Corrigé complet — Bac S 2020 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Odeurs** Formule semi-développée · Énantiomères et représentation de Cram · Estérification · Catalyseur et facteurs cinétiques · Spectroscopie infrarouge · Rendement d'une synthèse	4 pts	45 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Saut en parachute** Équations horaires et vitesse · Champ de pesanteur · Deuxième loi de Newton · Chute libre avec vitesse initiale · Principe d'inertie · Énergie cinétique	11 pts	2 h	14 questions	p. 6
Ex 3	**Le bicarbonate de sodium** Dissolution et fiole jaugée · Diagramme de distribution · Réaction acide-base · Titrage pH-métrique · Volume molaire d'un gaz · Stœchiométrie	5 pts	55 min	9 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Du soleil en bouteille** Rendement d'une conversion d'énergie · Électrolyse de l'eau · Sens du courant et des électrons · Quantité d'électricité · Volume molaire d'un gaz · Résolution de problème	5 pts	55 min	3 questions	p. 17

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.

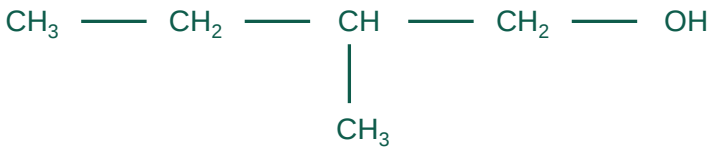
Odeurs

Bac S 2020 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 45 min**

1.1 Représenter la formule semi-développée du 2-méthylbutan-1-ol.

Chaîne principale de quatre atomes de carbone (butan-), groupe hydroxyle $-OH$ sur le carbone 1 (-1-ol), groupe méthyle $-CH_3$ sur le carbone 2 (2-méthyl).

$CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-OH$



1.1 · Formule semi-développée du 2-méthylbutan-1-ol

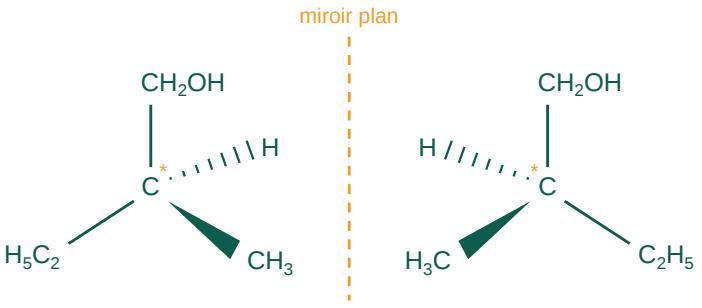
MÉTHODE
Vérifier avec la formule brute du tableau : la formule dessinée compte 5 C, 12 H et 1 O, soit $C_5H_{12}O$. La chaîne se numérote à partir du carbone qui porte $-OH$.

1.2 Représenter les deux énantiomères du 2-méthylbutan-1-ol.

Le carbone 2 est asymétrique (noté C*) : il porte quatre groupes différents, $-H$, $-CH_3$, $-C_2H_5$ et $-CH_2OH$.

On représente la molécule en représentation de Cram autour de ce carbone, puis son image dans un miroir plan.

Les deux molécules dessinées sont images l'une de l'autre dans un miroir et non superposables : ce sont les deux énantiomères.



1.2 · Les deux énantiomères en représentation de Cram, images l'un de l'autre dans un miroir

COMPRENDRE
Les notions d'énantiomérie et de carbone asymétrique, exigibles au bac S, ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de terminale.

MÉTHODE
Convention de Cram : trait plein pour une liaison dans le plan de la feuille, triangle plein pour une liaison vers l'avant, hachures pour une liaison vers l'arrière. Le second énantiomère s'obtient aussi en échangeant deux groupes.

1.3 On obtient les deux énantiomères en quantité égale. Comment s'appelle un tel mélange ? Peut-on séparer ces deux énantiomères par distillation ? Justifier.

Données utiles température d'ébullition du 2-méthylbutan-1-ol : $128{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$, la même pour les deux énantiomères

Un mélange des deux énantiomères en quantités égales est un **mélange racémique**.

La distillation sépare des espèces dont les températures d'ébullition sont différentes. Or les deux énantiomères ont les mêmes propriétés physico-chimiques, en particulier la même température d'ébullition ($128{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$).

Mélange racémique ; on ne peut pas séparer les deux énantiomères par distillation.

PIÈGE
Répondre sans justifier, ou confondre avec des diastéréoisomères, qui ont des températures d'ébullition différentes et sont, eux, séparables par distillation.

2.1.1 Nommer l'espèce A formée et préciser à quelle famille chimique elle appartient.

La molécule A possède le groupe caractéristique ester $-\mathrm{COO}-\mathrm{C}$. La chaîne issue de l'acide éthanoïque donne « éthanoate » ; le groupe $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_3}$ issu du butan-1-ol est le groupe butyle.

A est l'**éthanoate de butyle** ; elle appartient à la famille des **esters**.

MÉTHODE
Nom d'un ester : la partie qui contient $\mathrm{C{=}O}$ (issue de l'acide) prend la terminaison « -oate », puis vient le nom du groupe alkyle lié à l'oxygène (issu de l'alcool).

2.1.2 Donner la formule brute de l'espèce B formée.

On applique la conservation des éléments. Réactifs : $\mathrm{C_2H_4O_2} + \mathrm{C_4H_{10}O}$, soit 6 C, 14 H et 3 O. L'espèce A, $\mathrm{C_6H_{12}O_2}$, contient 6 C, 12 H et 2 O. Il reste 2 H et 1 O pour B.

B est l'eau, de formule brute $\mathrm{H_2O}$.

2.2.1 Identifier le réactif introduit en excès dans le mélange réactionnel. Justifier.

Données utiles $m_{\text{acide}} = 60\ \text{g}$; $m_{\text{alcool}} = 37\ \text{g}$; $M_{\text{acide}} = 60\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_{\text{alcool}} = 74\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Quantités de matière initiales, avec $n = \dfrac{m}{M}$:

$$n_{\text{acide}} = \frac{60}{60} = 1{,}0\ \text{mol} \qquad n_{\text{alcool}} = \frac{37}{74} = 0{,}50\ \text{mol}$$

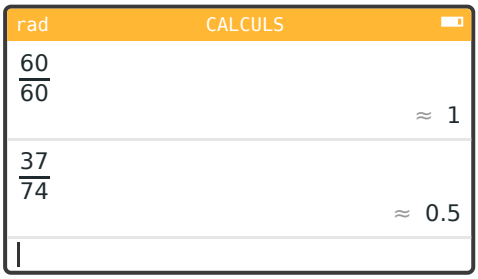
D'après l'équation, une mole d'acide réagit avec une mole d'alcool. Comme $n_{\text{acide}} > n_{\text{alcool}}$, le butan-1-ol est le réactif limitant.

L'acide éthanoïque est le réactif en excès ($1{,}0\ \text{mol}$ pour $0{,}50\ \text{mol}$ de butan-1-ol).

