Corrigé complet — Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**RMN et IRM** Isotopes et composition d'un noyau · Représentation de Cram · Énergie, fréquence et longueur d'onde d'un photon · Spectre de RMN du proton · Image numérique et débit binaire · Incertitude de mesure	6 pts	1 h	13 questions	p. 2
Ex 2	**L'acidification des océans** pH et concentration en ions oxonium · Couples acide-base et constante d'acidité · Diagrammes de distribution et de prédominance · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme d'un satellite · Période de révolution	9 pts	1 h 30	10 questions	p. 7
Ex 3	**Une voie de valorisation possible pour le dioxyde de carbone** Synthèse de documents · Bilan énergétique · Hydrogénation du dioxyde de carbone · Effet de serre · Captage et stockage du dioxyde de carbone · Conversions d'unités d'énergie et de volume	5 pts	50 min	3 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Utilisation d'une installation couplant voiture à hydrogène et panneaux photovoltaïques** Énergie et puissance · Rendement d'une conversion d'énergie · Électrolyse de l'eau · Quantité de matière et volume molaire · Panneau photovoltaïque · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 14

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

RMN et IRM

Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1.1 Donner la composition du noyau de deutérium. Comment qualifie-t-on deux noyaux tels que l'hydrogène $^{1}_{1}\mathrm{H}$ et le deutérium $^{2}_{1}\mathrm{H}$?

Données utiles deutérium : $^{2}_{1}\mathrm{H}$

Pour $^{2}_{1}\mathrm{H}$: $Z = 1$, donc 1 proton ; $A = 2$ nucléons, donc $A - Z = 2 - 1 = 1$ neutron.

Les noyaux $^{1}_{1}\mathrm{H}$ et $^{2}_{1}\mathrm{H}$ ont le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons.

Le noyau de deutérium contient 1 proton et 1 neutron ; $^{1}_{1}\mathrm{H}$ et $^{2}_{1}\mathrm{H}$ sont des **isotopes**.

PIÈGE
Le nombre du haut, A, compte les nucléons et non les neutrons : le nombre de neutrons s'obtient par $A - Z$.

1.1.2 Dessiner la représentation de Cram de $\mathrm{CDCl_3}$. Le carbone de cette molécule est-il asymétrique ? Justifier.

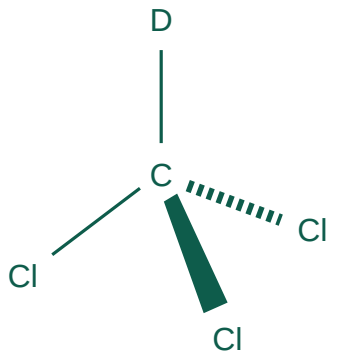
Représentation de Cram : voir le schéma ci-dessous. Le carbone, tétraédrique, porte quatre liaisons simples : deux dans le plan de la feuille, une vers l'avant, une vers l'arrière.

Un carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents. Ici, le carbone est lié à un atome D et à trois atomes Cl identiques.

Le carbone de $\mathrm{CDCl_3}$ n'est **pas asymétrique**.

COMPRENDRE
La représentation de Cram et le carbone asymétrique étaient au programme du Bac S ; ils ne figurent plus dans le programme actuel de la spécialité.

MÉTHODE
Convention de Cram : trait plein pour une liaison dans le plan, triangle plein pour une liaison vers l'avant, triangle hachuré pour une liaison vers l'arrière. La place de D parmi les quatre positions est libre.



trait plein : dans le plan

triangle plein : vers l'avant

hachures : vers l'arrière

1.1.2 · Représentation de Cram de la molécule de solvant

1.1.3 Quel est l'intérêt d'utiliser un solvant ne comportant pas de noyau d'hydrogène $^{1}_{1}\mathrm{H}$?

La RMN du proton ne détecte que les noyaux $^{1}_{1}\mathrm{H}$. Le solvant est présent en bien plus grande quantité que l'échantillon : s'il contenait de tels noyaux, son signal, très intense, se superposerait à ceux de l'espèce étudiée.

Le solvant deutéré ne donne **aucun signal** sur le spectre : seuls apparaissent les signaux de l'espèce analysée.

