

Baccalauréat général

Sujet zéro n° 1, session 2021

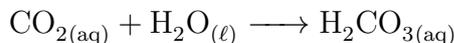
Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité — Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

Exercice I — Capture géologique du dioxyde de carbone

- On remarque qu'après avoir expiré dans le bécher, l'indicateur coloré passe de la couleur verte à la couleur orange. Ce qui, d'après les données, traduit un abaissement du pH. Ce qui permet de conclure que la solution aqueuse de dioxyde de carbone est acide.
- On a l'équation de réaction :



Et on remarque que le dioxyde de carbone capte deux protons venant de l'eau pour former l'acide carbonique. D'où, à l'inverse, l'acide carbonique est susceptible de céder des protons pour donner du dioxyde de carbone. C'est donc une base de Brönsted.

- On a $C_S = \frac{n}{V} = \frac{m}{M(\text{CO}_2)V}$. Or, les données précisent que le seul volume à considérer est celui de l'eau.

On a donc, sur un temps élémentaire d'une seconde, $V = \frac{m_e}{\rho_e}$. Alors finalement, en injectant dans l'expression de la concentration :

$$C_S = \frac{m\rho_e}{M(\text{CO}_2)m_e} = \frac{70 \times 10^3}{44 \times 1800} = 0,88 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration apportée en CO_2 est donc bien de $C_S = 0,88 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- On recopie le tableau d'avancement et on complète la ligne correspondant à l'équilibre :

(mol · L ⁻¹)	$\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$	→	$\text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$
état initial	C_S		Solvant		0		ε
équilibre	$C_S - x_{\text{éq}}$		Solvant		$x_{\text{éq}}$		$x_{\text{éq}}$

- On exprime alors la constante d'équilibre de cette réaction :

$$K^\circ = \frac{x_{\text{éq}}^2}{(C_S - x_{\text{éq}})c^\circ} = K_{A1}$$

Alors il vient

$$x_{\text{éq}}^2 = c^\circ(C_S - x_{\text{éq}})K_{A1}$$

Et finalement, on obtient l'équation du second degré :

$$x_{\text{éq}}^2 + c^\circ K_{A1}x_{\text{éq}} - c^\circ C_S K_{A1} = 0 \quad (1)$$

- La résolution de (1) conduit à deux solutions, dont on ne gardera que celle qui est positive (on a rarement vu un avancement négatif pour une réaction chimique dans le sens direct...). D'où, $x_{\text{éq}} = x_1 = 5,91 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

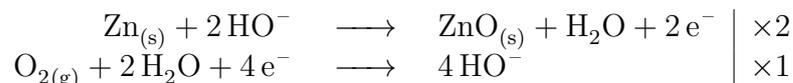
D'où, à l'équilibre, on a $C_S - x_{\text{éq}}$ d'acide carbonique, et $x_{\text{éq}}$ d'ions hydrogénocarbonates et oxonium. Ce qui donne un pH égal à :

$$pH = pK_{A1} + \log\left(\frac{x_{\text{éq}}}{C_S - x_{\text{éq}}}\right) = \underline{3,23}$$

- Sur les 300 premiers jours, l'évolution observée peut s'expliquer, dans un premier temps, par la dissolution du CO_2 dans l'eau, impliquant une hausse du DIC et une diminution du pH . Ensuite, ce dioxyde de carbone va réagir et alors les courbes traduisent un système se dirigeant vers l'équilibre chimique. Il se passe la même chose lors de la seconde injection de dioxyde de carbone : diminution du pH puis réaction pour atteindre l'équilibre chimique.

Exercice II — Pile « zinc-air »

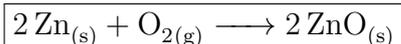
1. On a les demi-équations électroniques :



