Corrigé complet — Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1

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

Ex 1	**Ingenuity, le premier hélicoptère à voler sur Mars** Gaz parfait et masse volumique · Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale · Décharge d'un condensateur · Temps caractéristique · Capacité d'un condensateur plan	10 pts	1 h 45	18 questions	p. 2
Ex 2	**Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium** Réaction acide-base · Diagramme de prédominance · Tableau d'avancement · Taux d'avancement final · Facteurs cinétiques et chauffage à reflux · Rendement d'une synthèse	5 pts	53 min	11 questions	p. 8
Ex 3	**Qualité des eaux souterraines sur le littoral** Dissolution d'un solide ionique · Concentration en masse · Titrage conductimétrique · Équivalence · Programmation Python	5 pts	53 min	7 questions	p. 12
Ex 4	**La pile au méthanol** Pile et oxydoréduction · Anode, cathode et polarité · Porteurs de charge · Réactif limitant · Volume molaire d'un gaz · Capacité électrique d'une pile	5 pts	53 min	10 questions	p. 15

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.

Ingenuity, le premier hélicoptère à voler sur Mars

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

A.1 En supposant que l'air est un gaz parfait, montrer que la masse volumique de l'air sur Terre vérifie $\rho_{Terre} = \dfrac{PM}{RT}$.

Pour un volume V d'air de masse m contenant une quantité de matière n : $\rho_{Terre} = \dfrac{m}{V}$ et $m = n\,M$.

L'équation d'état du gaz parfait $PV = nRT$ donne $\dfrac{n}{V} = \dfrac{P}{RT}$.

Donc $\rho_{Terre} = \dfrac{n\,M}{V} = M \times \dfrac{P}{RT}$.

$$\boxed{\rho_{Terre} = \frac{PM}{RT}}$$

MÉTHODE

Pour un « montrer que », partir de la définition de la grandeur cherchée ($\rho = m/V$), puis remplacer une à une les grandeurs absentes de la formule finale (m, puis n/V).

A.2 Calculer la valeur de ρ_{Terre} pour une température de l'air de 15 °C.

Données utiles $P = 1{,}013 \times 10^5$ Pa ; $M = 29{,}0 \times 10^{-3}$ kg · mol^{-1} ; $R = 8{,}314$ J · K^{-1} · mol^{-1} ; $T(\text{K}) = T(^\circ\text{C}) + 273{,}15$

Température absolue : $T = 15 + 273{,}15 = 288{,}15$ K.

$$\rho_{Terre} = \frac{PM}{RT} = \frac{1{,}013 \times 10^5 \times 29{,}0 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times 288{,}15}$$

$$\boxed{\rho_{Terre} = 1{,}23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

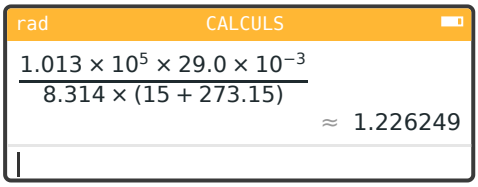
PIÈGE

Laisser la température en degrés Celsius : la loi des gaz parfaits exige des kelvins. Avec M en kg · mol^{-1} et P en pascals, le résultat sort directement en kg · m^{-3}.

COMPRENDRE

Chiffres significatifs : la donnée la moins précise, M, en compte trois ; le résultat s'écrit donc avec trois chiffres. L'affichage 1,2262… s'arrondit à 1,23 et non à 1,22.

À LA CALCULATRICE



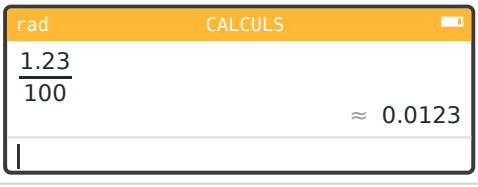
A.3 En déduire la valeur de la masse volumique de l'atmosphère sur Mars ρ_{Mars} à la température de 15 °C.

Données utiles ρ_{Mars} égale à 1 % de ρ_{Terre} ; $\rho_{Terre} = 1{,}23$ kg · m^{-3} (A.2)

$$\rho_{Mars} = \frac{1}{100} \times \rho_{Terre} = \frac{1{,}23}{100}$$

$$\boxed{\rho_{Mars} = 1{,}23 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

À LA CALCULATRICE



A.4 Sachant que la portance est proportionnelle à la masse volumique de l'atmosphère, expliquer pourquoi faire voler un hélicoptère sur Mars est un « défi technologique ».

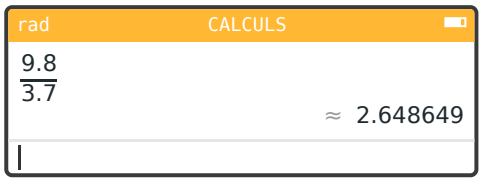
La portance est proportionnelle à la masse volumique de l'atmosphère. Celle de Mars est 100 fois plus faible que celle de la Terre : à hélices et vitesse de rotation identiques, la portance y est donc 100 fois plus petite.

Or le poids de l'engin n'est divisé que par $\frac{g_T}{g_M} = \frac{9{,}8}{3{,}7} \approx 2{,}6$.

La portance chute bien plus que le poids : il faut un engin très léger et des pales grandes, tournant très vite, pour que la portance compense le poids.

COMPRENDRE
La pesanteur plus faible de Mars aide un peu, mais elle ne rattrape pas le facteur 100 perdu sur la masse volumique. C'est la comparaison des deux effets qui justifie le mot « défi ».

À LA CALCULATRICE



B.1 Déterminer la vitesse de rotation minimale des pales d'Ingenuity sur Terre et sur Mars pour que l'hélicoptère décolle. Commenter le résultat.

Données utiles $m = 1{,}8$ kg (figure 1) ; $g_T = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $g_M = 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; figures 2 et 3

L'hélicoptère décolle dès que la portance atteint la valeur de son poids $P = m\,g$.

Sur Terre : $P_T = m\,g_T = 1{,}8 \times 9{,}8 = 18$ N. Sur la figure 2, la portance vaut 18 N pour $N_T \approx 400$ tpm.

Sur Mars : $P_M = m\,g_M = 1{,}8 \times 3{,}7 = 6{,}7$ N. Sur la figure 3, la portance vaut 6,7 N pour $N_M \approx 2450$ tpm.

Rapport : $\frac{N_M}{N_T} = \frac{2450}{400} \approx 6$.

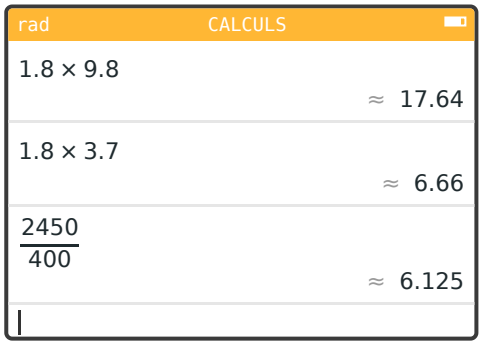
Bien que l'engin soit 2,6 fois moins lourd sur Mars, ses pales doivent y tourner environ 6 fois plus vite que sur Terre : c'est la conséquence de la très faible masse volumique de l'atmosphère martienne.