1.2.1 Calculer la fréquence ν du photon associé à la transition, puis sa longueur d'onde λ.

Données utiles $\Delta E = 1{,}20\ \mu\text{eV}$; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Conversion : $\Delta E = 1{,}20 \times 10^{-6} \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}92 \times 10^{-25}\ \text{J}$.

Le photon échangé a pour énergie $\Delta E = h\,\nu$, donc $\nu = \dfrac{\Delta E}{h}$:

$$\nu = \frac{1{,}92 \times 10^{-25}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 2{,}90 \times 10^{8}\ \text{Hz}$$

Longueur d'onde dans le vide : $\lambda = \dfrac{c}{\nu} = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$:

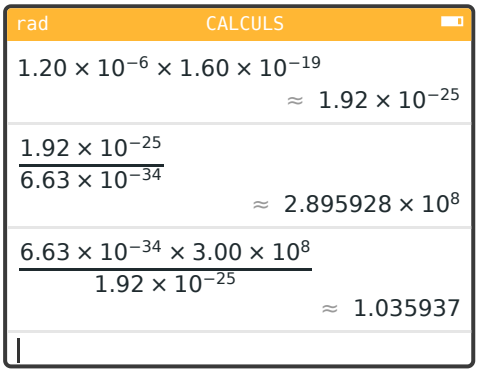
$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}92 \times 10^{-25}} = 1{,}04\ \text{m}$$

$\nu = 2{,}90 \times 10^{8}$ Hz (290 MHz) et $\lambda = 1{,}04$ m

PIÈGE
Laisser ΔE en électronvolts, ou oublier le préfixe micro (10^{-6}) : la relation $\Delta E = h\,\nu$ exige une énergie en joules.

COMPRENDRE
Toutes les données ont trois chiffres significatifs : les résultats en gardent trois. La fréquence trouvée est cohérente avec l'ordre de grandeur du spectromètre du sujet (300 MHz).

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $\lambda = 1{,}04$ m (1.2.1) ; axe des domaines : ondes radiofréquences pour $\lambda > 1$ m

Sur l'axe des domaines, les ondes radiofréquences correspondent aux longueurs d'onde supérieures à 1 m. Or $\lambda = 1{,}04\ \text{m} > 1\ \text{m}$.

L'onde utilisée est bien une **onde radiofréquence**, comme l'annonce le texte introductif.

1.3.1 Donner le nom systématique (nomenclature officielle) de la molécule organique dont le spectre est fourni.

La chaîne carbonée la plus longue contenant le carbone porteur du groupe hydroxyle compte 3 atomes de carbone : propane. Le groupe $-\text{OH}$ est sur le carbone 1 (alcool, suffixe -ol) ; deux groupes méthyle sont portés par le carbone 2.

2,2-diméthylpropan-1-ol

MÉTHODE
Numéroter la chaîne principale à partir de l'extrémité la plus proche du groupe $-\text{OH}$, puis nommer et placer les ramifications.

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

Données utiles pics A (vers 3,3 ppm), B (vers 2,0 ppm) et C (vers 0,9 ppm) ; molécule $(CH_3)_3C-CH_2-OH$

La molécule possède 12 atomes d'hydrogène répartis en trois groupes de protons équivalents, d'où trois signaux :

- les 9 H des trois groupes CH_3, tous portés par le même carbone ;
- les 2 H du groupe CH_2 ;
- le H du groupe OH.

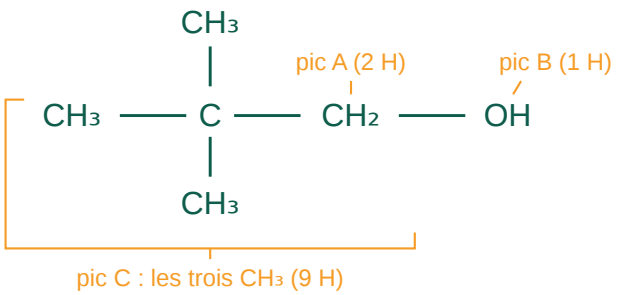
La hauteur de chaque saut de la courbe d'intégration est proportionnelle au nombre de protons du signal. Sur le spectre, le saut du pic A vaut environ 2 fois celui du pic B, et le saut du pic C environ 9 fois celui du pic B : les sauts A, B, C sont dans les rapports $2:1:9$, pour $2+1+9=12$ protons.