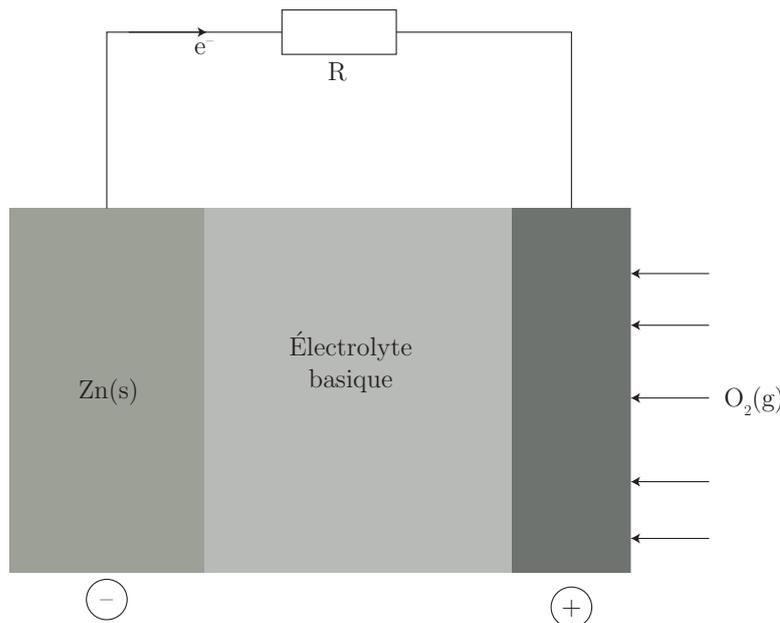
Ce qui donne, en les combinant, l'équation d'oxydoréduction :



Qui donne, en la simplifiant, l'équation de fonctionnement de la pile :



2. Et on remarque que le zinc passe du degré d'oxydation (0) au degré d'oxydation (+I) tandis que l'oxygène passe de (0) à (-I). D'où, le zinc est le réducteur et le dioxygène l'oxydant.
3. On a l'électrode en zinc qui libère des électrons qui sont captés par la seconde électrode. On peut donc donner le sens de déplacement des porteurs de charge. Or, comme ils se déplacent du pôle négatif au pôle positif de la pile, on en déduit la polarité et on porte toutes ces informations sur un schéma de la pile :



4. Parmi les propositions données, seule la première est correcte : la capacité d'une pile est la quantité d'électricité qu'elle peut fournir en fonctionnement.

En l'occurrence, on a :

$$Q = i\Delta t$$

Or, avec la loi d'Ohm, $i = \frac{U}{R}$

Alors en injectant, on obtient :

$$\boxed{Q = \frac{U}{R}\Delta t} = \frac{0,45}{15} \times 66 \times 10^3 = \underline{\underline{2,0 \times 10^3 \text{ C}}}$$

La valeur donnée est donc cohérente.

5. On souhaite déterminer la durée de fonctionnement d'une prothèse auditive alimentée par une pile « zinc-air » semblable à celle étudiée. On va donc supposer, pour s'éviter l'étude du régime transitoire, que la prothèse cesse de fonctionner dès que la tension fournie diminue.

On a alors la capacité électrique :

$$Q = i\Delta t \implies \boxed{\Delta t = \frac{Q}{i}}$$

D'où, pour $i = 8 \text{ mA}$, on a

$$\Delta t = \frac{2,0 \times 10^3}{8 \times 10^{-3}} = 2,5 \times 10^5 \text{ s} \approx 3 \text{ jours}$$

Cette autonomie est cohérente puisque la prothèse auditive ne fonctionne pas en continu.

6. On observe sur la courbe un seuil d'intensité pour un pourcentage en dioxygène supérieur à 60 %. La pile peut donc être utilisée pour un pourcentage en dioxygène compris entre 0 et 60 %. L'air expiré par un humain ayant un pourcentage en dioxygène inférieur à 20 %, elle peut tout à fait être utilisée pour mesurer le dioxygène expiré par un être humain.
7. Dans les données, on a une intensité I_{exp} donnée avec un chiffre significatif, qui limite donc la précision.

D'où, $\%_{\text{O}_2} = 16,8(\pm 0,4) \%$.

8. *pas une question...*

9. On a, pour l'expérience réalisée, $I = [16,4; 17,2]$ intervalle dans lequel peuvent se trouver des mesures cohérentes avec l'expérience menée (intervalle [mesure – incertitude ; mesure + incertitude]). Or, $16,2 \notin I$. Ces deux valeurs sont donc incompatibles.