PIÈGE
Comparer les masses (60 g contre 37 g) au lieu des quantités de matière : la conclusion doit s'appuyer sur les quantités en moles et sur les nombres stœchiométriques.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les masses et les masses molaires données. L'excès d'un réactif déplace l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Identifier les deux étapes du protocole dont l'objectif est d'accélérer la réaction. Justifier.

Étape 2 : l'acide sulfurique n'apparaît pas dans l'équation de la réaction ; il joue le rôle de catalyseur et diminue la durée de la transformation.

Étape 3 : le chauffage à reflux élève la température du mélange ; la température est un facteur cinétique, la réaction est plus rapide à chaud.

Étape 2 (ajout d'un catalyseur) et étape 3 (chauffage : la température est un facteur cinétique).

COMPRENDRE
Le reflux condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon : on chauffe longtemps sans perte de matière. Un catalyseur accélère la réaction mais ne modifie pas l'état final.

2.2.3 Expliquer l'intérêt de l'ajout des ions hydrogénocarbonate HCO_3^- lors de l'étape 5 du protocole.

Données utiles couples $(CO_2, H_2O)(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$ et $CH_3COOH(aq)$ / $CH_3COO^-(aq)$; l'ion éthanoate est soluble dans l'eau et non soluble en solvant organique

L'acide éthanoïque, introduit en excès, est soluble en solvant organique : il en reste dans la phase organique après les lavages à l'eau.

L'ion hydrogénocarbonate est une base ; il réagit avec l'acide éthanoïque restant :

$$CH_3COOH + HCO_3^- \longrightarrow CH_3COO^- + CO_2, H_2O$$

L'ion éthanoate formé n'est pas soluble dans la phase organique : il passe dans la phase aqueuse, que l'on élimine par décantation.

L'ajout des ions HCO_3^- transforme l'acide éthanoïque restant en ions éthanoate, qui quittent la phase organique : il élimine l'acide en excès.

PIÈGE
Il se forme du dioxyde de carbone gazeux : il faut dégazer régulièrement l'ampoule à décanter, robinet vers le haut, pour éviter une surpression.

2.2.4 Une analyse par spectroscopie IR du produit de synthèse permettrait-elle de vérifier que les réactifs ont été éliminés ? Justifier.

Données utiles $O-H$ alcool : $3200 - 3700\ cm^{-1}$, forte, large ; $O-H$ acide carboxylique : $2500 - 3200\ cm^{-1}$, large ; $C=O$ ester : $1700 - 1740\ cm^{-1}$; $C=O$ acide : $1680 - 1710\ cm^{-1}$

Les deux réactifs possèdent une liaison $O-H$, que l'ester A ne possède pas. Le butan-1-ol donne une bande forte et large entre 3200 et $3700\ cm^{-1}$; l'acide éthanoïque donne une bande large entre 2500 et $3200\ cm^{-1}$.

Le spectre de l'ester pur ne présente que les bandes des liaisons $C-H$ ($2800 - 3100\ cm^{-1}$) et $C=O$ ester ($1700 - 1740\ cm^{-1}$).

Oui : l'absence de bande large entre 2500 et $3700\ cm^{-1}$ sur le spectre du produit montre que l'alcool et l'acide ont été éliminés.

PIÈGE
S'appuyer sur la bande $C=O$: les domaines de l'ester et de l'acide se recouvrent entre 1700 et $1710\ cm^{-1}$, elle ne permet pas de conclure.

2.2.5 Déterminer la valeur du rendement de cette synthèse. Commenter.

Données utiles $n_{\text{alcool}} = 0{,}50$ mol, réactif limitant (2.2.1) ; $M_A = 116$ g · mol^{-1} ; masse obtenue $m_{\text{exp}} = 40$ g

Si la transformation était totale, tout le butan-1-ol serait consommé : $n_{\text{max}} = n_{\text{alcool}} = 0{,}50$ mol.

Masse maximale d'ester : $m_{\text{max}} = n_{\text{max}} \times M_A = 0{,}50 \times 116 = 58$ g.

Rendement : $\eta = \dfrac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \dfrac{40}{58} = 0{,}69$

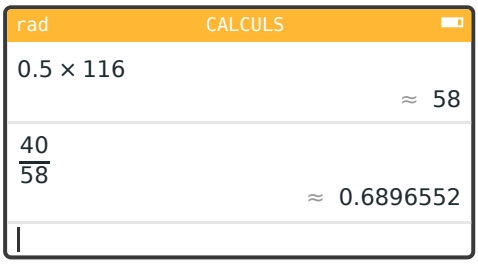
Commentaire : le rendement est inférieur à $100\ \%$. La transformation n'est pas totale (double flèche de l'équation : elle conduit à un équilibre) et une partie du produit est perdue lors des lavages, de la filtration et de la distillation.

$\eta = 0{,}69$, soit $69\ \%$: rendement inférieur à $100\ \%$ (transformation limitée et pertes lors de la purification).

PIÈGE
Calculer la masse maximale à partir de l'acide éthanoïque ($1{,}0$ mol, soit 116 g) : le rendement se calcule toujours à partir du réactif limitant.

MÉTHODE
Pour améliorer le rendement d'une estérification : mettre un réactif en excès, comme ici, ou éliminer l'un des produits au fur et à mesure de sa formation.

À LA CALCULATRICE



Saut en parachute

Bac S 2020 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 2 h**

1.1 Recopier et compléter le tableau en affectant chaque équation horaire z_a, z_b, z_c, z_d à une phase du saut, en justifiant brièvement.

Données utiles $z_a(t) = -50\,t + 4{,}0 \times 10^3$; $z_b(t) = -4{,}2\,t + 1{,}75 \times 10^3$; $z_c(t) = 6{,}1\,t + 4{,}6 \times 10^3$; $z_d(t) = 4{,}0 \times 10^3$ (t en s, z en m)

Le coefficient directeur de chaque droite est la vitesse verticale $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$.

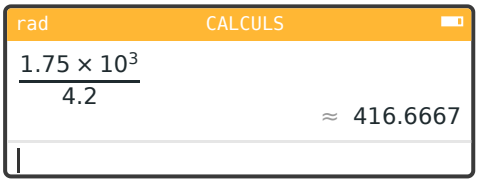
- Phase 1 (ascension) : l'altitude augmente, le coefficient directeur est positif : $z_c(t)$.
- Phase 2 (avion à l'horizontale) : l'altitude est constante : $z_d(t)$.
- Phase 3 (parachute fermé) : l'altitude diminue très vite, le coefficient directeur est négatif et le plus grand en valeur absolue : $z_a(t)$.
- Phase 4 (parachute ouvert) : l'altitude diminue lentement, le coefficient directeur est négatif et faible en valeur absolue : $z_b(t)$.

Phase 1 : z_c ; phase 2 : z_d ; phase 3 : z_a ; phase 4 : z_b.

COMPRENDRE
Vérification par les ordonnées : $z_a(0) = 4{,}0 \times 10^3$ m, altitude du saut à $t = 0$; z_b s'annule pour $t \approx 417$ s, date de l'atterrissage sur la figure 1.

MÉTHODE
Pour associer une droite à une phase, regarder d'abord le signe du coefficient directeur (montée, palier, descente), puis sa valeur absolue (descente rapide ou lente).