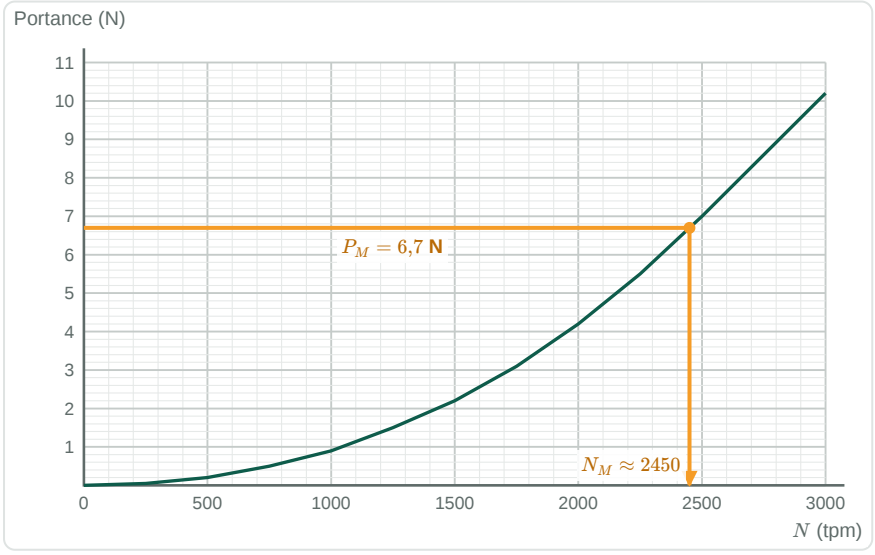
$N_T \approx 4{,}0 \times 10^2$ tpm sur Terre ; $N_M \approx 2{,}4 \times 10^3$ tpm sur Mars, soit environ 6 fois plus.

PIÈGE
Prendre le même poids sur les deux planètes : la masse (1,8 kg) ne change pas, le poids si. Attention aussi aux échelles : les deux figures n'ont ni les mêmes graduations ni les mêmes axes.

MÉTHODE
Question ouverte : écrire la condition de décollage (portance = poids), calculer chaque poids, tracer sur chaque graphique l'horizontale correspondante, lire l'abscisse, puis comparer par un rapport. Une lecture à quelques dizaines de tpm près est acceptée.

À LA CALCULATRICE





B.1 · Figure 3 du sujet (Mars), avec la lecture de la vitesse de rotation pour une portance de 6,7 N

C.1 Appliquer la deuxième loi de Newton afin d'exprimer la coordonnée $a_z(t)$ du vecteur accélération de l'hélicoptère lors de la chute libre.

Système {hélicoptère}, de masse m constante ; référentiel lié au sol martien, supposé galiléen.

Chute libre : la seule force exercée est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}_M$.

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

L'axe Oz est orienté vers le haut et $\vec{g}_M$ est dirigé vers le bas, d'où en projection :

$$a_z(t) = -g_M$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : l'axe pointe vers le haut alors que $\vec{g}_M$ pointe vers le bas. Cette erreur de signe se propage ensuite à v_z et à z.

C.2 En déduire, dans le repère défini, la coordonnée $v_z(t)$ du vecteur vitesse de l'hélicoptère lors de la chute libre.

Comme $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = -g_M$, on obtient par intégration : $v_z(t) = -g_M\,t + C_1$.

Condition initiale : l'hélicoptère est en vol stationnaire à $t = 0$, donc $v_z(0) = 0$, soit $C_1 = 0$.

$$v_z(t) = -g_M\,t$$

C.3 Déduire des résultats précédents l'équation horaire $z(t)$ du mouvement de l'hélicoptère lors de la chute libre.

Comme $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} = -g_M\,t$, on obtient par intégration : $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g_M\,t^2 + C_2$.

Condition initiale : $z(0) = H$, soit $C_2 = H$.

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g_M\,t^2 + H$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration ou ne pas les justifier. Chaque constante se détermine par une condition initiale écrite sur la copie : $v_z(0) = 0$, puis $z(0) = H$ (et non 0, l'origine est au sol).

C.4 Déterminer la durée t_{sol} au bout de laquelle l'hélicoptère atteindra le sol martien.

Données utiles $H = 1{,}0$ m ; $g_M = 3{,}7$ m · s^{-2}

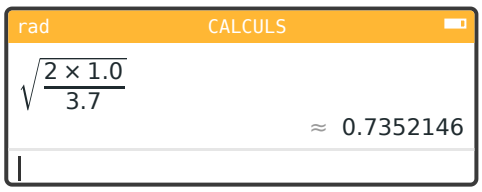
Le sol est à l'altitude $z = 0$: $z(t_{sol}) = 0$, soit $-\dfrac{1}{2}\,g_M\,t_{sol}^2 + H = 0$.

D'où $t_{sol}^2 = \dfrac{2H}{g_M}$ et, la durée étant positive :

$$t_{sol} = \sqrt{\frac{2H}{g_M}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}0}{3{,}7}}$$

$$t_{sol} = 0{,}74 \text{ s}$$

À LA CALCULATRICE



C.5 Déterminer la vitesse v_{sol} de l'hélicoptère au moment de l'impact sur le sol martien.

Données utiles $t_{sol} = \sqrt{2H/g_M}$ (C.4) ; $H = 1{,}0$ m ; $g_M = 3{,}7$ m · s^{-2}

À l'impact : $v_z(t_{sol}) = -g_M\,t_{sol} = -g_M\sqrt{\dfrac{2H}{g_M}} = -\sqrt{2\,g_M\,H}$.

Le mouvement est vertical : la valeur de la vitesse est $v_{sol} = |v_z(t_{sol})|$.

$$v_{sol} = \sqrt{2\,g_M\,H} = \sqrt{2 \times 3{,}7 \times 1{,}0}$$

$$v_{sol} = 2{,}7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

COMPRENDRE
v_z est négative car l'hélicoptère descend ; la vitesse demandée est une valeur positive. Passer par l'expression littérale évite de réutiliser la valeur arrondie de t_{sol}.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{2 \times 3.7 \times 1.0}$

$\approx$ 2.720294

C.6 Indiquer, en justifiant, si le train d'atterrissage est assez résistant pour une utilisation sur la planète Mars.

Données utiles vitesses d'impact supportées : de l'ordre de $16\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$; $v_{sol} = 2{,}72\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (C.5)

Conversion : $v_{sol} = 2{,}72 \times 3{,}6 = 9{,}8\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Cette vitesse est inférieure aux $16\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ auxquels le train d'atterrissage a résisté lors des essais sur Terre.