Exercice III — Un vol inaugural un peu particulier

A – Le retour des propulseurs latéraux sur Terre

1. Pour un temps compris entre $t = 420 \text{ s}$ et $t = 430 \text{ s}$, les propulseurs étant à une altitude de 30 km, les frottements de l'air sont négligeables. On a alors, entre ces deux instants, le principe d'inertie :

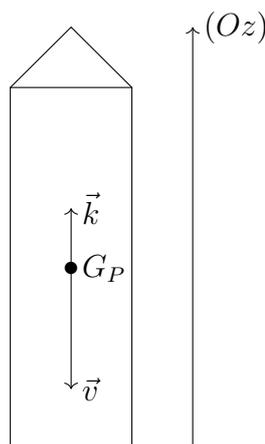
$$mv(t = 420) = mv(t = 430)$$

Or, la masse étant constante entre ces deux instants, il vient :

$$\boxed{v(t = 420) = v(t = 430)}$$

2. Lien entre vitesse et altitude

2.1. On a le propulseur :



2.2. On a donc, par définition, la vitesse donnée par :

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG_P}}{dt} \quad (2)$$

2.3. Or, en reprenant la relation (2) et en exprimant les vecteurs selon le vecteur unitaire :

$$-v\vec{k} = \frac{d}{dt}(z\vec{k})$$

D'où, en projetant :

$$\boxed{v = -\frac{dz}{dt}}$$

Ce qui est cohérent avec le graphique donné : l'altitude décroît et a donc une dérivée négative, tandis que la vitesse est bien positive.

3. On cherche la norme du vecteur accélération dans la dernière phase de l'atterrissage. On a, par définition :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

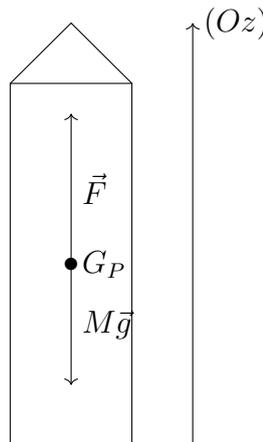
Donc, pour $t > 467$ s, la courbe donnant v en fonction de t étant une droite, il suffit de calculer la pente de cette droite pour déterminer l'accélération.

On a alors, par lecture graphique,

$$a = \frac{20 - 300}{500 - 480} = \underline{\underline{-14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

4. Étude de l'atterrissage

4.1. On représente les forces s'exerçant sur le propulseur, en négligeant les frottements et en supposant que la variation de masse au cours des phases précédentes n'a pas déplacé le centre de masse :



4.2. On applique alors, avec le bilan des forces de la question précédente, la loi de quantité de mouvement au propulseur de masse M supposée constante dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

$$-M\vec{a} = M\vec{g} + \vec{F}$$

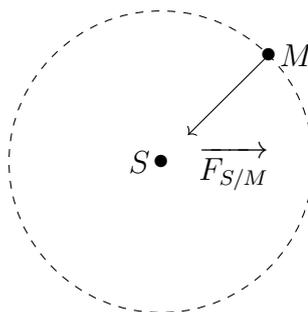
Qui donne, en projetant sur l'axe vertical :

$$-Ma = -Mg + F \implies \boxed{F = M(g - a)}$$

D'où, $F = 25,3 \times 10^3 \times (9,81 + 14) = \underline{\underline{602,4 \text{ kN}}}$.

B – Le mouvement de la planète Mars

1. On représente, sur le schéma, la force exercée par le Soleil sur la planète Mars :



2. On cherche l'expression du vecteur accélération de la planète Mars supposée ponctuelle et décrivant une trajectoire supposée circulaire. On applique alors la loi de quantité de mouvement à la planète Mars de masse M_M dans le référentiel héliocentrique supposé galiléen :

$$M_M \vec{a} = \vec{F}_{S/M} = -G \frac{M_M M_S}{d_{MS}^2} \vec{u}$$

On a alors finalement, en simplifiant par la masse de Mars :

$$\boxed{\vec{a} = -G \frac{M_S}{d_{MS}^2} \vec{u}} \quad (3)$$

3. Vitesse de Mars sur son orbite

- 3.1. Si on se place dans la base de Frénet ($M; \vec{u}_N, \vec{u}_T$), on a le vecteur accélération qui s'exprime :

$$\vec{a} = a_N \vec{u}_N + a_T \vec{u}_T$$

Or, la seule force s'exerçant sur la planète Mars étant l'attraction gravitationnelle du Soleil, étant portée uniquement par le vecteur normal, il vient $a_T = 0$ en reprenant l'expression (3).

D'où, la vitesse de Mars sur son orbite est constante ; le mouvement est bien uniforme.