Pic A : les 2 H de CH_2 ; pic B : le H de OH ; pic C : les 9 H des trois CH_3.

PIÈGE
Mesurer la hauteur de la courbe d'intégration depuis la ligne de base pour chaque pic : c'est la hauteur de chaque marche, d'un palier au suivant, qui compte.

COMPRENDRE
Les trois signaux sont des singulets : le carbone voisin des CH_3 et du CH_2 ne porte aucun H, et le H de OH ne se couple pas.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN était au programme du Bac S ; elle n'est plus au programme actuel de la spécialité.



1.3.2 · Attribution des trois signaux

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

Données utiles organes et tissus mous : carbone, hydrogène, oxygène ; os : calcium, phosphore

L'IRM repose sur la RMN du proton : le signal provient des noyaux d'hydrogène, surtout ceux de l'eau. Les organes et tissus mous contiennent beaucoup d'hydrogène et donnent un signal intense. Les os sont principalement constitués de calcium et de phosphore.

Les os, pauvres en hydrogène, ne donnent presque **pas de signal** : ils ne sont pas visualisés, contrairement aux tissus mous.

2.2.1 Calculer les dimensions d'un pixel.

Données utiles image de 512×512 pixels ; carré de 50 cm de côté

Un côté de 50 cm est découpé en 512 pixels. Chaque pixel est un carré de côté :

$$a = \frac{50}{512} = 9{,}8 \times 10^{-2}\ \text{cm}$$

Un pixel est un carré de côté $a = 0{,}98\ \text{mm}$, soit environ 1 mm.

COMPRENDRE
Le pixel fixe la résolution de l'image : un détail plus petit qu'un millimètre environ n'est pas distingué.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{50}{512}$

≈ 0.09765625

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

Données utiles 512×512 pixels ; 1 octet par pixel

Nombre de pixels : $512 \times 512 = 262\,144$. Chaque pixel est codé par un octet.

Taille du fichier : $262\,144$ octets, soit environ $2{,}62 \times 10^5$ octets.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

512×512

$262\,144$

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

Données utiles 1 octet par pixel

Un octet est formé de 8 bits, chacun valant 0 ou 1 : il peut prendre 2^8 valeurs différentes.

$2^8 = 256$ niveaux de gris, du noir (0) au blanc (255).

PIÈGE
Répondre 8, le nombre de bits, ou 255 : les valeurs vont de 0 à 255, ce qui fait 256 niveaux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

2^8

256

2.2.4 Une image IRM est réalisée toutes les deux secondes. Calculer le débit binaire D permettant de transmettre les données.

Données utiles $262\,144$ octets par image (2.2.2) ; 1 octet = 8 bits ; $\Delta t = 2$ s

Nombre de bits par image : $N = 262\,144 \times 8 = 2\,097\,152$ bits.

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde : $D = \frac{N}{\Delta t}$.

$$D = \frac{2\,097\,152}{2} = 1{,}05 \times 10^6 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$$

$D = 1{,}05 \times 10^6$ bit · s^{-1}, soit environ 1 Mbit · s^{-1}

PIÈGE
Oublier de convertir les octets en bits : le débit serait 8 fois trop petit.

COMPRENDRE
Le débit binaire était au programme du Bac S ; il ne figure plus dans le programme actuel de la spécialité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{512 \times 512 \times 8}{2}$

≈ 1048576

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

Données utiles $B_m = 1492\ \text{mT}$; précision : $\pm$ (2 % de la mesure + 5 unités de résolution) ; résolution 1 mT sur le calibre 2000 mT ; $U = \dfrac{2 \times \text{précision}}{\sqrt{3}}$

La mesure dépasse 200 mT : le calibre utilisé est 2000 mT, de résolution 1 mT.

Précision : $\dfrac{2}{100} \times 1492 + 5 \times 1 = 34{,}84\ \text{mT}$.