À LA CALCULATRICE



1.2 Montrer que la vitesse verticale maximale citée dans l'introduction est compatible avec les données de la montre connectée.

Données utiles vitesse annoncée : environ $200\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$; phase 3 : $z_a(t) = -50\,t + 4{,}0 \times 10^3$ (1.1)

La vitesse verticale est la plus grande pendant la phase 3 (parachute fermé). Elle est donnée par la dérivée de z_a :

$$v_z = \frac{\mathrm{d}z_a}{\mathrm{d}t} = -50\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

La valeur de la vitesse verticale est donc $50\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, soit $50 \times 3{,}6 = 180\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$.

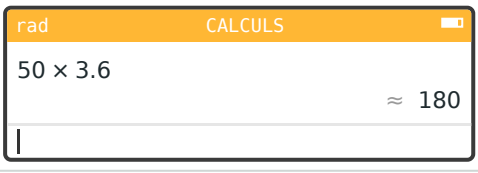
L'écart relatif avec la valeur annoncée est $\dfrac{200 - 180}{200} = 10\ \%$: c'est le même ordre de grandeur, et le texte dit « environ ».

$|v_z| = 50\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 1{,}8 \times 10^2\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$, compatible avec « environ $200\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$ ».

PIÈGE
Diviser par 3,6 au lieu de multiplier. De $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ vers $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$, on multiplie par 3,6 ; le signe « $-$ » indique seulement que le tandem descend.

COMPRENDRE
Le coefficient -50 est une vitesse moyenne sur toute la phase 3, qui inclut la mise en vitesse du début : la vitesse maximale réelle est un peu plus grande, ce qui rapproche encore de $200\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



2.1 Peut-on considérer la valeur du champ de pesanteur comme constante et égale à g_0 tout au long du saut ? Justifier.

Données utiles $g(z) = g_0\left(1 - \dfrac{2z}{R_T}\right)$; $R_T = 6{,}37 \times 10^6$ m ; altitude maximale $z = 4{,}0 \times 10^3$ m ; critère : écart inférieur à 1 %

L'écart relatif entre $g(z)$ et g_0 vaut :

$$\frac{g_0 - g(z)}{g_0} = \frac{2z}{R_T}$$

Il est le plus grand à l'altitude maximale du saut, $z = 4{,}0 \times 10^3$ m :

$$\frac{2 \times 4{,}0 \times 10^3}{6{,}37 \times 10^6} = 1{,}3 \times 10^{-3} = 0{,}13\ \%$$

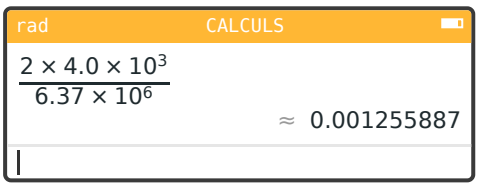
Cet écart est inférieur à 1 % ; il est encore plus petit aux altitudes inférieures.

Écart maximal $0{,}13\ \% < 1\ \%$: on peut prendre $g = g_0$ pendant tout le saut.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme l'altitude $4{,}0 \times 10^3$ m, donnée la moins précise. Dans tout l'exercice, le résultat garde le nombre de chiffres de la donnée la moins précise.

MÉTHODE
Pour tester un critère « sur tout un intervalle », se placer dans le cas le plus défavorable : ici l'altitude la plus haute. Si le critère y est vérifié, il l'est partout.

À LA CALCULATRICE



2.2 Montrer que les coordonnées du vecteur accélération du système sont $a_x(t) = 0$ et $a_z(t) = -g_0$.

Système {tandem}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Modèle de la chute libre : la seule force exercée est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}_0$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g}_0 = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}_0$.

Le champ de pesanteur est vertical, vers le bas, de valeur g_0 : $\vec{g}_0 = -g_0\,\vec{k}$.

$a_x(t) = 0$ et $a_z(t) = -g_0$

PIÈGE
Oublier le système, le référentiel galiléen ou le bilan des forces : chacun rapporte des points. Le signe « $-$ » vient de l'axe (Oz) orienté vers le haut.

2.3 Établir que les équations horaires du mouvement s'écrivent $x(t) = v_0\,t$ et $z(t) = -g_0\,\dfrac{t^2}{2} + h_0$.

Données utiles à $t = 0$: position $(0\,;\ h_0)$, vitesse $\vec{v}_0$ horizontale de valeur v_0

$\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$: on cherche les primitives de $a_x = 0$ et $a_z = -g_0$.

$v_x(t) = C_1$ et $v_z(t) = -g_0\,t + C_2$

À $t = 0$, $\vec{v}_0$ est horizontal : $v_x(0) = v_0$ et $v_z(0) = 0$, donc $C_1 = v_0$ et $C_2 = 0$.

$v_x(t) = v_0$ et $v_z(t) = -g_0\,t$

$\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$: on cherche de nouveau les primitives.

$x(t) = v_0\,t + C_3$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g_0\,t^2 + C_4$

À $t = 0$, le tandem est à la verticale de O, à l'altitude h_0 : $x(0) = 0$ et $z(0) = h_0$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = h_0$.

$$\boxed{x(t) = v_0\,t \text{ et } z(t) = -g_0\,\frac{t^2}{2} + h_0}$$

PIÈGE
Écrire directement le résultat donné par l'énoncé : « établir » exige les deux étapes et la justification de chaque constante.

MÉTHODE
Deux intégrations successives, et après chacune les constantes fixées par les conditions initiales : vitesse initiale pour la première, position initiale pour la seconde.

2.4 En déduire que l'équation de la trajectoire s'écrit $z(x) = -g_0\,\dfrac{x^2}{2\,v_0^2} + h_0$.

On élimine le temps : $x = v_0\,t$ donne $t = \dfrac{x}{v_0}$.

On remplace dans $z(t)$:

$$z = -\frac{g_0}{2}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 + h_0$$

$$\boxed{z(x) = -g_0\,\frac{x^2}{2\,v_0^2} + h_0}$$

COMPRENDRE
La trajectoire est un arc de parabole de sommet $(0\,;\ h_0)$: c'est bien l'allure de la courbe de la figure 2.

2.5 Le tandem ouvre son parachute à l'altitude $z = 1\,500$ m. Montrer que, dans le cadre de ce modèle, cette ouverture s'effectue au-dessus de la piste.

Données utiles $v_0 = 33\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $h_0 = 4\,000$ m ; $g_0 = 9{,}81\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$; la piste débute en O et mesure 1 km

On cherche l'abscisse x du point d'altitude $z = 1\,500$ m. D'après l'équation de la trajectoire :

$$g_0\,\frac{x^2}{2\,v_0^2} = h_0 - z \quad \text{donc} \quad x = v_0\sqrt{\frac{2\,(h_0 - z)}{g_0}}$$

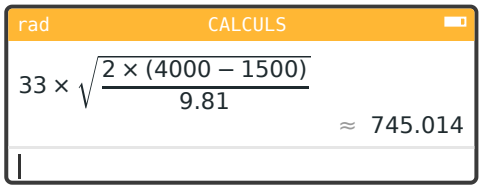
$$x = 33 \times \sqrt{\frac{2 \times (4\,000 - 1\,500)}{9{,}81}} = 7{,}5 \times 10^2\ \mathrm{m}$$

La piste s'étend de $x = 0$ à $x = 1\,000$ m, et $0 < 7{,}5 \times 10^2\ \mathrm{m} < 1\,000$ m.