$v_{sol} \approx 9{,}8\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} < 16\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: le train d'atterrissage est assez résistant pour Mars.

PIÈGE
Comparer $2{,}7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $16\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ sans conversion. Pour passer des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aux $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{2 \times 3.7 \times 1.0} \times 3.6$

$\approx$ 9.793059

D.1 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge s'écrit $\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{RC} = 0$.

Interrupteur en position 2, la maille ne contient que le conducteur ohmique et le condensateur.

Loi des mailles : $u_R + u_C = 0$.

Loi d'Ohm (flèche de u_R opposée au sens de i) : $u_R = R\,i$.

Pour le condensateur : $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ avec $q = C\,u_C$, donc $i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ (C constante).

En remplaçant : $RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = 0$, puis en divisant par RC :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{u_C}{RC} = 0$$

PIÈGE
Écrire $u_R = u_C$ dans la maille : avec les flèches de la figure 5, la somme des deux tensions est nulle. Pendant la décharge, i est d'ailleurs négatif.

MÉTHODE
Toujours les trois mêmes relations : loi des mailles, loi d'Ohm, puis $i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. On élimine u_R et i pour ne garder que u_C.

D.2 Montrer que la solution de cette équation différentielle s'écrit $u_C = E \times e^{-t/\tau}$, où τ est le temps caractéristique à exprimer en fonction de R et C.

On dérive la fonction proposée : $\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\frac{E}{\tau}\,e^{-t/\tau}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

$$-\frac{E}{\tau}\,e^{-t/\tau} + \frac{E}{RC}\,e^{-t/\tau} = E\,e^{-t/\tau}\left(\frac{1}{RC} - \frac{1}{\tau}\right)$$

Cette expression est nulle à tout instant si $\frac{1}{RC} = \frac{1}{\tau}$.

De plus $u_C(0) = E \times e^0 = E$: c'est bien la tension du condensateur chargé au début de la décharge.

$u_C = E \times e^{-t/\tau}$ est solution, avec $\tau = RC$.

MÉTHODE
Pour vérifier une solution proposée : la dériver, la reporter dans l'équation, factoriser, puis en déduire la condition sur τ. Terminer par la condition initiale.

D.3.1 Déterminer, à l'aide du graphe de la figure 6 et en justifiant, la valeur de la tension E.

D'après l'expression de la solution, $u_C(0) = E$: E est l'ordonnée à l'origine de la courbe.

Sur la figure 6, à $t = 0$ s, on lit $u_C = 6{,}0$ V.

$E = 6{,}0$ V

D.3.2 Déterminer, à l'aide du graphe de la figure 6 et en justifiant, la valeur du temps caractéristique τ.

Données utiles $E = 6{,}0$ V (D.3.1)

À l'instant $t = \tau$: $u_C(\tau) = E \times e^{-1} \approx 0{,}37 \times E = 0{,}37 \times 6{,}0 = 2{,}2$ V.

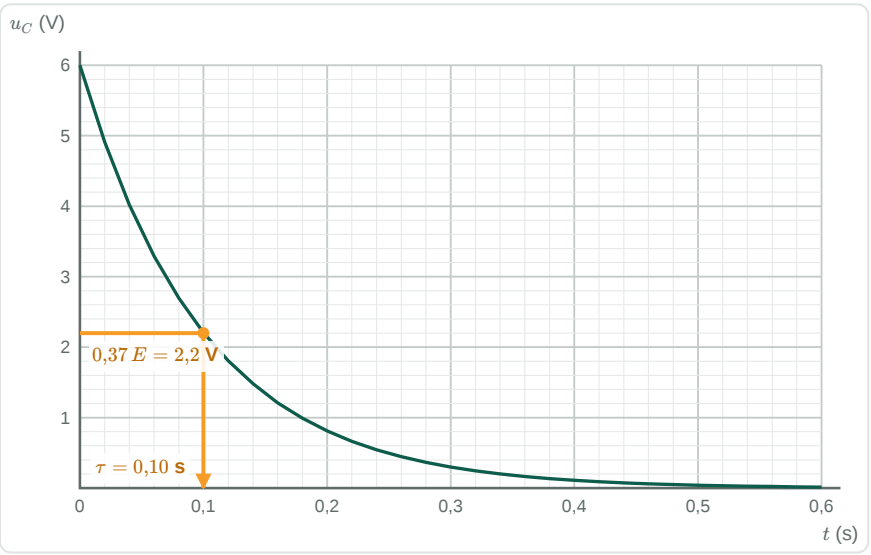
On trace l'horizontale d'ordonnée 2,2 V : elle coupe la courbe au point d'abscisse τ.

$\tau = 0{,}10$ s

COMPRENDRE
Autre méthode acceptée : la tangente à la courbe à $t = 0$ coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$. La lecture à 37 % de E est plus précise, car une tangente se trace difficilement.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
0.37×6.0
≈ 2.22



D.3.2 · Figure 6 du sujet, avec la lecture de τ à 37 % de E

D.4 En déduire que la capacité du condensateur au niveau du sol vaut environ $C_0 = 100$ µF.

Données utiles $\tau = 0{,}10$ s (D.3.2) ; $R = 1{,}0$ kΩ

Comme $\tau = R C_0$: $C_0 = \dfrac{\tau}{R}$

$$C_0 = \frac{0{,}10}{1{,}0 \times 10^3} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{F}$$

$C_0 = 1{,}0 \times 10^{-4}$ F $= 1{,}0 \times 10^{2}$ µF : on retrouve bien environ 100 µF.

PIÈGE
Laisser R en kilo-ohms : il faut $R = 1{,}0 \times 10^3\ \Omega$ pour obtenir C_0 en farads. Rappel : 1 µF $= 10^{-6}$ F.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\dfrac{0.10}{1.0 \times 10^3}$
$\approx 1 \times 10^{-4}$

D.5 Expliquer comment évolue la capacité C du condensateur lorsque le drone s'éloigne du sol, la surface des armatures restant constante.

Données utiles $C = \dfrac{\varepsilon S}{e}$

Quand le drone monte, la pression atmosphérique extérieure diminue : l'armature souple se soulève et l'épaisseur e entre les armatures augmente.

Dans $C = \dfrac{\varepsilon S}{e}$, ε et S sont constantes : C est inversement proportionnelle à e.

Lorsque le drone s'éloigne du sol, e augmente donc la capacité C diminue.

D.6 Estimer la valeur de la capacité C du condensateur à 5,0 m du sol, sachant que l'épaisseur e a augmenté de 10 %.