Incertitude élargie :

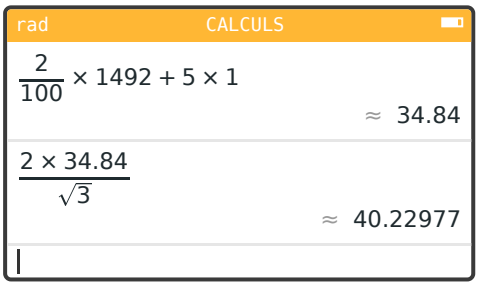
$$U = \frac{2 \times 34{,}84}{\sqrt{3}} = 40{,}2\ \text{mT}$$

L'incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès : $U = 0{,}05\ \text{T}$. La mesure est arrondie au même rang : $B = 1{,}49\ \text{T}$.

Intervalle de confiance : la valeur vraie du champ magnétique a 95 % de chances de se trouver entre $1{,}44\ \text{T}$ et $1{,}54\ \text{T}$.

$B = (1{,}49 \pm 0{,}05)\ \text{T}$, avec un niveau de confiance de 95 %

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Écrire $B = (1492 \pm 40{,}23)\ \text{mT}$: le dernier chiffre de la mesure et celui de l'incertitude doivent avoir le même rang.

COMPRENDRE
Avec deux chiffres significatifs pour l'incertitude, on écrirait $B = (1492 \pm 41)\ \text{mT}$: cette écriture est aussi acceptée.

MÉTHODE
Résultat d'une mesure : 1) calculer U ; 2) l'arrondir par excès à un chiffre significatif ; 3) arrondir la valeur au même rang ; 4) écrire valeur $\pm\ U$ avec l'unité et le niveau de confiance.

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 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) :

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

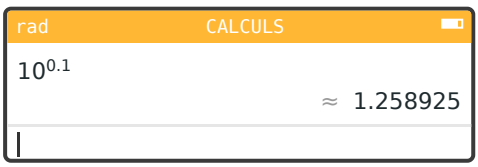
La concentration est multipliée par 1,26 : elle augmente de 26 %.

$[H_3O^+]$ 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 $\mathrm{p}K_{a2}$.

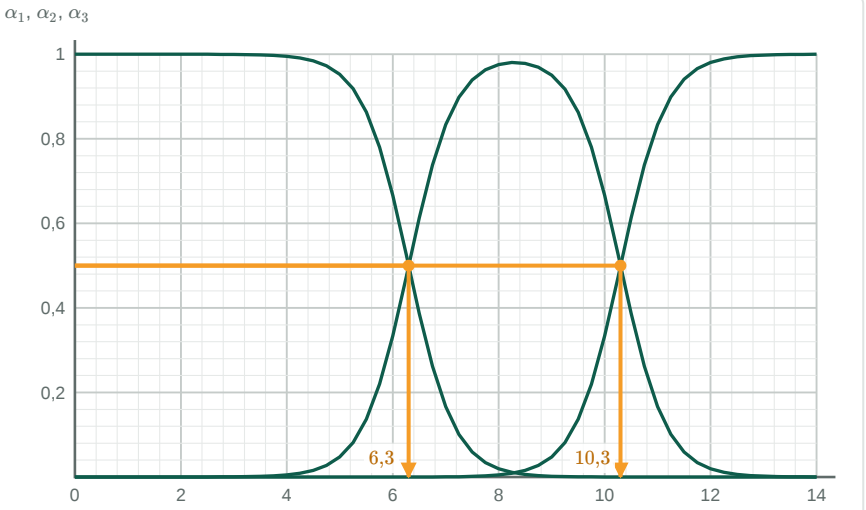
D'après $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \log\dfrac{[\mathrm{A}^-]}{[\mathrm{HA}]}$: lorsque $[\mathrm{A}^-] = [\mathrm{HA}]$, $\log 1 = 0$ donc $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a$.

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

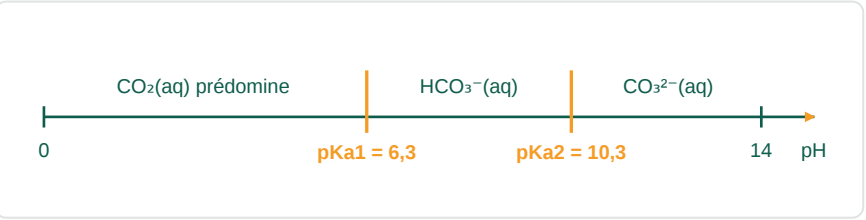
2.2 Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces $\mathrm{CO_2\,(aq)}$, $\mathrm{HCO_3^-\,(aq)}$ et $\mathrm{CO_3^{2-}\,(aq)}$.

