

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2013

---

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

---

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

---

**L'usage d'une calculatrice EST autorisé**

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré**

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

## EXERCICE I - RMN ET IRM (6 points)

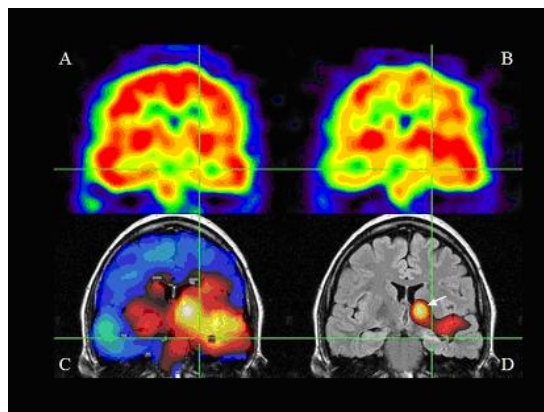
La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire ou RMN consiste à soumettre une espèce chimique à une onde électromagnétique radiofréquence et à l'action d'un champ magnétique constant. À une fréquence particulière appelée fréquence de résonance, certains noyaux de l'espèce chimique vont être le siège d'une transition énergétique.

Les effets de cette transition sont détectés par une sonde.

La valeur de la fréquence de résonance dépend de la nature du noyau et de son environnement. La spectroscopie utilisée ici est uniquement celle du noyau d'hydrogène  $^1\text{H}$ , souvent appelée RMN du proton.

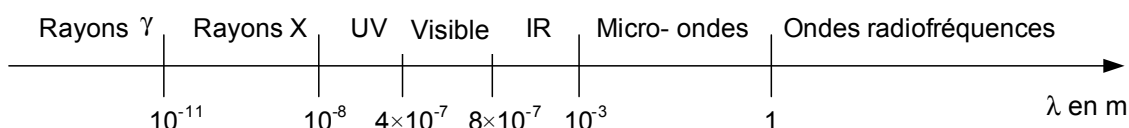
L'échantillon à analyser est dissous dans un solvant deutéré de formule brute  $\text{CDCl}_3$  où le noyau d'hydrogène  $^1\text{H}$  a été remplacé par le noyau de deutérium noté D.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une application de la RMN du proton dans le domaine du diagnostic médical. Dans le corps humain, l'hydrogène est essentiellement présent dans l'eau. L'intensité du signal reçu dépend donc de la teneur en eau dans les tissus. Toute anomalie de la teneur en eau est alors facilement détectée. L'organe à visualiser, voire le corps entier du patient, est placé dans un puissant électroaimant qui crée un champ magnétique. Un traitement numérique permet de produire des images de coupes de l'organe à partir de l'intensité des signaux enregistrés.



### Données :

- symbole du noyau de deutérium :  $^2\text{H}$  (noté D) ;
- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;
- domaine des ondes électromagnétiques :



- Éléments présents dans les organes, tissus mous et os

Principaux éléments constitutifs des organes et tissus mous			Principaux éléments présents dans les os	
Carbone	Hydrogène	Oxygène	Calcium	Phosphore

### 1. RMN du proton dans une molécule organique

#### 1.1. Le solvant deutéré

- 1.1.1. Donner la composition du noyau de deutérium. Comment qualifie-t-on deux noyaux tels que l'hydrogène  $^1\text{H}$  et le deutérium  $^2\text{H}$  ?
- 1.1.2. Dessiner la représentation de Cram de  $\text{CDCl}_3$ . Le carbone de cette molécule est-il asymétrique ? Justifier.
- 1.1.3. Quel est l'intérêt d'utiliser un solvant ne comportant pas de noyau d'hydrogène  $^1\text{H}$  ?