- 3.2. Le mouvement étant circulaire et uniforme, on a, en norme :

$$a = -\frac{v^2}{d_{MS}}$$

D'où, en utilisant (3), on a :

$$v^2 = G \frac{M_S}{d_{MS}} \implies \boxed{v = \sqrt{G \frac{M_S}{d_{MS}}}} \quad (4)$$

4. On souhaite alors calculer la période de révolution de Mars autour du Soleil, cette dernière décrivant une orbite circulaire de rayon d_{MS} à la vitesse v constante. On a donc :

$$T_M = \frac{2\pi d_{MS}}{v}$$

Alors en injectant l'expression (4), il vient :

$$T_M = 2\pi d_{MS} \sqrt{\frac{d_{MS}}{GM_S}}$$

Et finalement, en rentrant d_{MS} dans la racine :

$$\boxed{T_M = 2\pi \sqrt{\frac{d_{MS}^3}{GM_S}}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{(2,26 \times 10^6)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 1,99 \times 10^{36}}} = \underline{\underline{687 \text{ jours} \approx 690 \text{ jours}}}$$

C – Davantage de carburant dans un même volume**1. Le refroidissement du LOX.**

1.1. Le LOX doit être refroidi. Aussi, le transfert thermique se fait du LOX au diazote liquide. Or, la température d'ébullition du diazote liquide étant plus faible que la température d'ébullition du LOX, le risque peut être un passage du diazote à l'état gazeux.

1.2. Pour refroidir le LOX de 10°C , il faut une énergie :

$$\boxed{Q = Mc\Delta T} = 287,4 \times 10^3 \times 1659 \times 10 = \underline{4,77 \times 10^9 \text{ J}}$$

2. Lors de la transformation adiabatique subie par le LOX en contact avec l'air à la température T_{air} constante, on a le premier principe de la thermodynamique :

$$\Delta H = \sum \mathcal{P}_{\text{éch}}$$

Or, le seul échange thermique étant conducto-convectif, on aura bien :

$$\boxed{Mc \frac{dT}{dt} = hS(T_{\text{air}} - T)}$$

3. Il vient alors, en regroupant les termes dans l'équation établie précédemment :

$$Mc \frac{dT}{dt} + hST = hST_{\text{air}}$$

Ou encore, en divisant par le produit Mc :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{hS}{Mc}T = \frac{hS}{Mc}T_{\text{air}} \quad (\mathcal{E}_D)$$

On peut alors poser la constante $\tau = \frac{Mc}{hS}$ homogène à un temps, et la résolution de l'équation (\mathcal{E}_D) différentielle linéaire d'ordre 1 à coefficients constants donne des solutions de la forme :

$$T(t) = Ae^{-t/\tau} + B$$

Il ne reste alors plus qu'à déterminer les constantes.

• Tout d'abord, pour t tendant vers l'infini, on aura $T(t \rightarrow \infty) = B = T_{\text{air}}$. Alors $B = T_{\text{air}}$.

• Ensuite, pour $t = 0$, on a $T(0) = T_i = T_{\text{air}} + A \implies \underline{A = T_i - T_{\text{air}}}$.

Alors finalement, on a la solution :

$$\boxed{T(t) = T_{\text{air}} + (T_i - T_{\text{air}})e^{-t/\tau}}$$

Avec τ une constante homogène à un temps.

4. Lecture graphique.

4.1. On a $\tau = \frac{Mc}{hS}$ le temps caractéristique d'évolution de la température. On remarque alors que plus h est grand, plus τ est faible et donc plus le régime permanent est atteint rapidement.

D'où, la valeur h_1 correspond à la courbe B tandis que la valeur h_2 correspond à la courbe A.

- 4.2. Au vu de la situation physique présentée, sachant que les échanges thermiques avec l'extérieur sont présentés comme étant grands, la courbe correspondant le mieux à la réalité est la courbe A. Et dans ce cas, on aura $\Delta T = 10\text{ K}$ après un temps $\Delta t = 30$, minutes. Ce qui est très rapide!
5. Comme, au début du réchauffement, la masse M est très grande, on aura le terme $\frac{1}{T}$ qui sera négligeable devant $\frac{dT}{dt}$ dans (\mathcal{E}_D) . Et cette équation différentielle deviendra alors, à t faible :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{\text{air}}}{\tau} = \text{cste}$$

(Remarque : la même conclusion peut être obtenue en faisant un développement limité de l'exponentielle à l'ordre 1 en 0, ce qui est physiquement parlant un peu plus joli mais un peu moins au programme.)

6. On a remarqué dans les questions précédentes que la température du LOX augmente très rapidement, surtout dans les premiers instants, ce qui risquerait de provoquer une ébullition du diazote avant même que le décollage ne commence. D'où la nécessité de charger le LOX le plus tard possible, et d'essayer de le protéger le plus possible des échanges thermiques avec l'extérieur.

* *
*