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

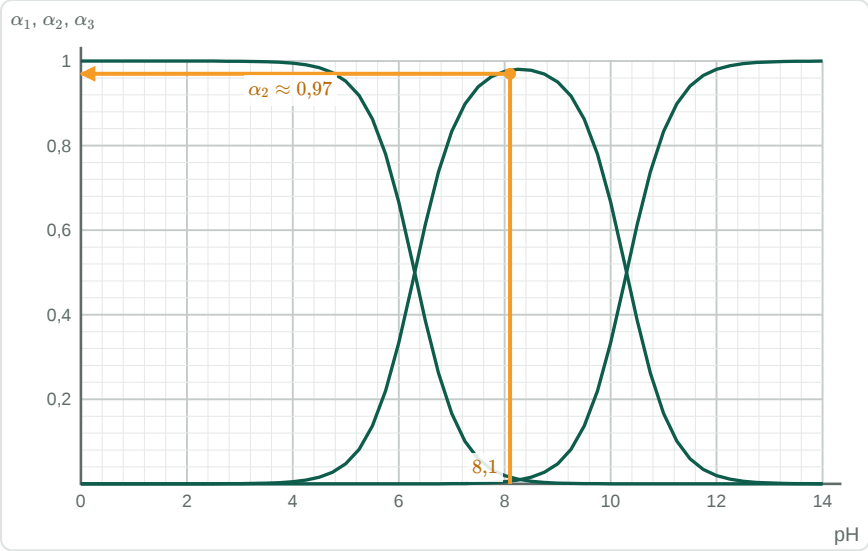
2.3 Évaluer α_1, α_2 et α_3 dans les océans.

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.

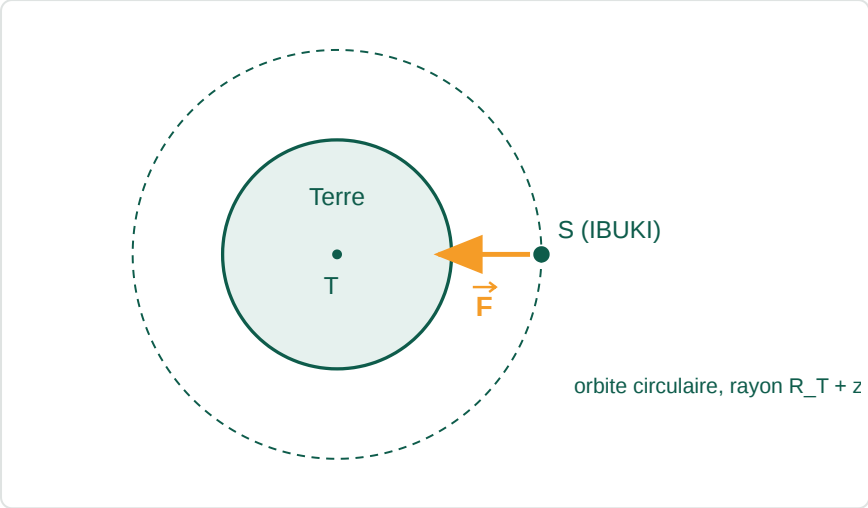
MÉTHODE
« Justifier à l'aide d'un document » : nommer le document, citer l'information utile (ici l'équation), puis faire le lien avec la question posée.

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.

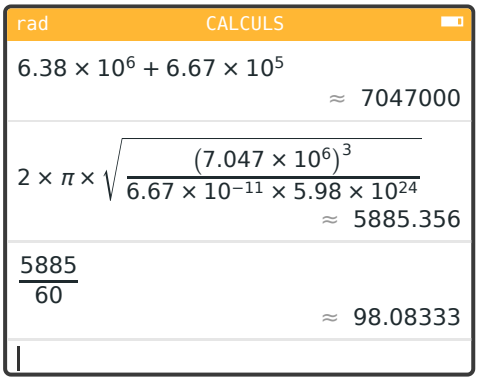
PIÈGE

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



Une voie de valorisation possible pour le dioxyde de carbone

Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Question préalable. À l'aide des connaissances et des documents, proposer trois pistes mises en œuvre actuellement pour limiter l'émission de CO_2 dans l'atmosphère.