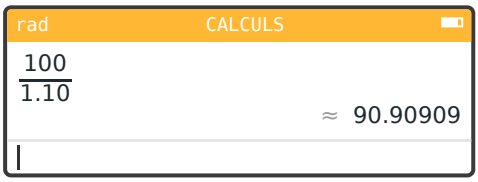
Données utiles $C_0 = 100$ µF

Au sol : $C_0 = \dfrac{\varepsilon S}{e_0}$. À 5,0 m : l'épaisseur vaut $e = e_0 + \dfrac{10}{100} e_0 = 1{,}10\, e_0$.

$$C = \frac{\varepsilon S}{1{,}10\, e_0} = \frac{C_0}{1{,}10} = \frac{100}{1{,}10}$$

$C \approx 91$ µF

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Retirer 10 % à C_0 (ce qui donne 90 µF) : une augmentation de 10 % de e divise C par 1,10, elle ne lui enlève pas 10 %.

COMPRENDRE
Mesurer $\tau = RC$ lors d'une décharge donne C, donc l'épaisseur e, donc l'altitude : c'est le principe de l'altimètre imaginé par les élèves.

Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Calculer la masse m_0 d'acide benzoïque à peser pour préparer la solution S_0. La solution est-elle saturée ?

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_0 = 100\ \text{mL}$; $M_3 = 122\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; solubilité $s = 2{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$m_0 = n_0 \times M_3 = C_0 \times V_0 \times M_3$

$m_0 = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} \times 122 = 0{,}12\ \text{g}$

Concentration en masse de la solution : $t_0 = \dfrac{m_0}{V_0} = \dfrac{0{,}122}{100 \times 10^{-3}} = 1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

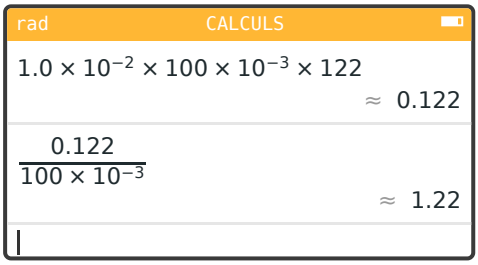
$t_0 < s$: on est en dessous de la masse maximale que l'on peut dissoudre par litre.

$m_0 = 0{,}12\ \text{g}$; la solution S_0 n'est pas saturée ($1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} < 2{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

PIÈGE
Comparer directement m_0 (en g) à la solubilité (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). Il faut d'abord ramener la masse dissoute à un litre de solution, ou calculer la masse maximale soluble dans 100 mL (0,24 g).

COMPRENDRE
C_0 est donnée avec deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux, soit $0{,}12$ g et non $0{,}122$ g.

À LA CALCULATRICE



A.2 Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.

L'acide benzoïque cède un ion H^+ à l'eau, qui joue le rôle de base (couple H_3O^+ / H_2O).

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l}) \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq})$$

COMPRENDRE
La double flèche s'impose : le pH mesuré (3,1) est supérieur à $-\log C_0 = 2{,}0$, donc l'acide n'a pas entièrement réagi. La transformation est limitée.

A.3 Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate et préciser l'espèce prédominante dans la solution S_0.

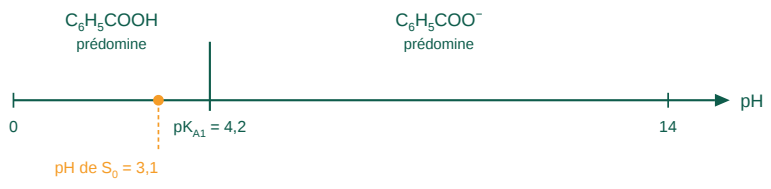
Données utiles $\text{p}K_{A1} = 4{,}2$; pH de S_0 : 3,1

Pour $\text{pH} < \text{p}K_{A1}$, la forme acide $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ prédomine ; pour $\text{pH} > \text{p}K_{A1}$, c'est la forme basique $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ (voir le diagramme).

Dans S_0 : $\text{pH} = 3{,}1 < \text{p}K_{A1} = 4{,}2$.

L'espèce prédominante dans S_0 est l'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, placer le $\text{p}K_A$ du couple, l'acide à gauche, la base à droite, puis situer le pH de la solution. La frontière correspond à $[\text{acide}] = [\text{base}]$.



A.3 · Diagramme de prédominance du couple acide benzoïque / ion benzoate

A.4 Compléter le tableau d'avancement de l'annexe en fonction de C_0, V_0 et $x_{éq}$, avancement à l'état d'équilibre.

Quantité initiale d'acide benzoïque : $n_0 = C_0 V_0$. L'eau est le solvant, en large excès. Les nombres stœchiométriques valent tous 1.

À l'équilibre : $n(\mathrm{C_6H_5COOH}) = C_0V_0 - x_{éq}$; $n(\mathrm{C_6H_5COO^-}) = n(\mathrm{H_3O^+}) = x_{éq}$ (tableau complété en annexe).

PIÈGE
Écrire C_0 au lieu de C_0V_0 dans la première case : le tableau est en quantités de matière (mol), pas en concentrations.

Équation de la réaction		$C_6H_5COOH(aq)$ + $H_2O(l)$ ⇄ $C_6H_5COO^-(aq)$ + $H_3O^+(aq)$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$C_0\ V_0$	solvant	0	0
État final (à l'équilibre)	$x_{éq}$	$C_0\ V_0 - x_{éq}$	solvant	$x_{éq}$	$x_{éq}$

A.4 · Annexe à rendre avec la copie : tableau d'avancement complété

A.5 Calculer l'avancement maximal x_{max}.

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_0 = 100$ mL

L'avancement maximal est celui d'une transformation totale. L'eau étant en excès, l'acide benzoïque serait alors entièrement consommé :

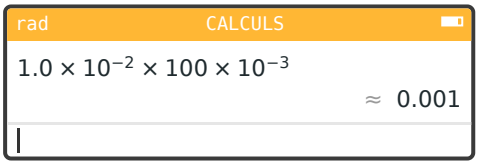
$C_0V_0 - x_{max} = 0$, donc $x_{max} = C_0V_0$

$x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3}$

$x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$

COMPRENDRE
x_{max} est une valeur théorique, calculée comme si la réaction allait jusqu'au bout. L'avancement réellement atteint, $x_{éq}$, se déduit du pH mesuré.

À LA CALCULATRICE



A.6 Montrer que le taux d'avancement final s'écrit $\tau = \dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{C_0}$, puis le calculer. Ce résultat est-il en accord avec la réponse à la question A.3 ?

Données utiles pH de S_0 : 3,1 ; $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $x_{max} = C_0V_0$ (A.5)

Par définition : $\tau = \dfrac{x_{éq}}{x_{max}}$.