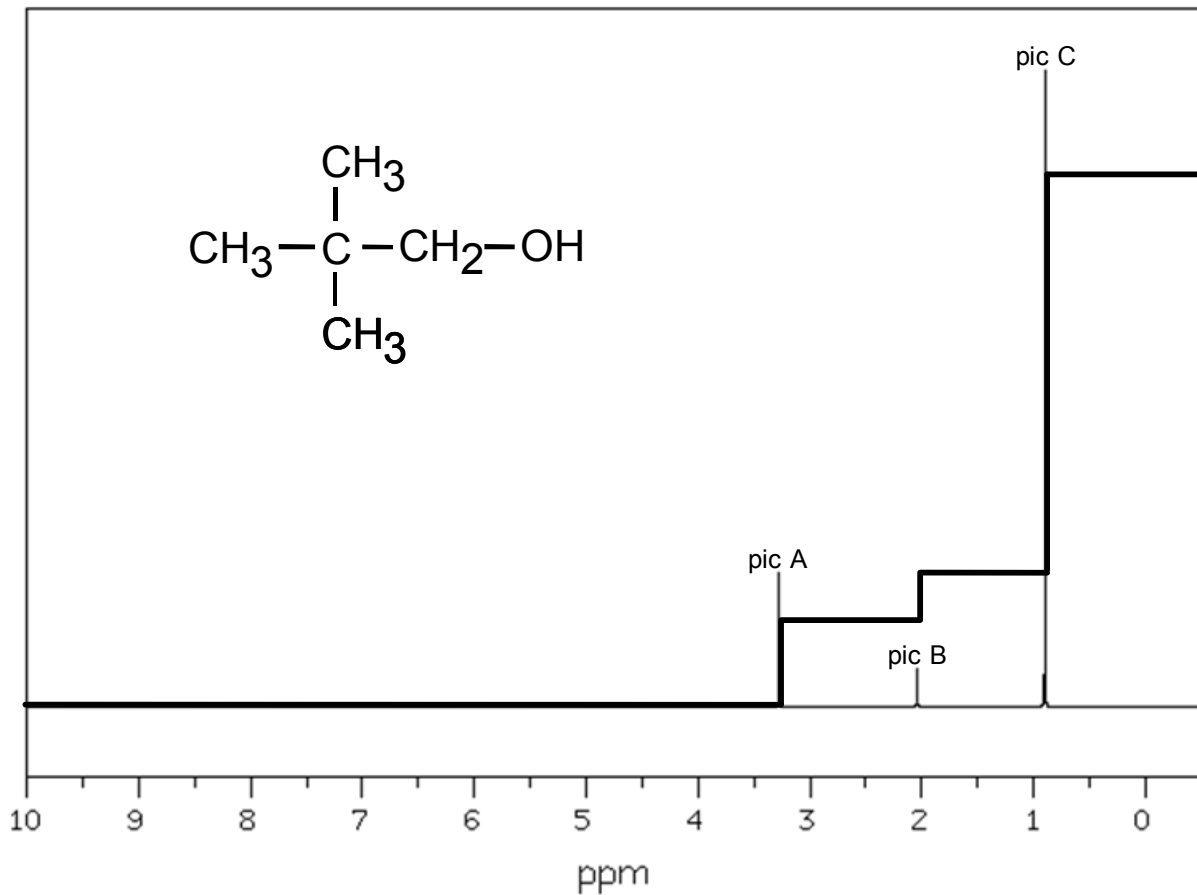
## 1.2. Rayonnement utilisé

1.2.1. La transition observée lors de la résonance se fait entre deux niveaux d'énergie séparés de  $\Delta E = 1,20 \mu\text{eV}$ . Calculer la fréquence  $\nu$  du photon associé puis sa longueur d'onde  $\lambda$ .

1.2.2. Vérifier que le domaine des ondes utilisées est bien celui indiqué dans le texte introductif.

## 1.3. Exploitation du spectre RMN d'une molécule organique

Le spectre RMN à 300 MHz d'une molécule organique et son intégration sont représentés ci-dessous :



1.3.1. Donner le nom systématique (nomenclature officielle) de la molécule organique.

1.3.2. Exploiter le spectre RMN et sa courbe d'intégration pour attribuer à chaque pic son groupe de protons équivalents.

## 2. L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

2.1. Pourquoi l'IRM permet-elle de visualiser les organes et tissus mous, mais pas les os ?

### 2.2. Image numérique

L'image numérique de l'IRM correspond à un ensemble de 512 pixels x 512 pixels où chaque pixel est codé par un octet.

La taille de l'image de cet IRM correspond à un carré de 50 cm de côté.

2.2.1. Calculer les dimensions d'un pixel.

2.2.2. Calculer la taille du fichier en octet de cette image IRM.

2.2.3. Combien de niveaux de gris sont utilisés pour visualiser cette image IRM ?

2.2.4. Une image IRM est réalisée toutes les deux secondes. Calculer le débit binaire  $D$  permettant de transmettre les données au dispositif de traitement et de stockage.

### 2.3. Mesure du champ magnétique

Un teslamètre est utilisé pour mesurer le champ magnétique créé par l'électroaimant.

On a relevé la mesure suivante :  $B_m = 1492$  mT.