- **Émettre moins à la source** : réduire le recours aux combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) par les économies d'énergie et par les énergies renouvelables.
- **Capter puis stocker** le CO_2 (document 2) : stockage géologique dans le sous-sol, ou stockage biologique par la végétation, d'où l'intérêt de reboiser et de limiter la déforestation.
- **Capter puis valoriser** le CO_2 (documents 2 et 3) : usage direct, par exemple comme gaz réfrigérant, ou conversion par hydrogénation en méthanol, en éthanal ou en méthane.

Trois pistes : réduire la consommation de combustibles fossiles, capter et stocker le CO_2, capter et valoriser le CO_2.

PIÈGE
Donner trois variantes d'une seule piste, par exemple trois produits de l'hydrogénation. Le barème attend trois pistes distinctes, chacune expliquée en quelques mots.

COMPRENDRE
Ce thème relevait de la chimie durable de l'ancien programme, qui ne figure plus dans la spécialité actuelle. L'extraction d'informations et le bilan énergétique restent des compétences attendues.

2 Question préalable. Faire le bilan énergétique global de la production et de la combustion de $1{,}0\ \text{m}^3$ de méthane obtenu par hydrogénation du CO_2.

Données utiles pour $1\ \text{m}^3$ de méthane : $4\ \text{m}^3$ de H_2 et $1\ \text{m}^3$ de CO_2 (document 4) ; électrolyse : $20{,}0$ MJ par m^3 de H_2 ; captage et stockage : $8{,}0$ MJ par m^3 de CO_2 ; hydrogénation : $7{,}0$ MJ par m^3 de CO_2 ; combustion : $33{,}0$ kJ par litre de méthane

Énergie dépensée pour produire $1{,}0\ \text{m}^3$ de méthane

- électrolyse fournissant $4\ \text{m}^3$ de dihydrogène : $4 \times 20{,}0 = 80{,}0$ MJ ;
- captage et stockage de $1\ \text{m}^3$ de CO_2 : $8{,}0$ MJ ;
- hydrogénation de $1\ \text{m}^3$ de CO_2 : $7{,}0$ MJ.

$$E_{\text{dépensée}} = 80{,}0 + 8{,}0 + 7{,}0 = 95{,}0\ \text{MJ}$$

Énergie récupérée par la combustion de ce méthane ($1{,}0\ \text{m}^3 = 1{,}0 \times 10^3$ L)

$$E_{\text{récupérée}} = 1{,}0 \times 10^3 \times 33{,}0 = 3{,}30 \times 10^4\ \text{kJ} = 33{,}0\ \text{MJ}$$

Bilan global

$$E_{\text{récupérée}} - E_{\text{dépensée}} = 33{,}0 - 95{,}0 = -62{,}0\ \text{MJ}$$

La combustion ne restitue que $\dfrac{33{,}0}{95{,}0} \approx 35\ \%$ de l'énergie dépensée.

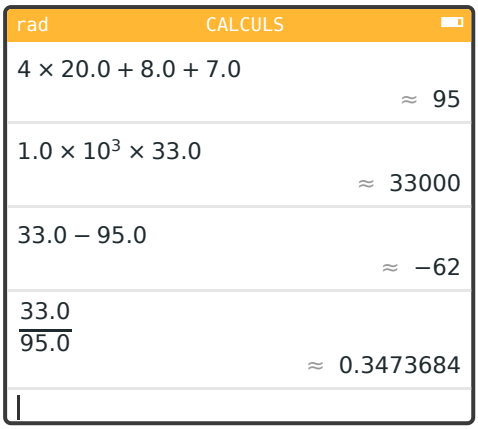
Bilan : $-62{,}0$ MJ par mètre cube de méthane. Le procédé consomme plus d'énergie ($95{,}0$ MJ) qu'il n'en restitue ($33{,}0$ MJ).

PIÈGE
Compter $20{,}0$ MJ pour le dihydrogène en oubliant qu'il en faut $4\ \text{m}^3$. Autre oubli fréquent : l'énergie de combustion est donnée en kJ par litre, à convertir en MJ par mètre cube.

COMPRENDRE
Les proportions du document 4 sont celles de l'équation $CO_2 + 4\,H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$: à même pression et même température, les volumes de gaz sont proportionnels aux quantités de matière.