D'après le tableau, $x_{éq} = n(\mathrm{H_3O^+})_{éq} = [\mathrm{H_3O^+}]_{éq} \times V_0$, et $x_{max} = C_0V_0$. Donc :

$$\tau = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} \times V_0}{C_0 \times V_0} = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{éq}}{C_0}$$

Avec $[\mathrm{H_3O^+}]_{éq} = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$ et $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$$\tau = \frac{10^{-3{,}1}}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 0{,}079$$

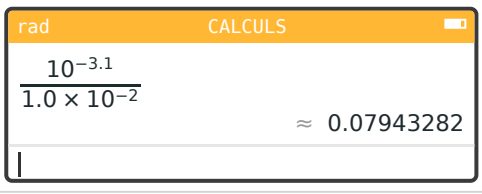
$\tau < 1$: la transformation est limitée. Moins de 8 % de l'acide introduit est devenu ion benzoate ; plus de 92 % reste sous forme $\mathrm{C_6H_5COOH}$.

$\tau = 0{,}079$, soit 7,9 % : l'acide benzoïque reste très majoritaire, en accord avec la question A.3.

PIÈGE
Oublier la seconde partie de la question. Le calcul de τ ne suffit pas : il faut relier explicitement la faible valeur trouvée à la prédominance de la forme acide.

MÉTHODE
Pour un acide seul dans l'eau, un taux d'avancement très inférieur à 1 caractérise un acide faible. Un acide fort donnerait $\tau = 1$, soit $\mathrm{pH} = -\log C_0$.

À LA CALCULATRICE



B.1.1 Au vu du mode opératoire, sur quels facteurs cinétiques se base-t-on pour réaliser plus rapidement cette synthèse ?

- La **température** : le mélange est porté à ébullition. Plus la température est élevée, plus la transformation est rapide.
- La **concentration des réactifs** : le permanganate de potassium est introduit en excès. Plus un réactif est concentré, plus la transformation est rapide.

Deux facteurs cinétiques : la température et la concentration des réactifs.

PIÈGE
Citer la pierre ponce : elle régule l'ébullition, ce n'est ni un catalyseur ni un facteur cinétique.

B.1.2 Préciser les avantages du chauffage à reflux du mélange réactionnel.

Chauffer à ébullition accélère la transformation. Les vapeurs qui s'élèvent se liquéfient au contact du réfrigérant à boules, parcouru par de l'eau froide, et retombent dans le ballon.

Le chauffage à reflux accélère la transformation sans perte de matière (ni réactifs, ni produits, ni solvant).

COMPRENDRE
Le réfrigérant reste ouvert en haut : le montage n'est jamais fermé, sinon la pression augmenterait dangereusement pendant le chauffage.

B.2.1 Déterminer la quantité de matière n_1 d'alcool benzylique contenue dans la prise d'essai de 2,0 mL.

Données utiles $V_1 = 2{,}0\ \text{mL}$; $\rho_1 = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_1 = 108\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

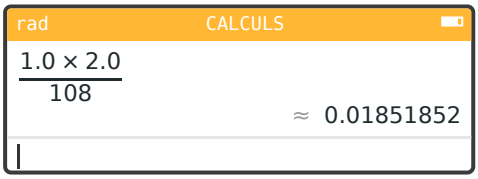
L'alcool benzylique est un liquide pur : $m_1 = \rho_1 \times V_1$, d'où

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 \times V_1}{M_1} = \frac{1{,}0 \times 2{,}0}{108}$$

$n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

PIÈGE
Utiliser $n = C \times V$: l'alcool benzylique est un liquide pur, pas une solution. On passe par la masse volumique, ici en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ avec un volume en mL.

À LA CALCULATRICE



B.2.2 Calculer la quantité de matière théorique d'acide benzoïque que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale, l'alcool benzylique étant le réactif limitant.

Données utiles $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol (B.2.1)

Oxydation : 3 mol d'alcool benzylique donnent 3 mol d'ions benzoate. L'alcool étant limitant et entièrement consommé : $n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2^-) = \frac{3}{3} n_1 = n_1$.

Cristallisation supposée totale : 1 mol d'ions benzoate donne 1 mol d'acide benzoïque, donc $n_{\text{th}} = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2^-) = n_1$.

$n_{\text{th}} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

MÉTHODE
Pour une synthèse en plusieurs étapes, suivre la matière d'une équation à l'autre avec les nombres stœchiométriques du réactif limitant et du produit de chaque étape.

B.2.3 En déduire le rendement r de la synthèse effectuée.

Données utiles $m = 140{,}4$ g (coupelle vide) ; $m' = 141{,}8$ g ; $M_3 = 122\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_{\text{th}} = 1{,}85 \times 10^{-2}$ mol (B.2.2, valeur non arrondie)

Masse d'acide benzoïque obtenue : $m_{\text{exp}} = m' - m = 141{,}8 - 140{,}4 = 1{,}4$ g.

Masse théorique : $m_{\text{th}} = n_{\text{th}} \times M_3 = 1{,}85 \times 10^{-2} \times 122 = 2{,}3$ g.

$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}} = \frac{1{,}4}{2{,}26} = 0{,}62$$

$r = 0{,}62$, soit $62\ \%$

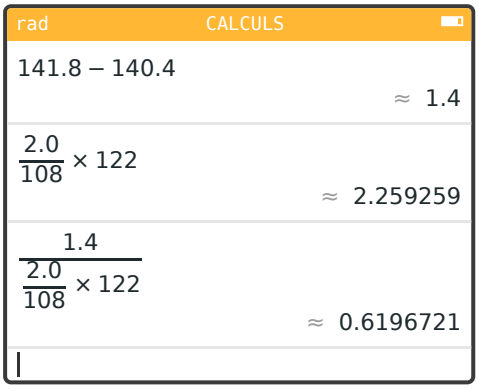
PIÈGE

Prendre $m' = 141{,}8$ g comme masse de produit : la coupelle est comprise. Autre erreur : arrondir trop tôt, car $1{,}4 \div 2{,}3$ donne 61 % au lieu de 62 %.

COMPRENDRE

Le rendement est inférieur à 100 % : pertes lors des deux filtrations et du rinçage, acide benzoïque resté dissous dans le filtrat (sa solubilité n'est pas nulle).

À LA CALCULATRICE



Qualité des eaux souterraines sur le littoral

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Citer la concentration minimale en masse c_m en ion chlorure à partir de laquelle l'eau souterraine est considérée comme contaminée par l'eau de mer et non potable.

D'après le tableau, l'eau reste potable jusqu'à $200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; dans la classe suivante (200 à 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) elle ne peut plus servir à produire de l'eau potable et la teneur n'est plus naturelle.

$$\boxed{c_m = 200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Répondre $500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: c'est le seuil de la contamination « importante », alors que l'eau cesse d'être potable dès la classe précédente.

A.2.1 Déterminer la concentration en quantité de matière $[\text{Cl}^-]$ des ions chlorure apportés par le chlorure de magnésium dans l'eau de mer.

