### Données

- Rayon de la Terre :  $R_T = 6,38 \cdot 10^3$  km ;
- Masse de la Terre :  $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$  kg ;
- Masse du satellite Ibuki :  $m_S = 1,75 \cdot 10^3$  kg ;
- Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  N·m<sup>2</sup>·kg<sup>-2</sup> ;
- Intensité de la force d'interaction gravitationnelle  $F$  entre deux corps de masse  $M_A$  et  $M_B$ , de centres A et B, distants de  $d = \text{AB}$  :

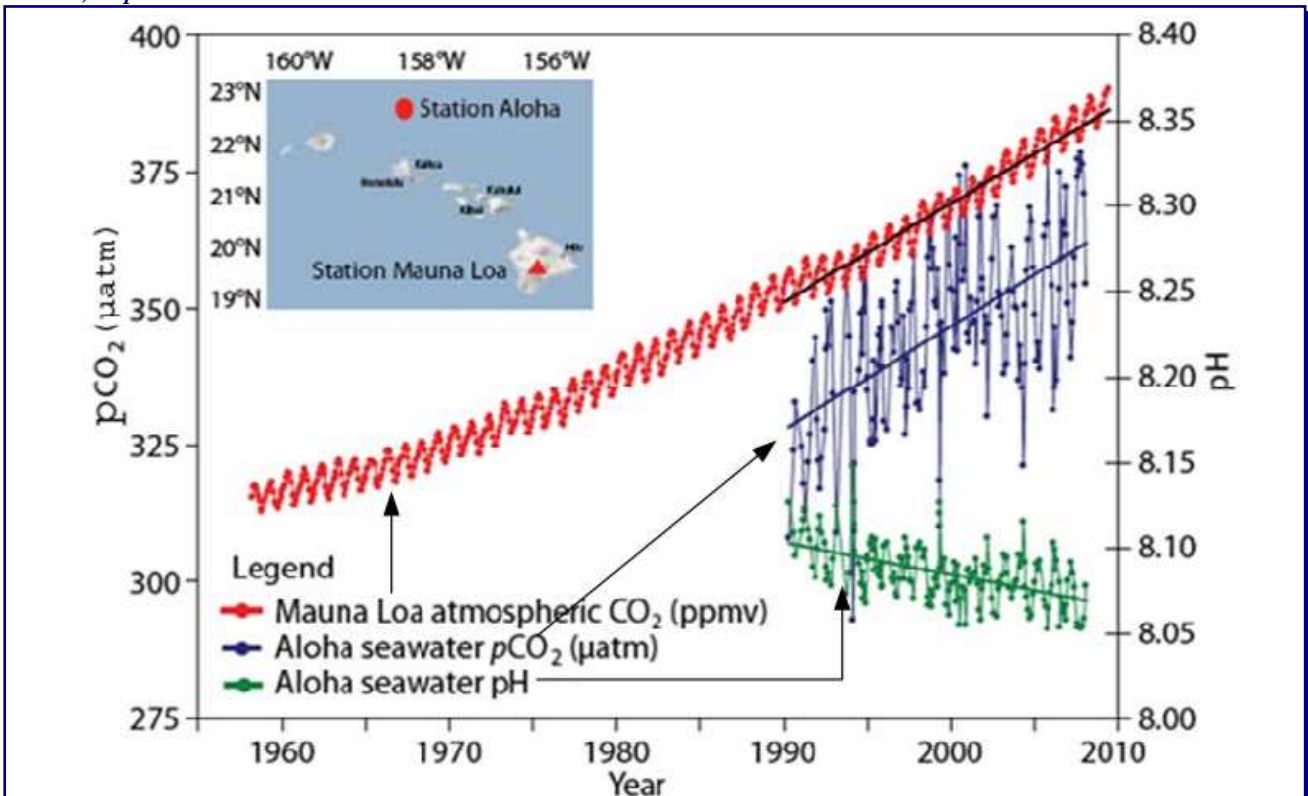
$$F = \frac{G \cdot M_A \cdot M_B}{d^2}$$

- Le mouvement du satellite est considéré comme circulaire uniforme ;
- La valeur  $a$  de l'accélération d'un satellite, en mouvement circulaire uniforme, de vitesse orbitale  $v$  autour d'un astre, sur une orbite de rayon  $r$ , a pour expression :  $a = v^2 / r$

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 supposé ponctuel.

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.

**Document 1 : Évolution depuis 1958 de la composition en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à Mauna Loa (Hawaï), de la pression de CO<sub>2</sub> dans l'océan, du pH de l'océan.**



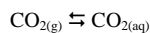
La courbe représentant la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère exprimée en ppmv (partie par million par volume) n'est qu'une indication de l'évolution de cette concentration sans souci d'échelle.

Afin de comparer le contenu en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de l'eau de mer, on définit la pression de CO<sub>2</sub> dans l'océan :  $pCO_2 = \frac{[CO_2]}{\beta}$  où  $\beta$  est le coefficient de solubilité du CO<sub>2</sub>.

**Document 2 : Loi de Henry**

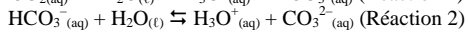
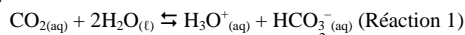
La dissolution d'un gaz dans l'eau obéit à la loi de Henry selon laquelle à température constante, la concentration C du gaz dissous est proportionnelle à la pression partielle p qu'exerce ce gaz au-dessus du liquide.