La notice du teslamètre indique :

- Calibres : 200 mT ou 2000 mT
- Précision :  $\pm$  (2 % de la mesure + 5 unités de résolution)
- Résolution : 0,1 mT pour le calibre 200 mT ou 1 mT pour le calibre 2000 mT

Pour un intervalle de confiance de 95 %, l'incertitude  $U$  élargie est donnée par l'expression  $\frac{2 \times \text{précision}}{\sqrt{3}}$

Exprimer le résultat de la mesure du champ magnétique sous une forme appropriée et expliciter dans ce cas la notion d'intervalle de confiance.

## EXERCICE II - L'ACIDIFICATION DES OCÉANS (9 points)

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

Depuis le début de l'ère industrielle, les émissions anthropiques (1) de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) 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.

Note (1) : anthropique : lié aux activités humaines.

d'après <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/1054.htm>

<http://www.science.gouv.fr/fr/actualites/bdd/res/2555/moules-et-huitres-menacees-par-l-acidification-des-oceans/>

Dans cet exercice on s'intéresse :

- dans les parties 1 et 2, au processus dit « d'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 à la fin de l'exercice.**

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

1.2. 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 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] 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 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (aq), l'ion hydrogénocarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aq) et l'acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (aq). Ce dernier étant instable en solution aqueuse, s'écrit CO<sub>2</sub> (aq) + H<sub>2</sub>O (l).

On note K<sub>a</sub> la constante d'acidité associée au couple acide / base noté HA / A<sup>-</sup>. On peut montrer que  $\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$ . Soient K<sub>a1</sub> et K<sub>a2</sub> 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 :

$$\alpha_1 = \frac{[\text{CO}_2]}{C_T}, \quad \alpha_2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{C_T}, \quad \alpha_3 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{C_T}.$$

2.1. Dédire de ce diagramme les valeurs de  $\text{pK}_{a1}$  et  $\text{pK}_{a2}$ .

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 nouvelle ère 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 de 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.

D'après <http://sciences.blogs.liberation.fr/home/2009/01/le-japon-lance.html>



**Le satellite IBUKI**

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.

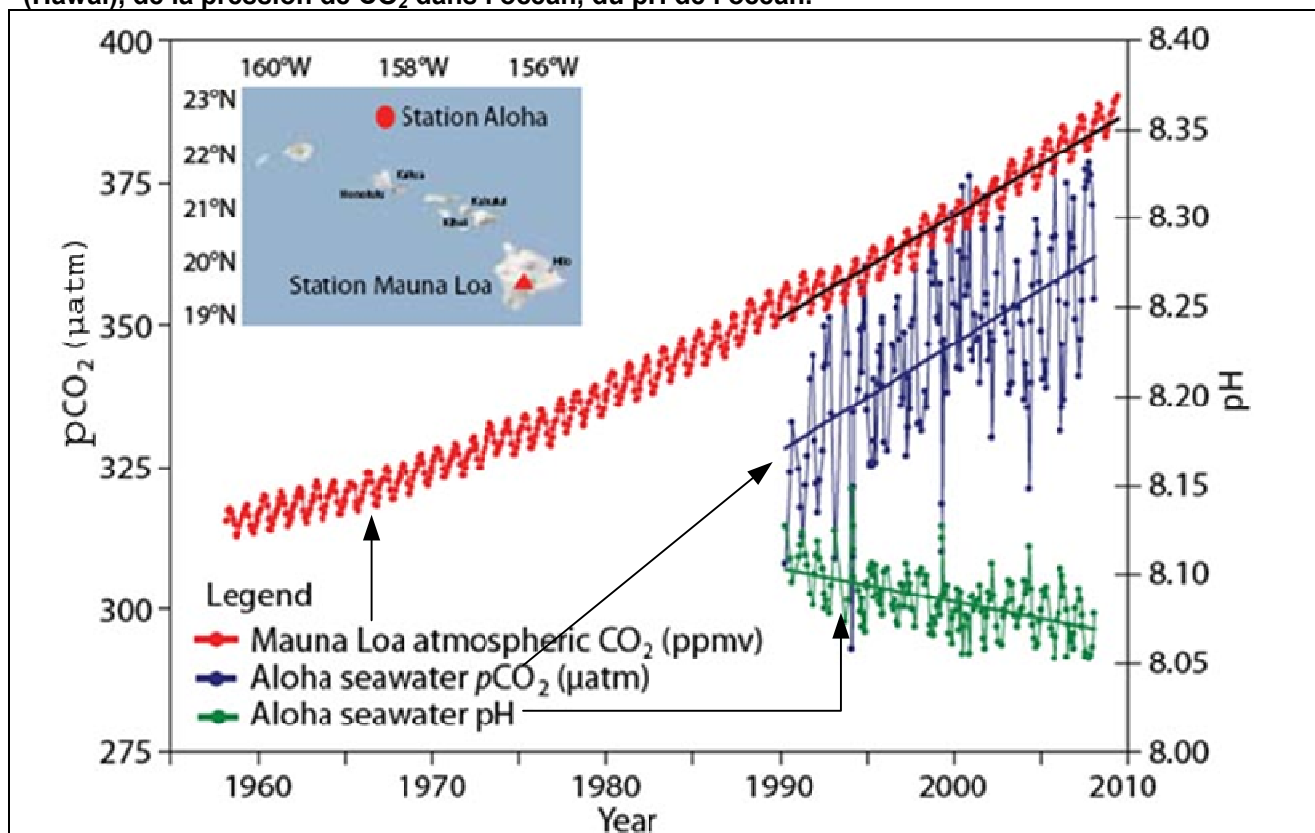
#### Données :