Données utiles $\text{MgCl}_2\,(\text{s}) \longrightarrow \text{Mg}^{2+}\,(\text{aq}) + 2\,\text{Cl}^-\,(\text{aq})$; $c = 4{,}0\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

D'après l'équation de dissolution, une mole de MgCl_2 dissoute libère deux moles d'ions Cl^- : $n(\text{Cl}^-) = 2\,n(\text{MgCl}_2)$. En divisant par le volume V de solution :

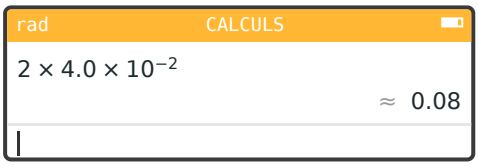
$$[\text{Cl}^-] = 2\,c = 2\times4{,}0\times10^{-2}$$

$$\boxed{[\text{Cl}^-] = 8{,}0\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Écrire $[\text{Cl}^-] = c$ ou $c/2$: le nombre stœchiométrique 2 est devant Cl^-, il y a donc deux fois plus d'ions chlorure que de soluté apporté.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c : le coefficient 2 de l'équation est un nombre exact, il ne limite pas la précision.

À LA CALCULATRICE



A.2.2 Déterminer la concentration totale en masse en ions chlorure dans la mer Méditerranée.

Données utiles $[\text{Cl}^-] = 8{,}0\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (A.2.1) ; $M(\text{Cl}^-) = 35{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; apport de NaCl : $c_m = 16{,}5\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Concentration en masse des ions chlorure venant de MgCl_2 :

$$c_{m,\text{MgCl}_2} = [\text{Cl}^-]\times M(\text{Cl}^-) = 8{,}0\times10^{-2}\times35{,}5 = 2{,}8\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$$

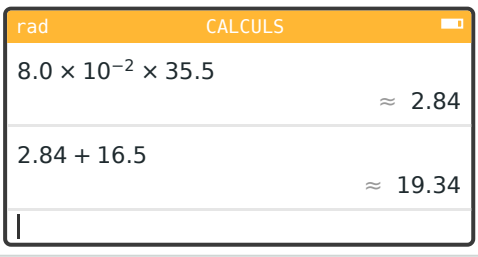
Les deux apports s'ajoutent : $c_{m,\text{tot}} = c_{m,\text{MgCl}_2} + c_{m,\text{NaCl}} = 2{,}8 + 16{,}5$

$$\boxed{c_{m,\text{tot}} = 19{,}3\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Utiliser la masse molaire de MgCl_2 ou de NaCl : on cherche la masse d'ions chlorure, pas celle du sel dissous.

MÉTHODE
Passer d'une concentration en quantité de matière à une concentration en masse : $c_m = c\times M$, avec la masse molaire de l'espèce dont on parle, ici l'ion chlorure seul.

À LA CALCULATRICE



B.1 Identifier, parmi les courbes I, II et III de la figure 2, celle qui représente l'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de nitrate d'argent versé. Justifier.

Données utiles en $\mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$: $\lambda_{Cl^-} = 76{,}3 \times 10^{-4}$; $\lambda_{Ag^+} = 71{,}4 \times 10^{-4}$; $\lambda_{NO_3^-} = 61{,}9 \times 10^{-4}$

La conductivité dépend des ions présents : $\sigma = \sum \lambda_i \, [X_i]$.

Avant l'équivalence ($V < V_E$) : les ions Ag^+ versés sont aussitôt consommés ; chaque ion Cl^- qui précipite est remplacé par un ion spectateur NO_3^-. Comme $\lambda_{NO_3^-} < \lambda_{Cl^-}$, σ diminue.

Après l'équivalence ($V > V_E$) : il n'y a plus d'ions Cl^- ; les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent, donc σ augmente nettement.

La courbe cherchée décroît jusqu'à $V_E = 13{,}0$ mL, puis croît.

C'est la courbe **III**.

PIÈGE
Oublier l'ion spectateur NO_3^- : sans lui, impossible d'expliquer pourquoi la baisse est lente avant l'équivalence, ni de trancher entre les courbes.

COMPRENDRE
Les autres ions de l'eau douce ne réagissent pas : ils ajoutent un terme constant à σ sans modifier le sens de variation. La dilution est négligée.

MÉTHODE
Pour chaque domaine, lister les ions dont la concentration varie, puis comparer les conductivités molaires ioniques de ceux qui apparaissent et de ceux qui disparaissent.

B.2 Le volume versé à l'équivalence est $V_E = 13{,}0$ mL. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Données utiles prélèvement $V_A = 50{,}0$ mL ; solution titrante $c_B = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $M(Cl^-) = 35{,}5$ g · mol^{-1} ; seuil 200 mg · L^{-1} (A.1)

Réaction support : $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n(Cl^-)_{\text{initial}} = n(Ag^+)_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad c_A \, V_A = c_B \, V_E$$

$$c_A = \frac{c_B \, V_E}{V_A} = \frac{1{,}00 \times 10^{-2} \times 13{,}0}{50{,}0} = 2{,}60 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Concentration en masse : $c_m = c_A \times M(Cl^-) = 2{,}60 \times 10^{-3} \times 35{,}5 = 9{,}23 \times 10^{-2}$ g · L^{-1}

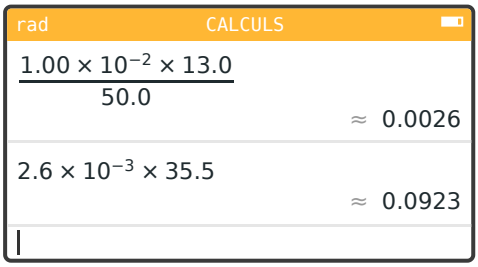
Cette valeur est comprise entre 50 et 200 mg · L^{-1} : concentration dite « naturelle ».

$c_m = 92{,}3$ mg · L^{-1} < 200 mg · L^{-1} : l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'eau potable.

PIÈGE
Comparer au seuil sans convertir : le calcul donne des g · L^{-1}, le tableau est en mg · L^{-1}. Le rapport V_E/V_A ne demande aucune conversion si les deux volumes sont en mL.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer les étapes (relation à l'équivalence, concentration en quantité de matière, concentration en masse, comparaison au tableau) et terminer par une phrase qui répond à la question posée.

À LA CALCULATRICE



C.1 À l'aide de la figure 4, identifier en justifiant les espèces chimiques A, B et C dont les quantités de matière nA, nB et nC sont calculées par le programme.

- nA diminue dès le début et s'annule à $V_E = 13\ \text{mL}$: c'est le réactif titré, consommé peu à peu. A est l'ion Cl^-.
- nB est nulle jusqu'à l'équivalence puis augmente : c'est le réactif titrant, limitant avant V_E, en excès après. B est l'ion Ag^+.
- nC augmente jusqu'à l'équivalence puis reste constante : c'est le produit, qui ne se forme plus quand Cl^- est épuisé. C est AgCl.