$x = 7{,}5 \times 10^2$ m, inférieur à 1 km : l'ouverture a lieu au-dessus de la piste.

PIÈGE
Remplacer z par 0 (arrivée au sol) ou oublier la racine carrée. On ne garde que la solution positive : le tandem part dans le sens de $\vec{v}_0$.

À LA CALCULATRICE



2.6 Calculer, dans le cadre de ce modèle, la durée de la phase 3 et la comparer à celle déduite de la figure 1. Conclure sur la pertinence du modèle de la chute libre.

Données utiles $h_0 = 4\,000$ m ; ouverture à $z = 1\,500$ m ; $g_0 = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

La phase 3 se termine à la date t_3 telle que $z(t_3) = 1\,500$ m :

$$-g_0\,\frac{t_3^2}{2} + h_0 = z \quad \text{donc} \quad t_3 = \sqrt{\frac{2\,(h_0 - z)}{g_0}}$$

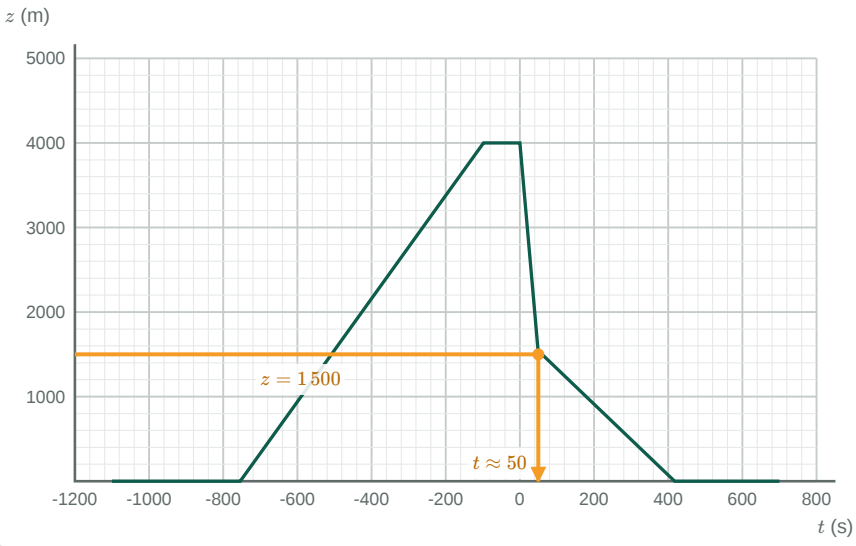
$$t_3 = \sqrt{\frac{2 \times (4\,000 - 1\,500)}{9{,}81}} = 23\ \text{s}$$

Sur la figure 1, la phase 3 commence à $t = 0$ et se termine à la rupture de pente, à l'altitude $1\,500$ m, soit à $t \approx 50$ s (valeur aussi citée dans le texte d'introduction).

La durée réelle est environ deux fois plus grande que celle du modèle. De plus, en chute libre, la vitesse verticale atteindrait $g_0\,t_3 = 9{,}81 \times 22{,}6 = 2{,}2 \times 10^2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit environ $800\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, très au-dessus des $200\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ mesurés.

L'action de l'air sur le tandem n'est donc pas négligeable devant le poids.

Modèle : $t_3 = 23$ s ; figure 1 : environ 50 s. Le modèle de la chute libre n'est pas pertinent pour la phase 3.



2.6 · Figure 1 schématisée par les quatre modèles affines, avec la lecture de la fin de la phase 3

COMPRENDRE

Autre indice : sur la figure 1, la phase 3 est presque une droite (vitesse constante), alors qu'une chute libre donnerait un arc de parabole pour $z(t)$.

MÉTHODE

Vérification rapide : $t_3 = \dfrac{x}{v_0} = \dfrac{745}{33}$ redonne 23 s avec le résultat de la question 2.5.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{\dfrac{2 \times (4000 - 1500)}{9.81}} \approx 22.57618$

$9.81 \times 22.6 \approx 221.706$

$221.706 \times 3.6 \approx 798.1416$

3.1 Associer chacun des schémas a et b à un instant de la chute (juste après l'ouverture ; quelques secondes après l'ouverture). Justifier à partir des données expérimentales de la partie 1.

D'après la partie 1, la valeur de la vitesse verticale passe de $50\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (phase 3) à $4{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (phase 4), puis reste constante.

Juste après l'ouverture, le tandem descend en ralentissant : le vecteur accélération est vertical vers le haut. D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{P}+\vec{F}_f = m\,\vec{a}$ est aussi vers le haut, donc $F_f > P$: c'est le schéma b.

Quelques secondes après, le mouvement est rectiligne uniforme. D'après le principe d'inertie, $\vec{P}+\vec{F}_f = \vec{0}$, donc $F_f = P$: c'est le schéma a, celui où $\vec{F}_f$ est la moins longue.

Schéma b : juste après l'ouverture ($F_f > P$) ; schéma a : quelques secondes après ($F_f = P$).

PIÈGE
Croire que $F_f > P$ fait remonter le tandem. Il continue de descendre, mais de moins en moins vite : la somme des forces donne le sens de l'accélération, pas celui de la vitesse.

COMPRENDRE
Les schémas sont « sans souci d'échelle » : seule compte la comparaison entre les deux, la force $\vec{F}_f$ étant nettement plus longue sur le schéma b.

3.2 Estimer la valeur de la vitesse verticale du tandem à partir des données expérimentales de la partie 1.

Données utiles phase 4 : $z_b(t) = -4{,}2\,t + 1{,}75\times10^3$ (1.1)

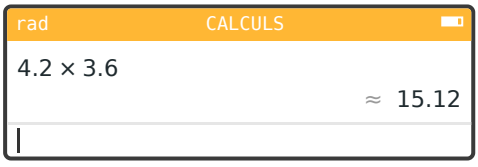
La phase 4 est modélisée par $z_b(t)$. La coordonnée verticale de la vitesse est sa dérivée :

$$v_z = \frac{\mathrm{d}z_b}{\mathrm{d}t} = -4{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v_z = -4{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: le tandem descend à $4{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (environ $15\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$).

COMPRENDRE
Contrôle sur la figure 1 : de $1\,500$ m à $t \approx 50$ s jusqu'au sol à $t \approx 420$ s, soit $1\,500 \div 370 \approx 4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. L'ordre de grandeur est le même.

À LA CALCULATRICE



3.3 Déterminer la valeur F_f de la norme de la force qui modélise l'action de l'air sur le système {tandem}.

Données utiles $m = 200$ kg ; $g_0 = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Système {tandem} dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
Forces : le poids $\vec{P}$ et l'action de l'air $\vec{F}_f$.

Le mouvement est rectiligne uniforme. D'après le principe d'inertie (première loi de Newton) : $\vec{P}+\vec{F}_f = \vec{0}$.