MÉTHODE
Bilan énergétique : lister chaque poste de dépense, tout ramener à la même quantité produite et à la même unité, sommer, puis comparer à l'énergie récupérée par une différence ou un rapport.

À LA CALCULATRICE



S Synthèse. Rédiger une synthèse argumentée d'environ 20 lignes : quels sont les enjeux environnementaux et l'intérêt énergétique de la valorisation du dioxyde de carbone ?

Données utiles documents 1 à 4 ; bilan de la question 2 : $95{,}0$ MJ dépensés, $33{,}0$ MJ récupérés

Introduction. Les activités humaines rejettent de plus en plus de dioxyde de carbone. Sa valorisation répond-elle à un enjeu environnemental, et est-elle intéressante sur le plan énergétique ?

Un enjeu environnemental. D'après le document 1, la production mondiale de CO_2 est passée d'environ 9 gigatonnes par an en 1960 à 35 en 2010 : elle a presque quadruplé. Sur la même période, l'écart de température moyenne à la surface de la Terre est passé d'environ $-0{,}05$ °C à $+0{,}45$ °C, soit une hausse voisine de $0{,}5$ °C. Comme le CO_2 absorbe le rayonnement infrarouge émis par le sol (effet de serre), il est très probablement l'une des causes de ce réchauffement. Limiter sa présence dans l'atmosphère est donc un enjeu majeur.

Les réponses possibles. Outre la réduction des émissions, le CO_2 peut être capté puis stocké, dans le sous-sol ou par la végétation (document 2). Il peut aussi être valorisé : directement, comme gaz réfrigérant, ou après conversion par hydrogénation en méthanol, en éthanal ou en méthane (document 3). Aujourd'hui, seulement $0{,}5$ % des émissions sont valorisées ; cette part pourrait atteindre 5 à 10 %. Le CO_2 devient alors une matière première et non plus un simple déchet.

Un intérêt énergétique limité. Produire $1\ \text{m}^3$ de méthane demande $95{,}0$ MJ alors que sa combustion n'en restitue que $33{,}0$: le bilan est déficitaire de $62{,}0$ MJ. L'essentiel de la dépense ($80{,}0$ MJ) vient de l'électrolyse qui fournit le dihydrogène. Le procédé n'a donc de sens que si cette énergie est renouvelable, comme dans l'unité japonaise alimentée par l'énergie solaire (document 4) : le méthane sert alors à stocker une partie de cette énergie sous forme chimique. De plus, sa combustion reforme du CO_2 : celui-ci n'est recyclable que s'il est émis en un lieu fixe, dans une centrale électrique, et non de façon diffuse par des véhicules.

Conclusion : valoriser le CO_2 réduit les rejets de ce gaz à effet de serre, mais sa conversion en méthane coûte plus d'énergie qu'elle n'en rend. C'est une piste complémentaire de la réduction des émissions, pertinente avec une énergie renouvelable.

PIÈGE
Affirmer que les graphiques prouvent que le CO_2 cause le réchauffement. Deux courbes qui montent ensemble montrent une corrélation ; le lien de cause vient de l'effet de serre, à citer explicitement.

COMPRENDRE
Les deux questions préalables préparent la synthèse : les pistes de la première nourrissent les enjeux, le bilan de la deuxième fonde le regard critique sur l'intérêt énergétique.

MÉTHODE
Synthèse de documents : reprendre la problématique, un paragraphe par idée, chaque argument appuyé sur un document cité et sur une valeur chiffrée, des connecteurs logiques, une conclusion qui répond à la question, environ 20 lignes.

Spécialité : Utilisation d'une installation couplant voiture à hydrogène et panneaux photovoltaïques

Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Rédiger un rapport argumenté et critique (20 lignes au plus) : 70 m² de panneaux solaires suffisent-ils à produire l'électricité nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène, qui parcourt 20 000 km par an ? Présenter les calculs à la suite.

Données utiles surface $S = 70\ \text{m}^2$; puissance solaire surfacique moyenne $p = 200\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; rendement des cellules $\eta_1 = 20\ \%$; réservoir $V = 110$ L, autonomie 200 km ; $V_m = 0{,}070\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; $E_m = 286 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$; rendement de l'électrolyse $\eta_2 = 60\ \%$

Rapport.