A : $\text{Cl}^-\,(\text{aq})$; B : $\text{Ag}^+\,(\text{aq})$; C : $\text{AgCl}\,(\text{s})$

COMPRENDRE
La valeur initiale de nA, $0{,}13\ \text{mmol}$, est bien $c_A V_A = 2{,}60 \times 10^{-3} \times 50$: le graphique est cohérent avec le titrage de la partie B.

C.2 Compléter la ligne 15 du programme Python pour qu'il calcule la concentration en quantité de matière en ions chlorure.

La relation à l'équivalence établie en B.2, $c_A = \dfrac{c_B\, V_E}{V_A}$, s'écrit avec les variables définies aux lignes 10 à 12 :

```
cA = cB*VE/vA
```

PIÈGE
Python distingue majuscules et minuscules. Le volume est saisi sous le nom `vA` à la ligne 11 : écrire `VA` à la ligne 15 provoquerait une erreur, la variable n'étant pas définie.

COMPRENDRE
Le sujet n'est pas cohérent : les lignes 21, 29 et 30 utilisent `VA`, jamais défini. Pour que le programme s'exécute, il faudrait le même nom partout.

La pile au méthanol

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1.1 Identifier quelle électrode constitue l'anode et quelle électrode constitue la cathode dans la pile au méthanol.

À l'électrode 1, le méthanol cède des électrons : CH_3OH est oxydé. L'électrode où se produit l'oxydation est l'anode.

À l'électrode 2, le dioxygène capte des électrons : O_2 est réduit. L'électrode où se produit la réduction est la cathode.

Électrode 1 : **anode** (oxydation) ; électrode 2 : **cathode** (réduction).

MÉTHODE
Repérer de quel côté de la demi-équation se trouvent les électrons quand la pile débite : produits, c'est une oxydation (anode) ; consommés, c'est une réduction (cathode).

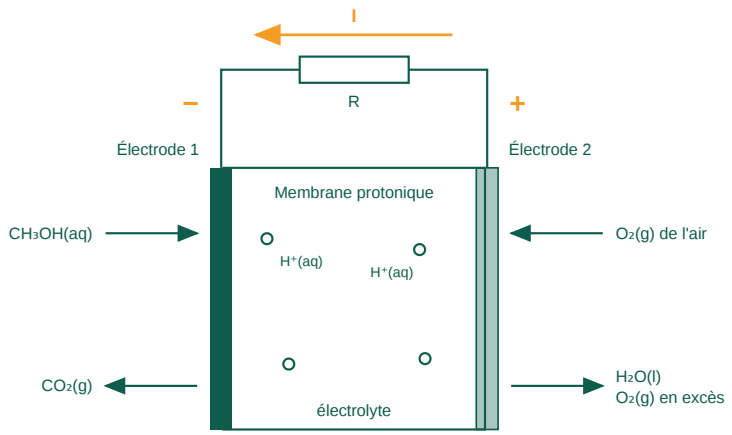
A.1.2 Indiquer sur le schéma de l'annexe les pôles de la pile ainsi que le sens du courant électrique.

L'électrode 1 libère des électrons vers le circuit extérieur : c'est le pôle négatif. L'électrode 2 reçoit ces électrons : c'est le pôle positif.

À l'extérieur de la pile, le courant sort par le pôle positif : il traverse la résistance R de l'électrode 2 vers l'électrode 1.

Pôle $-$: électrode 1 ; pôle $+$: électrode 2 ; courant de l'électrode 2 vers l'électrode 1 à travers R.

PIÈGE
Orienter le courant dans le sens de déplacement des électrons. Le sens conventionnel du courant est l'opposé : du pôle $+$ vers le pôle $-$ dans le circuit extérieur.



A.1.2 · Annexe complétée : pôles de la pile et sens du courant (en orange)

A.1.3 Expliquer le rôle de la membrane protonique dans la pile au méthanol.

La membrane laisse passer les ions H^+ produits à l'électrode 1 vers l'électrode 2, où ils sont consommés. Elle joue le rôle d'un pont salin :

- elle assure le passage du courant à l'intérieur de la pile, donc la fermeture du circuit ;
- elle maintient l'électroneutralité de chaque côté de la pile.

La membrane ferme le circuit électrique par le déplacement des ions H^+ et garantit la neutralité électrique.

COMPRENDRE
Les électrons ne circulent pas dans l'électrolyte. Sans la membrane, les charges s'accumuleraient aux électrodes et la pile cesserait aussitôt de débiter.

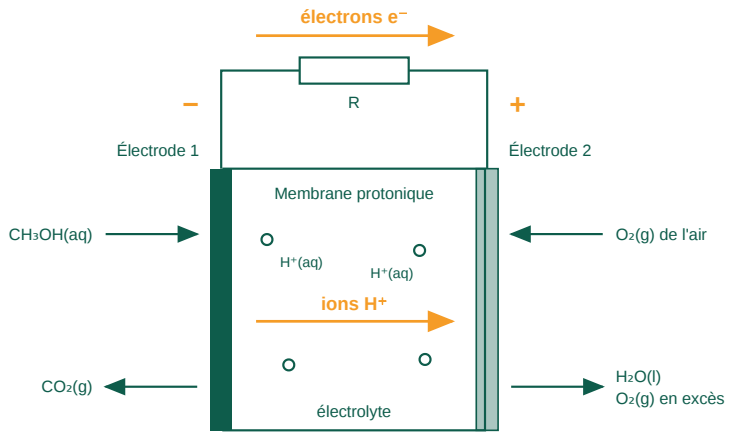
A.1.4 Indiquer sur le schéma de l'annexe le sens de circulation des porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile.

À l'extérieur (fils et résistance), les porteurs de charge sont les électrons : ils vont de l'électrode 1, où ils sont produits, vers l'électrode 2, où ils sont consommés, en sens inverse du courant.

À l'intérieur, les porteurs de charge sont les ions H^+ : chargés positivement, ils se déplacent dans le sens du courant, de l'électrode 1 vers l'électrode 2.

Électrons : de l'électrode 1 vers l'électrode 2 par le circuit extérieur ; ions H^+ : de l'électrode 1 vers l'électrode 2 à travers la membrane.

COMPRENDRE
Les demi-équations le confirment : les ions H^+ sont produits à l'électrode 1 et consommés à l'électrode 2, tout comme les électrons.



A.1.4 · Annexe complétée : sens de circulation des porteurs de charge (en orange)

A.2 Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant le fonctionnement de la pile.

Il faut échanger le même nombre d'électrons, soit 12 : la demi-équation de l'électrode 1 est multipliée par 2, celle de l'électrode 2 par 3.

$$2\,CH_3OH + 2\,H_2O + 3\,O_2 + 12\,H^+ \longrightarrow 2\,CO_2 + 12\,H^+ + 6\,H_2O$$

Après simplification des ions H^+ et de l'eau :

$$2\,CH_3OH\,(aq) + 3\,O_2\,(g) \longrightarrow 2\,CO_2\,(g) + 4\,H_2O\,(l)$$

PIÈGE
Additionner les deux demi-équations telles quelles : il resterait des électrons dans le bilan. Vérifier à la fin la conservation de C, H et O.