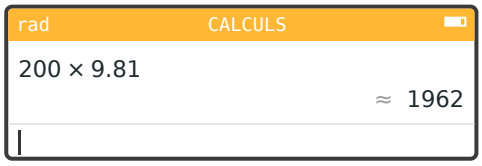
Les deux forces ont donc la même norme :

$$F_f = P = m\,g_0 = 200\times9{,}81 = 1{,}96\times10^3\ \text{N}$$

$F_f = 1{,}96\times10^3$ N

COMPRENDRE
Vitesse constante ne veut pas dire absence de force : les forces se compensent. C'est la deuxième loi de Newton avec $\vec{a} = \vec{0}$.

À LA CALCULATRICE



3.4 Avec $F_f = k\,v_z^2$, montrer que la constante k vaut $1{,}1 \times 10^2$ S.I. et préciser son unité.

Données utiles $F_f = 1{,}96 \times 10^3$ N (3.3) ; $v_z = -4{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (3.2)

$$k = \frac{F_f}{v_z^2} = \frac{1{,}96 \times 10^3}{4{,}2^2} = 1{,}1 \times 10^2 \text{ S.I.}$$

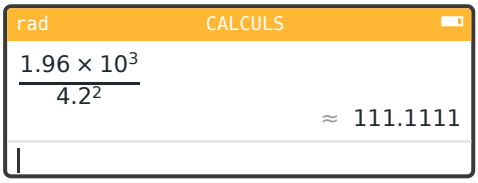
Unité : k est une force divisée par le carré d'une vitesse, donc en $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^2$.

Comme $1\ \text{N} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$: $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$.

$k = 1{,}1 \times 10^2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ (ou $\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), valeur attendue : $1{,}1 \times 10^2$ S.I.

MÉTHODE
Pour l'unité d'une constante, isoler la constante dans la relation puis remplacer chaque grandeur par son unité. Le newton se décompose avec $P = m\,g$: $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

À LA CALCULATRICE



3.5 Calculer la valeur de l'énergie cinétique du tandem avant l'arrivée au sol.

Données utiles $m = 200$ kg ; $v_z = -4{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (3.2)

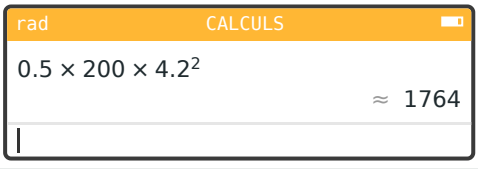
La trajectoire est verticale : la valeur de la vitesse est $v = |v_z| = 4{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$E_c = \frac{1}{2} m\,v^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times 4{,}2^2 = 1{,}8 \times 10^3\ \text{J}$$

$E_c = 1{,}8 \times 10^3$ J

PIÈGE
Oublier le carré ou le facteur $\frac{1}{2}$. La masse est en kg et la vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour obtenir des joules.

À LA CALCULATRICE



3.6 Avec le parachute de secours ($k_S = \dfrac{k}{2}$), déterminer la vitesse verticale v_{zS} et l'énergie cinétique du tandem avant l'arrivée au sol. Commenter.

Données utiles $v_z = -4{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (3.2) ; $E_c = 1{,}8 \times 10^3$ J (3.5) ; $m = 200$ kg ; $g_0 = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

À vitesse constante, l'action de l'air compense encore le poids : $k_S\, v_{zS}^2 = m\, g_0$. Avec le parachute principal : $k\, v_z^2 = m\, g_0$.

Donc $\dfrac{k}{2}\, v_{zS}^2 = k\, v_z^2$, soit $v_{zS}^2 = 2\, v_z^2$:

$|v_{zS}| = \sqrt{2} \times |v_z| = \sqrt{2} \times 4{,}2 = 5{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Énergie cinétique : $E_{cS} = \dfrac{1}{2}\, m\, v_{zS}^2 = \dfrac{1}{2}\, m \times 2\, v_z^2 = 2\, E_c$

$E_{cS} = 200 \times 4{,}2^2 = 3{,}5 \times 10^3$ J

Commentaire : avec le parachute de secours, la vitesse à l'arrivée est multipliée par $\sqrt{2} \approx 1{,}4$ et l'énergie cinétique à dissiper au contact du sol est doublée. L'atterrissage est plus brutal, mais la vitesse reste modérée (environ $21\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) : le parachute de secours remplit son rôle.

$v_{zS} = -5{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (valeur $5{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et $E_{cS} = 3{,}5 \times 10^3$ J, le double de E_c.

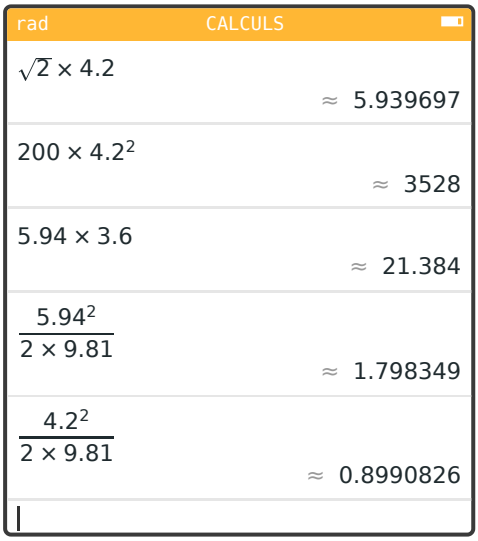
PIÈGE

Diviser la vitesse par 2 ou la multiplier par 2. La force dépend de v_z^2 : diviser k par 2 multiplie v_z^2 par 2, donc la vitesse par $\sqrt{2}$ seulement.

COMPRENDRE

Pour se représenter ces chocs : $5{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ est la vitesse atteinte après une chute libre de $h = \dfrac{v^2}{2\, g_0} \approx 1{,}8$ m, contre $0{,}90$ m avec le parachute principal.

À LA CALCULATRICE



Le bicarbonate de sodium

Bac S 2020 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Décrire précisément le protocole de préparation de la solution S_0, en précisant le matériel utilisé.

Données utiles $m_0 = 10{,}0$ g de poudre ; $V_0 = 1{,}00$ L de solution

Il s'agit d'une dissolution.

- Poser une coupelle sur une balance de précision, faire la tare, puis peser $10{,}0$ g de poudre avec une spatule.
- Verser la poudre, à l'aide d'un entonnoir, dans une fiole jaugée de $1{,}00$ L ; rincer la coupelle et l'entonnoir à l'eau distillée en récupérant l'eau de rinçage dans la fiole.
- Remplir la fiole aux trois quarts environ d'eau distillée, boucher, agiter jusqu'à dissolution complète du solide.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque sur le trait), en terminant à la pipette simple.
- Boucher et retourner la fiole plusieurs fois pour homogénéiser.

Dissolution de $10{,}0$ g de poudre dans une fiole jaugée de $1{,}00$ L, complétée au trait de jauge puis homogénéisée.

PIÈGE
Citer un bécher ou une éprouvette graduée : seule la fiole jaugée garantit le volume de $1{,}00$ L. Oublier le rinçage de la coupelle, c'est perdre une partie du solide pesé.