- rayon de la Terre :  $R_T = 6,38 \times 10^3$  km ;
- masse de la Terre :  $M_T = 5,98 \times 10^{24}$  kg ;
- masse du satellite IBUKI :  $m_s = 1,75 \times 10^3$  kg ;
- constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup> ;
- expression de l'intensité de la force d'interaction gravitationnelle  $F$  entre deux corps de masses  $M_A$  et  $M_B$ , de centres A et B, distants de  $d = AB$  :  $F = G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{d^2}$  ;
- 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 :  $a = \frac{v^2}{r}$ .

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 IBUKI 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 concentration en  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère à Mauna Loa (Hawaï), de la pression de  $\text{CO}_2$  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.

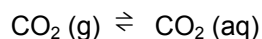
Afin de comparer le contenu en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère et de l'eau de mer, on définit la pression de  $\text{CO}_2$  dans l'océan :

$$p\text{CO}_2 = \frac{[\text{CO}_2]}{\beta} \text{ où } \beta \text{ est le coefficient de solubilité du } \text{CO}_2.$$

### Document 2 - Loi de Henry

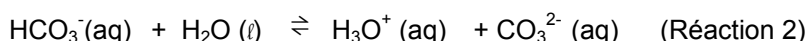
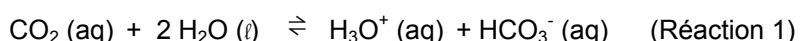
La dissolution d'un gaz dans l'eau obéit à la loi de Henry selon laquelle à température constante, la concentration  $C$  du gaz dissous est proportionnelle à la pression partielle  $p$  qu'exerce ce gaz au-dessus du liquide.

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 :