A.3.1 Montrer que la quantité de matière de méthanol introduite dans la pile a pour valeur $n(CH_3OH) = 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol.

Données utiles $V = 5{,}0$ mL de solution à 10 % en volume ; $\rho_{méthanol} = 0{,}792\ g \cdot mL^{-1}$; $M_{méthanol} = 32{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Volume de méthanol pur : $V_{méthanol} = 0{,}10 \times V$.

Masse correspondante : $m = \rho_{méthanol} \times V_{méthanol}$, d'où

$$n(CH_3OH) = \frac{m}{M_{méthanol}} = \frac{\rho_{méthanol} \times 0{,}10 \times V}{M_{méthanol}} = \frac{0{,}792 \times 0{,}10 \times 5{,}0}{32{,}0}$$

$n(CH_3OH) = 1{,}24 \times 10^{-2}$ mol $\approx 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Prendre les 5,0 mL comme du méthanol pur : la solution n'en contient que 10 % en volume, soit 0,50 mL.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V et le pourcentage volumique, données les moins précises. La valeur non arrondie est gardée en mémoire pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.792 \times 0.10 \times 5.0}{32.0} \approx 0.012375$$

A.3.2 Justifier que le dioxygène est le réactif en excès.

Le méthanol est introduit une fois pour toutes, en quantité fixée. Le dioxygène, lui, provient de l'air ambiant, avec lequel le compartiment reste constamment en contact : il est renouvelé au fur et à mesure de sa consommation.

Le dioxygène, apporté sans limite par l'air, est en excès ; le méthanol est le réactif limitant.

COMPRENDRE
La figure 1 le montre aussi : du dioxygène ressort de la pile, il n'est donc pas entièrement consommé.

A.3.3 Déterminer le volume d'air $V(\text{air})$ consommé lors du fonctionnement de la pile jusqu'à son usure.

Données utiles $n(CH_3OH)$ (A.3.1) ; équation de la réaction (A.2) ; $V_m = 24{,}5\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; air : 20 % de dioxygène en volume

La pile est usée quand tout le méthanol a réagi. D'après l'équation de la réaction :

$$\frac{n(O_2)}{3} = \frac{n(CH_3OH)}{2} \quad \text{soit} \quad n(O_2) = \frac{3}{2}\,n(CH_3OH)$$

Volume de dioxygène consommé : $V(O_2) = n(O_2) \times V_m$.

Le dioxygène occupe 20 % du volume de l'air : $V(O_2) = 0{,}20 \times V(\text{air})$, donc

$$V(\text{air}) = \frac{3 \times n(CH_3OH) \times V_m}{2 \times 0{,}20} = \frac{3 \times 1{,}24 \times 10^{-2} \times 24{,}5}{2 \times 0{,}20}$$

$V(\text{air}) = 2{,}3\ \text{L}$

PIÈGE
Multiplier par 0,20 au lieu de diviser : le volume d'air est cinq fois plus grand que celui du dioxygène qu'il contient.

COMPRENDRE
Avec la valeur arrondie $1{,}2 \times 10^{-2}$ mol, on obtient 2,2 L : l'écart vient seulement de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3 \times 0.012375 \times 24.5}{2 \times 0.20} \approx 2.273906$$

B.1 Calculer la capacité électrique théorique de la pile au méthanol étudiée dans la partie A.

Données utiles $n(CH_3OH)$ (A.3.1) ; $F = 9{,}6 \times 10^4\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$

La capacité théorique est la charge maximale que la pile peut faire circuler : $Q_{max} = n(e^-)_{max} \times F$.

Le méthanol est le réactif limitant. D'après la demi-équation de l'électrode 1, chaque mole de méthanol libère 6 moles d'électrons : $n(e^-)_{max} = 6 \times n(CH_3OH)$.

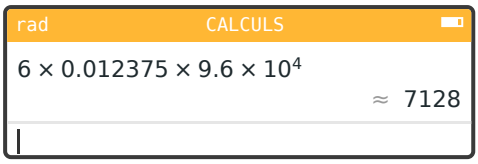
$$Q_{max} = 6 \times n(CH_3OH) \times F = 6 \times 1{,}24 \times 10^{-2} \times 9{,}6 \times 10^4$$

$Q_{max} = 7{,}1 \times 10^3\ \text{C}$

PIÈGE
Prendre 12 électrons en lisant l'équation de la réaction : ces 12 électrons correspondent à 2 moles de méthanol, soit toujours 6 par mole.

COMPRENDRE
Avec $n(CH_3OH)$ arrondie à $1{,}2 \times 10^{-2}$ mol, on trouve $6{,}9 \times 10^3$ C : l'écart vient de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE



B.2 Les élèves souhaitent faire fonctionner le ventilateur pendant au moins une heure. Expliquer en argumentant s'ils y parviendront.

Données utiles $Q_{max} = 7{,}1 \times 10^3$ C (B.1) ; deux piles en série ; $r = 0{,}70$; $I = 450\ \text{mA} = 0{,}450$ A

Capacité réelle d'une pile : $Q'_{max} = r \times Q_{max}$.

D'après l'énoncé, les capacités de deux piles en série s'ajoutent : $Q_{tot} = 2 \times r \times Q_{max}$.

Le courant étant d'intensité constante, $Q_{tot} = I \times \Delta t_{max}$, d'où

$$\Delta t_{max} = \frac{2 \times r \times Q_{max}}{I} = \frac{2 \times 0{,}70 \times 7{,}1 \times 10^3}{0{,}450} = 2{,}2 \times 10^4\ \text{s}$$

soit environ 6,2 h. Cette durée dépasse largement une heure.

Remarque : en réalité, les capacités de piles en série ne s'ajoutent pas. Avec une seule capacité, $\Delta t_{max} = \dfrac{r \times Q_{max}}{I} \approx 3{,}1$ h : la conclusion reste la même.

$\Delta t_{max} \approx 2{,}2 \times 10^4\ \text{s} \approx 6{,}2\ \text{h} > 1\ \text{h}$: les élèves y parviendront.

PIÈGE
Oublier le rendement ou laisser l'intensité en milliampères : la durée serait fausse d'un facteur 1000.

COMPRENDRE
Erreur du sujet : en série, le même courant traverse les deux piles, qui s'usent ensemble. La charge disponible reste celle d'une pile ; c'est la tension, donc l'énergie, qui double.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche (capacité réelle, puis durée par $Q = I \times \Delta t$), convertir I en ampères, puis comparer explicitement la durée obtenue à la durée demandée.

À LA CALCULATRICE