1.2 Justifier que l'ion HCO_3^- est l'espèce prédominante au début du titrage. Préciser l'espèce prédominante en fin de titrage.

Données utiles figure 1 : $\text{pH} \approx 8{,}2$ pour $V_{\text{acide}} = 0$ mL et $\text{pH} \approx 1{,}7$ pour $V_{\text{acide}} = 20$ mL ; diagramme de distribution

Au début du titrage ($V_{\text{acide}} = 0$ mL), la figure 1 donne $\text{pH} \approx 8{,}2$. Sur le diagramme de distribution, à ce pH, la courbe de HCO_3^- passe par son maximum (proche de $100\ \%$) tandis que celles de (CO_2, H_2O) et de CO_3^{2-} sont voisines de $0\ \%$: l'ion bicarbonate est bien l'espèce prédominante.

En fin de titrage ($V_{\text{acide}} = 20$ mL), $\text{pH} \approx 1{,}7$. Le diagramme, qui commence à $\text{pH} = 2$, montre que pour un pH inférieur à 4 l'espèce (CO_2, H_2O) est présente à près de $100\ \%$.

Début : HCO_3^- prédomine ($\text{pH} \approx 8{,}2$). Fin : (CO_2, H_2O) prédomine ($\text{pH} \approx 1{,}7$).

MÉTHODE
Pour toute question de prédominance : 1) lire le pH de la solution ; 2) reporter ce pH sur le diagramme de distribution ; 3) nommer l'espèce dont le pourcentage est le plus élevé.

1.3 En déduire l'équation de la réaction support du titrage entre les ions HCO_3^- et les ions H_3O^+.

Données utiles couples $(CO_2, H_2O)\,(aq)$ / $HCO_3^-\,(aq)$ et $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(l)$

Au cours du titrage, HCO_3^- se transforme en (CO_2, H_2O) (question 1.2) : l'ion bicarbonate joue le rôle de base et capte l'ion H^+ cédé par l'acide H_3O^+.

$$HCO_3^-\,(aq) + H^+ = (CO_2, H_2O)\,(aq)$$

$$H_3O^+\,(aq) = H_2O\,(l) + H^+$$

$$HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow (CO_2, H_2O)\,(aq) + H_2O\,(l)$$

PIÈGE
L'ion HCO_3^- est amphotère. Face à un acide, il réagit comme base : écrire CO_3^{2-} dans les produits revient à choisir le mauvais couple.

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage est totale et rapide : on l'écrit avec une flèche simple, pas avec une double flèche.

1.4 Définir l'équivalence d'un titrage et expliquer pourquoi l'ajout d'eau dans le bécher ne change pas le volume versé à l'équivalence.

L'équivalence est l'état du système pour lequel le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support : ils sont alors tous deux entièrement consommés.

Ici, à l'équivalence : $n_i(\mathrm{HCO_3^-}) = n_E(\mathrm{H_3O^+}) = C_A \times V_E$.

Ajouter de l'eau dilue la solution du bécher mais n'apporte ni ne retire aucun ion $\mathrm{HCO_3^-}$: la quantité de matière $n_i(\mathrm{HCO_3^-})$ à titrer est inchangée. Il faut donc verser la même quantité d'ions $\mathrm{H_3O^+}$, soit le même volume V_E.

L'eau ajoutée modifie la concentration dans le bécher, pas la quantité de matière titrée : V_E est inchangé.

PIÈGE
Confondre concentration et quantité de matière. La dilution divise la concentration, mais $n = C \times V$ reste constant ; c'est n qui fixe V_E.

1.5 Déterminer le volume V_E d'acide chlorhydrique versé à l'équivalence. En déduire le degré de pureté du bicarbonate de sodium alimentaire.

Données utiles $C_A = 2{,}00 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; prise d'essai $V_p = 20{,}0\ \mathrm{mL}$; $V_0 = 1{,}00\ \mathrm{L}$; $m_0 = 10{,}0\ \mathrm{g}$; $M(\mathrm{NaHCO_3}) = 84{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Volume équivalent. L'équivalence correspond au saut de pH, donc au maximum de la courbe dérivée $\frac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V}$. Ce maximum se situe entre les points d'abscisses $11{,}5$ mL et $12{,}0$ mL : $V_E \approx 11{,}7$ mL.

Quantité titrée. À l'équivalence, d'après l'équation de la question 1.3 (nombres stœchiométriques égaux à 1) :

$$n_p(\mathrm{HCO_3^-}) = C_A \times V_E = 2{,}00 \times 10^{-1} \times 11{,}7 \times 10^{-3} = 2{,}34 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Passage à la solution S_0. La prise d'essai de $20{,}0$ mL provient de $1{,}00$ L de solution :

$$n_0(\mathrm{HCO_3^-}) = n_p \times \frac{V_0}{V_p} = 2{,}34 \times 10^{-3} \times \frac{1{,}00}{20{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}117\ \mathrm{mol}$$

Masse de bicarbonate de sodium. La dissolution $\mathrm{NaHCO_3\,(s) \longrightarrow Na^+\,(aq) + HCO_3^-\,(aq)}$ libère un ion $\mathrm{HCO_3^-}$ par $\mathrm{NaHCO_3}$, donc $n(\mathrm{NaHCO_3}) = n_0(\mathrm{HCO_3^-})$:

$$m(\mathrm{NaHCO_3}) = n_0 \times M = 0{,}117 \times 84{,}0 = 9{,}83\ \mathrm{g}$$

Degré de pureté.

$$\frac{m(\mathrm{NaHCO_3})}{m_0} = \frac{9{,}83}{10{,}0} = 0{,}983$$

La poudre alimentaire est du bicarbonate de sodium presque pur.

$V_E \approx 11{,}7$ mL ; degré de pureté $= 0{,}983$, soit $98{,}3\ \%$

PIÈGE
Calculer la masse à partir de n_p sans multiplier par 50 : on n'a titré que $20{,}0$ mL sur les $1{,}00$ L de S_0. Penser aussi à convertir V_E en litres.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat aussi. La lecture graphique de V_E reste incertaine : toute valeur entre $11{,}5$ et $12{,}0$ mL est recevable et donne une pureté comprise entre $97\ \%$ et $101\ \%$.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer les étapes (volume équivalent, quantité titrée, quantité dans la solution mère, masse, pureté), écrire chaque relation littérale avant le calcul, conclure par une phrase.