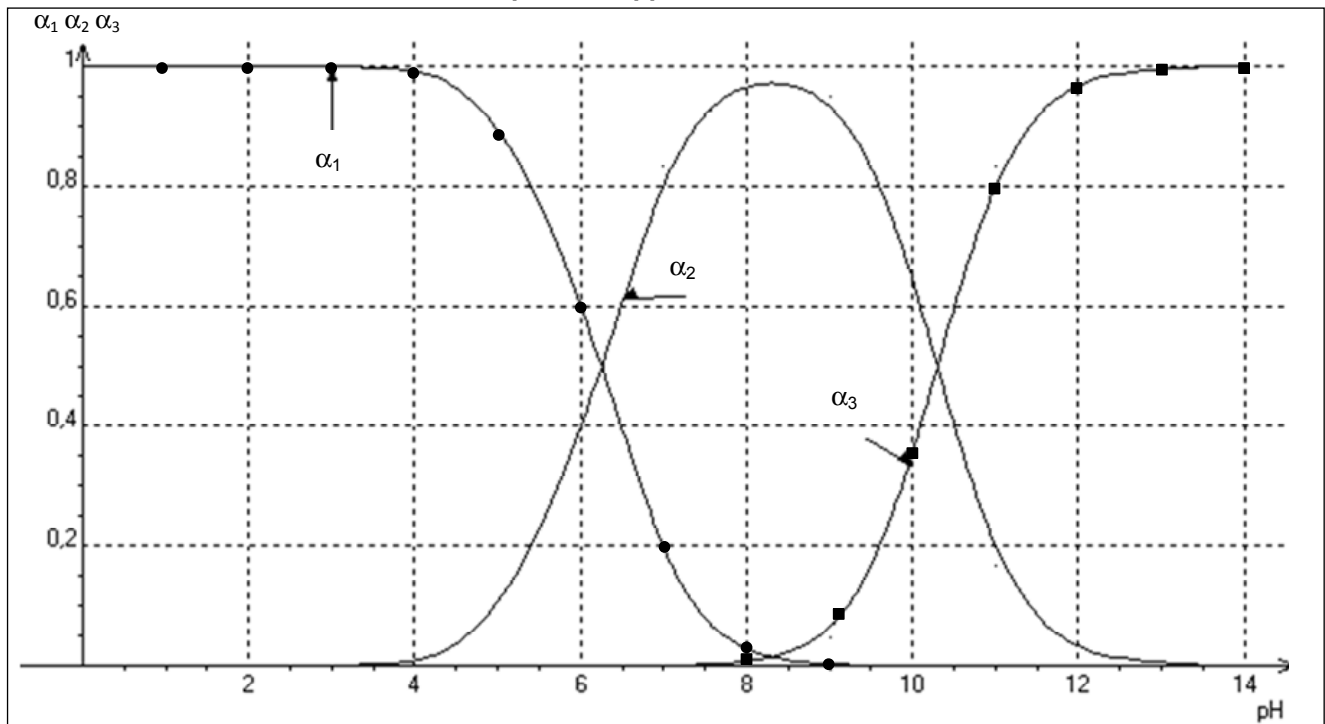


### Document 3 - Réactions d'équilibre des espèces carbonées

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 :

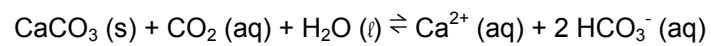


**Document 4 - Variation en fonction du pH des rapports  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$ .**



**Document 5 - Réaction de dissolution du carbonate de calcium.**

En présence d'un excès de dioxyde de carbone, le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  se dissout selon l'équation :





### EXERCICE III - UTILISATION D'UNE INSTALLATION COUPLANT VOITURE À HYDROGÈNE ET PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES (5 points)

Madame D. , dirigeante d'une société de dépannage à domicile, est soucieuse de l'impact que son entreprise peut avoir sur l'environnement. Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et ainsi améliorer le bilan carbone de son entreprise, elle envisage d'installer 70 m<sup>2</sup> de panneaux solaires sur le toit de ses bâtiments et elle se demande si son installation solaire permettrait de générer l'électricité nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène de sa société qui parcourt en moyenne 20 000 km par an.

**Vous rédigerez un rapport argumenté et critique répondant à l'interrogation de Madame D. (20 lignes maximum).**

**L'ensemble des calculs nécessaires sera présenté séparément, à la suite du rapport.**

#### Document 1 - Panneau photovoltaïque

Le rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 20 %.

La puissance solaire moyenne reçue par unité de surface de panneau est 200 W.m<sup>-2</sup>.

L'énergie, la puissance et le temps sont reliés par la relation suivante :  $E = P.t$

#### Document 2 - Une voiture à hydrogène

Une voiture à hydrogène dispose d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible.

Cette pile fonctionne grâce à une réaction d'oxydo-réduction. Le dihydrogène contenu dans le réservoir de la voiture réagit avec le dioxygène de l'air qui est insufflé par un compresseur placé dans le compartiment moteur. L'énergie électrique est produite par l'alternateur, et l'eau générée par la transformation est expulsée via le tuyau "d'échappement".

Le dihydrogène nécessaire au fonctionnement de la pile est stocké à l'état gazeux sous une pression de 350 bar dans un réservoir de 110 L placé à l'arrière. Cette capacité de stockage confère au véhicule une autonomie de 200 km.

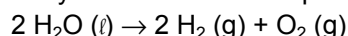
Pour des raisons pratiques et de sécurité, le constructeur a opté pour une solution dans laquelle le dihydrogène est directement produit dans le véhicule par électrolyse de l'eau.

À l'intérieur du réservoir, le volume occupé par une mole de dihydrogène gazeux, appelé volume molaire, est égal à 0,070 L.mol<sup>-1</sup> lorsque le réservoir est plein.



#### Document 3 - Production de dihydrogène par électrolyse

Le dihydrogène est produit par une électrolyse de l'eau dont l'équation est la suivante :



L'énergie chimique à fournir pour former une mole de dihydrogène est  $286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$ .

Seuls 60 % de l'énergie électrique nécessaire à cette électrolyse sont transformés en énergie chimique utilisable pour la réaction chimique.