Madame,

Vous souhaitez savoir si 70 m² de panneaux photovoltaïques produiraient l'électricité nécessaire pour recharger en dihydrogène votre véhicule, qui roule 20 000 km par an.

D'après les calculs présentés ci-dessous, parcourir cette distance demande 100 pleins du réservoir. Produire le dihydrogène correspondant par électrolyse de l'eau consomme environ $7{,}5 \times 10^{10}$ J d'énergie électrique par an. Vos panneaux en fourniraient environ $8{,}8 \times 10^{10}$ J par an. Sur l'année, l'installation couvre donc le besoin, avec une marge d'un peu moins de 20 %.

Cette conclusion appelle plusieurs réserves :

- la marge est faible, alors que le rendement des cellules n'est donné qu'en ordre de grandeur et que la puissance solaire est une moyenne : orientation du toit, ombres, salissures ou vieillissement des panneaux peuvent la faire disparaître ;
- la production est nulle la nuit, réduite en hiver et par temps couvert, alors que le véhicule doit être rechargé toute l'année ; de plus il roule le jour, au moment où les panneaux produisent. Il faut donc stocker l'électricité ou rester raccordé au réseau, auquel on cède les excédents ;
- le calcul ne compte pas l'énergie nécessaire pour comprimer le dihydrogène à 350 bar ;
- le bilan carbone doit inclure la fabrication des panneaux, et le coût de l'installation reste à étudier.

Le projet est donc réalisable en moyenne annuelle, à condition de conserver un raccordement au réseau ou de prévoir un stockage.

Calculs.

1. Énergie électrique nécessaire au véhicule pendant un an.

Nombre de pleins : $N = \dfrac{20\,000}{200} = 100$.

Quantité de dihydrogène dans un réservoir plein :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{110}{0{,}070} = 1{,}6 \times 10^3\ \text{mol}$$

Énergie chimique à fournir pour un plein : $E_{\text{ch}} = n \times E_m$.

Seuls 60 % de l'énergie électrique sont convertis en énergie chimique : $\eta_2 = \dfrac{E_{\text{ch}}}{E_{\text{él}}}$, donc $E_{\text{él}} = \dfrac{n \times E_m}{\eta_2}$.

Pour un an :

PIÈGE
Inverser les rendements. L'électrolyse consomme plus qu'elle ne restitue : on divise par 0,60. Le panneau ne convertit qu'une partie de l'énergie reçue : on multiplie par 0,20.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_m et les rendements. Le volume molaire de $0{,}070\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ est très inférieur aux 24 L·mol⁻¹ habituels car le gaz est comprimé à 350 bar.

MÉTHODE
Résolution de problème : écrire le critère (énergie fournie comparée à l'énergie nécessaire, sur la même durée), calculer chaque terme en littéral avant l'application numérique, puis conclure et critiquer les hypothèses.

$$E_{\text{besoin}} = \frac{N \times V \times E_m}{\eta_2 \times V_m} = \frac{100 \times 110 \times 286 \times 10^3}{0{,}60 \times 0{,}070} = 7{,}5 \times 10^{10}\ \text{J}$$

2. Énergie électrique fournie par les panneaux en un an.

Puissance électrique moyenne : $P_{\text{él}} = \eta_1 \times p \times S = 0{,}20 \times 200 \times 70 = 2{,}8 \times 10^3$ W.

La puissance donnée est une moyenne, qui tient déjà compte des nuits : la durée est l'année entière, $\Delta t = 365 \times 24 \times 3600 = 3{,}15 \times 10^7$ s.

$$E_{\text{fournie}} = P_{\text{él}} \times \Delta t = 2{,}8 \times 10^3 \times 3{,}15 \times 10^7 = 8{,}8 \times 10^{10}\ \text{J}$$

3. Comparaison.

$$\frac{E_{\text{fournie}}}{E_{\text{besoin}}} = \frac{8{,}8 \times 10^{10}}{7{,}5 \times 10^{10}} = 1{,}2$$

$E_{\text{fournie}} = 8{,}8 \times 10^{10}\ \text{J} > E_{\text{besoin}} = 7{,}5 \times 10^{10}\ \text{J}$: en moyenne sur l'année, les 70 m² de panneaux suffisent, avec une marge inférieure à 20 %.

À LA CALCULATRICE