À LA CALCULATRICE

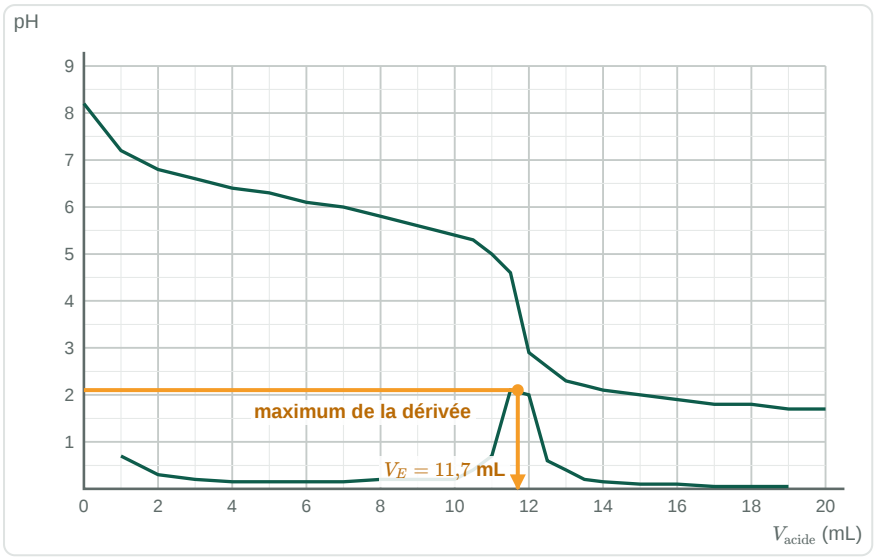
rad CALCULS

$2.00 \times 10^{-1} \times 11.7 \times 10^{-3} \approx 0.00234$

$\frac{2.34 \times 10^{-3} \times 1.00}{20.0 \times 10^{-3}} \approx 0.117$

$0.117 \times 84.0 \approx 9.828$

$\frac{9.828}{10.0} \approx 0.9828$



1.5 · Figure 1 du sujet : pH (courbe du haut) et dérivée (courbe du bas), avec la lecture de V_E

2.1 Montrer que la quantité de matière de dioxyde de carbone récupérée est égale à $1{,}19 \times 10^{-2}$ mol.

Données utiles $V = 286$ mL ; $V_m = 24{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ à 20 °C et à pression atmosphérique

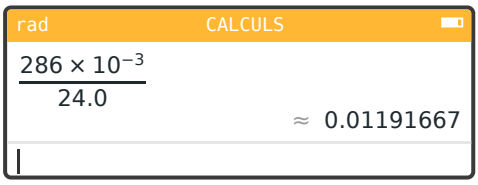
Le volume de gaz est mesuré à 20 °C et à pression atmosphérique, conditions pour lesquelles le volume molaire est donné :

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{286 \times 10^{-3}}{24{,}0} = 1{,}19 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$n(\text{CO}_2) = 1{,}19 \times 10^{-2}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser V en millilitres alors que V_m est en litres par mole : le résultat serait mille fois trop grand.

À LA CALCULATRICE



2.2 Identifier, parmi les équations (1) et (2), celle qui modélise la décomposition thermique du bicarbonate de sodium.

Données utiles $m = 2{,}0$ g ; $M(\text{NaHCO}_3) = 84{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n(\text{CO}_2) = 1{,}19 \times 10^{-2}$ mol (question 2.1)

Les deux équations diffèrent par la quantité de CO_2 formée pour 2 mol de NaHCO_3 : 2 mol d'après (1), 1 mol d'après (2). On compare donc la quantité de réactif décomposée à la quantité de gaz obtenue.

Quantité de bicarbonate de sodium chauffée :

$$n(\text{NaHCO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{2{,}0}{84{,}0} = 2{,}4 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

La décomposition étant totale :

$$\frac{n(\text{NaHCO}_3)}{n(\text{CO}_2)} = \frac{2{,}4 \times 10^{-2}}{1{,}19 \times 10^{-2}} = 2{,}0$$

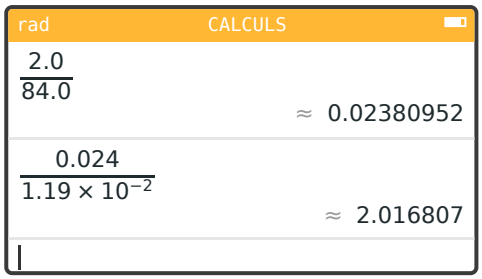
Il se forme une mole de CO_2 pour deux moles de NaHCO_3 décomposées. L'équation (1) prévoirait un rapport égal à 1, soit $2{,}4 \times 10^{-2}$ mol de gaz.

La décomposition est modélisée par l'équation (2) :
$2\,\text{NaHCO}_3\,(\text{s}) \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3\,(\text{s}) + \text{CO}_2\,(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{g})$

COMPRENDRE
La masse $m = 2{,}0$ g n'a que deux chiffres significatifs : $n(\text{NaHCO}_3)$ et le rapport s'écrivent avec deux chiffres.

MÉTHODE
Pour trancher entre deux équations, calculer avec chacune la quantité de produit attendue, ou le rapport réactif/produit, puis comparer à la mesure.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Indiquer la conséquence de l'ajout de bicarbonate de sodium dans une pâte à gâteau lors de la cuisson.

Pendant la cuisson, la température de la pâte dépasse $50\ °C$: le bicarbonate de sodium se décompose et libère du dioxyde de carbone gazeux (et de la vapeur d'eau). Les bulles de gaz, emprisonnées dans la pâte, augmentent son volume.

Le gaz formé fait gonfler la pâte : le bicarbonate de sodium joue le rôle de levure chimique.

2.3.2 Expliquer comment le bicarbonate de sodium éjecté par un extincteur permet d'éteindre un feu au sol.

Données utiles la masse volumique de l'air est inférieure à celle du dioxyde de carbone gazeux

Au contact du feu, la poudre est portée à plus de $50\ °C$: elle se décompose en produisant du dioxyde de carbone gazeux.

Ce gaz, de masse volumique supérieure à celle de l'air, ne s'élève pas : il reste au niveau du sol et recouvre le foyer en chassant l'air.

Le combustible n'est alors plus en contact avec le dioxygène de l'air : privée de comburant, la combustion s'arrête.

Le CO_2 formé, plus dense que l'air, stagne au sol et isole le combustible du dioxygène : le feu est étouffé.

COMPRENDRE

Une combustion exige un combustible, un comburant et une température suffisante. Supprimer l'un des trois suffit à l'arrêter ; ici, c'est le comburant qui est écarté.

Spécialité : Du soleil en bouteille

Bac S 2020 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Montrer que l'énergie électrique reçue quotidiennement par l'électrolyseur est d'environ $E_{\text{électrolyseur}} = 2{,}0$ GJ.

Données utiles énergie solaire reçue par jour : 15 MJ par m² ; $S = 3\,700\ \text{m}^2$; rendement des panneaux : $12\,\%$; part reçue par l'électrolyseur : $30\,\%$

Énergie solaire reçue en un jour par les panneaux : $E_{\text{sol}} = 15 \times 10^6 \times 3\,700 = 5{,}55 \times 10^{10}$ J.

Les panneaux en convertissent $12\,\%$ en énergie électrique, et l'électrolyseur reçoit $30\,\%$ de cette énergie électrique :

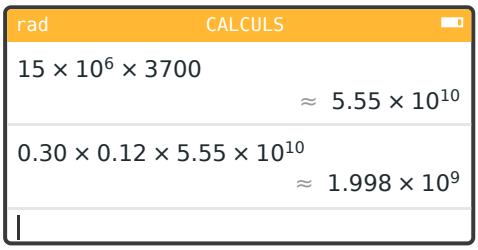
$$E_{\text{électrolyseur}} = 0{,}30 \times 0{,}12 \times E_{\text{sol}} = 0{,}30 \times 0{,}12 \times 5{,}55 \times 10^{10}$$

$E_{\text{électrolyseur}} = 2{,}0 \times 10^9$ J $= 2{,}0$ GJ par jour, la valeur attendue.