À chaque instant un pourcentage constant des molécules du gaz dissous dans la phase liquide repasse à l'état gazeux et s'échappe du liquide mais dans le même temps le même pourcentage des molécules de ce gaz passe en solution. Lorsque les deux flux se compensent, l'équilibre de saturation est atteint, soit pour le dioxyde de carbone :

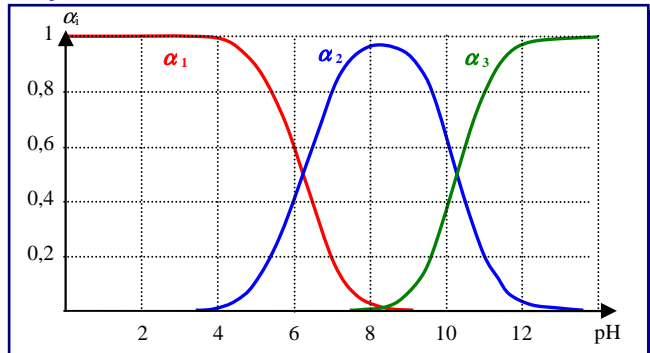


**Document 3 : Réactions d'équilibre des espèces carbonées**

Dans les eaux de surface de l'océan, le carbone se présente sous trois formes minérales dissoutes en équilibre chimique selon les réactions ci-dessous :

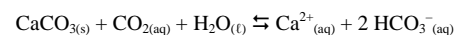


**Document 4 : Variation en fonction du pH des rapports  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$**



**Document 5 : Réaction de dissolution du carbonate de calcium**

En présence d'un excès de dioxyde de carbone, le carbonate de calcium CaCO<sub>3(s)</sub> se dissout selon l'équation :



## Correction

**1.1.** Avec l'augmentation de la quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'air, constatée depuis 1958, la quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'eau de mer augmente et le pH de celle-ci diminue. **[1,5 pt]**

B si pas mention de l'évolution historique

**1.2.1.** Le doc. 2 montre que lorsque la pression de  $\text{CO}_2$  augmente dans l'air, la concentration de  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau augmente.

D'après le doc. 3, une augmentation de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'eau déplace la réaction 1 dans le sens de la production d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ , provoquant une acidification de l'eau. **[1 pt]**

**1.2.2.**  $\text{pH} = 8,2 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,2} \approx 6,31 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\text{pH} = 8,1 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,1} \approx 7,94 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , soit une augmentation de  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  de  $(7,94 - 6,31) / 6,31 \approx 26 \% \approx 30 \%$  **[1 pt]**

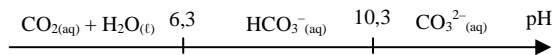
C si seulement calcul de  $[\text{H}_3\text{O}^+]$

**2.1.** Pour  $\text{pH} \approx 6,3$ , on a  $\alpha_1 = \alpha_2$  et  $\alpha_3 = 0$ , donc  $[\text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}] = [\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}]$  et donc  $\text{pH} = \text{p}K_{a1}$ , soit  $\text{p}K_{a1} \approx 6,2$ .

Pour  $\text{pH} \approx 10,3$ , on a  $\alpha_2 = \alpha_3$  et  $\alpha_1 = 0$ , donc  $[\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}] = [\text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})}]$  et donc  $\text{pH} = \text{p}K_{a2}$ , soit  $\text{p}K_{a2} \approx 10,2$ . **[0,75 pt]**

C si pas de raisonnement apparent.

**2.2.** Diagramme de prédominance **[0,75 pt]**



D pour les pH placés correctement

B si manque de précision (6 et 10)

**2.3.**  $\alpha_2 \approx 0,95$  et  $\alpha_1 \approx \alpha_3 \approx 0,025$ .  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$  **[0,75 pt]**

C si  $\alpha_2 = 1$

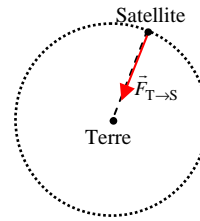
**2.4.** Non, car on est près du maximum de  $\alpha_2$  et ce maximum se présente sous forme d'un arrondi. **[0,25 pt]**

C si pas de justification

**2.5.** Le doc. 5 indique qu'en présence d'un excès de dioxyde de carbone, le carbonate de calcium se dissout. 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. **[0,75 pt]**

C si justification très approximative

**3.1.** Schéma de la Terre, d'Ibuki et de la force d'interaction gravitationnelle. **[0,25 pt]**



0 si la force n'apparaît pas.

A- si la Terre n'est pas ponctuelle

**3.2.** 2<sup>ème</sup> loi de Newton :  $\vec{F}_{T \rightarrow S} = m_S \cdot \vec{a}_S$

Le mouvement est circulaire uniforme, donc  $a_S = v^2 / r$

On peut donc écrire :  $\frac{G \cdot M_T \cdot m_S}{r^2} = \frac{m_S \cdot v^2}{r}$

D'autre part, soit  $T$  la période de rotation du satellite autour de la Terre. Pendant une période, le satellite parcourt la distance  $2\pi \cdot r$  à la vitesse  $v$

constante. On peut donc écrire la relation :  $v = \frac{\text{distance}}{\text{durée}} = \frac{2\pi \cdot r}{T}$

Alors :  $\frac{G \cdot M_T \cdot m_S}{r^2} = \frac{m_S \cdot 4\pi^2 \cdot r^2}{r \cdot T^2}$ , soit  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M_T}}$

$r = 6,38 \cdot 10^3 \text{ km} + 667 \text{ km} \approx 7,05 \cdot 10^3 \text{ km}$

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(7,05 \cdot 10^6)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,97 \cdot 10^{24}}} = 5,89 \cdot 10^3 \text{ s (1h38)}$  **[2 pts]**

C si seulement vitesse