PIÈGE
Deux pourcentages s'enchaînent : $12\,\%$ (rendement) puis $30\,\%$ (part de l'électrolyseur). Appliquer $70\,\%$, la part du réseau, donne $4{,}7$ GJ.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs (15 MJ, $12\,\%$, $30\,\%$) : le résultat $1{,}998 \times 10^9$ J s'écrit $2{,}0 \times 10^9$ J. Rappel : $1\ \text{MJ} = 10^6$ J et $1\ \text{GJ} = 10^9$ J.

À LA CALCULATRICE



2 Établir le sens de circulation des électrons et du courant entre le panneau photovoltaïque et la cellule d'électrolyse. En déduire l'électrode reliée à la borne positive du panneau.

Données utiles électrode 1 : $2\,H_2O\,(l) \longrightarrow O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-$; électrode 2 : $2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- \longrightarrow H_2\,(g)$

À l'électrode 1, la réaction libère des électrons (oxydation de l'eau) : les électrons quittent l'électrode 1 par le fil et vont vers le panneau.

À l'électrode 2, la réaction consomme des électrons (réduction des ions H^+) : les électrons arrivent du panneau par le fil.

Dans les fils, les électrons circulent donc de l'électrode 1 vers l'électrode 2, en passant par le panneau.

Le courant a le sens inverse de celui des électrons : dans les fils, il va de l'électrode 2 vers l'électrode 1 en passant par le panneau. Il sort donc du panneau du côté de l'électrode 1.

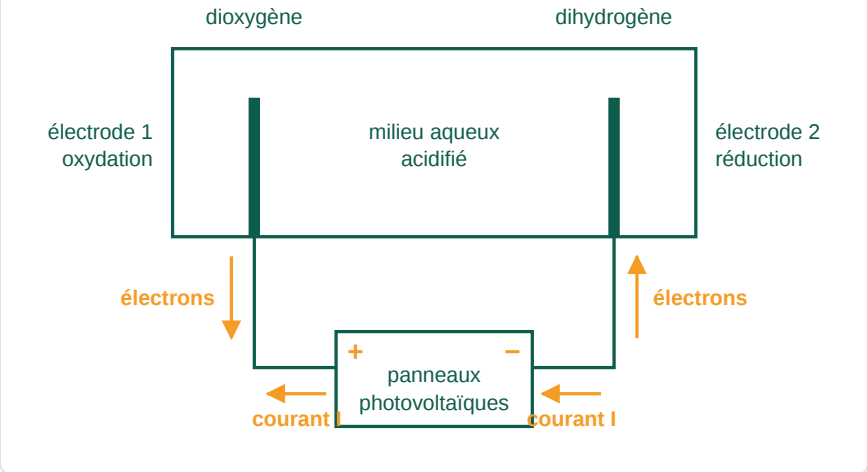
Or, à l'extérieur d'un générateur, le courant sort par la borne positive.

La borne positive du panneau est reliée à l'**électrode 1** (les électrons vont de l'électrode 1 vers le panneau, le courant du panneau vers l'électrode 1).

PIÈGE
Raisonner comme pour une pile. Dans un électrolyseur, la transformation est forcée par le générateur : l'électrode où a lieu l'oxydation (anode) est reliée à la borne positive.

COMPRENDRE
Dans la solution, aucun électron ne circule : le courant y est assuré par les ions. Le sens demandé concerne seulement les fils et le panneau.

MÉTHODE
Lire les demi-équations : des électrons à droite de la flèche, ils sont libérés et quittent l'électrode ; à gauche, ils sont consommés et y arrivent. Le courant a toujours le sens opposé.



2 · Sens des électrons et du courant dans les fils

P Problème. Estimer la durée nécessaire pour remplir complètement, avec du dihydrogène, une citerne initialement vide pouvant stocker l'équivalent de $1\,400\ \text{m}^3$ de dihydrogène à $20\ ^\circ\text{C}$ sous $1{,}013 \times 10^5$ Pa.

Données utiles $V = 1\,400\ \text{m}^3$; $V_m = 24{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; charge d'une mole d'électrons : $96\,500$ C ; $U = 2{,}0$ V ; $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$; $P = U\,I$; $E_{\text{électrolyseur}} = 2{,}0 \times 10^9$ J par jour (question 1)

Démarche. On calcule l'énergie électrique nécessaire pour produire tout le dihydrogène de la citerne, puis on la compare à l'énergie reçue chaque jour par l'électrolyseur.

1. Quantité de dihydrogène à produire. Le volume est donné dans les conditions où $V_m = 24{,}0\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$, avec $V = 1\,400\ \text{m}^3 = 1{,}400 \times 10^6$ L :

$$n(\text{H}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{1{,}400 \times 10^6}{24{,}0} = 5{,}83 \times 10^4\ \text{mol}$$

2. Quantité d'électrons. D'après $2\,\text{H}^+\,(\text{aq}) + 2\,\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2\,(\text{g})$, il faut deux moles d'électrons par mole de dihydrogène :

$$n(\text{e}^-) = 2\,n(\text{H}_2) = 1{,}17 \times 10^5\ \text{mol}$$

3. Charge électrique. Une mole d'électrons porte $96\,500$ C :

$$Q = n(\text{e}^-) \times 96\,500 = 1{,}126 \times 10^{10}\ \text{C}$$

4. Énergie électrique nécessaire. $E = P\,\Delta t = U\,I\,\Delta t$ et $I\,\Delta t = Q$, donc

$$E = U\,Q = 2{,}0 \times 1{,}126 \times 10^{10} = 2{,}25 \times 10^{10}\ \text{J}$$

5. Durée. L'électrolyseur reçoit $2{,}0 \times 10^9$ J par jour :

$$\Delta t = \frac{E}{E_{\text{électrolyseur}}} = \frac{2{,}25 \times 10^{10}}{2{,}0 \times 10^9} \approx 11\ \text{jours}$$

Regard critique. Ce résultat est cohérent avec le texte, qui annonce un remplissage « en quelques jours ». On a supposé un ensoleillement moyen chaque jour et une électrolyse sans perte (toute la charge sert à produire du dihydrogène) : la durée réelle est un peu plus longue.

Il faut environ $\Delta t \approx 11$ jours pour remplir la citerne.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 entre électrons et dihydrogène (on trouve alors 5,6 jours), ou laisser le volume en m³ alors que le volume molaire est en litres par mole.

COMPRENDRE
Vérification par un autre chemin : en un jour, $Q = \dfrac{E}{U} = 1{,}0 \times 10^9$ C, soit $5{,}2 \times 10^3$ mol de dihydrogène, donc $124\ \text{m}^3$ par jour ; $1\,400 \div 124 \approx 11$ jours.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer la démarche, numéroter les étapes, donner chaque relation littérale avant le calcul, puis critiquer le résultat et les hypothèses. La démarche est notée même si le calcul n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE

