Corrigé complet — Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 2

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

Ex 1	**Vol d'une montgolfière** Équation d'état du gaz parfait · Masse volumique · Poussée d'Archimède et équilibre · Modes de transfert thermique · Bilan de flux thermiques · Énergie de combustion	10 pts	1 h 45	13 questions	p. 2
Ex 2	**L'encre et son effaceur** Couleur et spectre d'absorption · Dilution · Dosage par étalonnage · Réaction d'oxydoréduction · Réactif limitant · Temps de demi-réaction	5 pts	53 min	8 questions	p. 8
Ex 3	**Etude d'une pile au laboratoire** Préparation d'une solution par dissolution · Polarité et fonctionnement d'une pile · Demi-équations d'oxydoréduction · Quotient de réaction et critère d'évolution · Capacité électrique d'une pile	5 pts	53 min	9 questions	p. 12
Ex 4	**Synthèse de l'acide caprylique par sonochimie** Acide faible et taux d'avancement · Diagramme de prédominance · Période et fréquence · Spectroscopie infrarouge · Réactif limitant et rendement	5 pts	53 min	9 questions	p. 16

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.

Vol d'une montgolfière

Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 2 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1.1.1 À l'aide de l'équation d'état du gaz parfait, exprimer la masse volumique ρ_{int} de l'air contenu dans le ballon en fonction de p, M_{air}, R et T.

Équation d'état du gaz parfait pour l'air du ballon : $p\,V = n\,R\,T$.

La quantité de matière d'air s'écrit $n = \dfrac{m_{\text{air}}}{M_{\text{air}}}$ et, par définition, $\rho_{\text{int}} = \dfrac{m_{\text{air}}}{V}$, donc $n = \dfrac{\rho_{\text{int}}\,V}{M_{\text{air}}}$.

On remplace : $p\,V = \dfrac{\rho_{\text{int}}\,V}{M_{\text{air}}}\,R\,T$, puis on simplifie par V.

$$\boxed{\rho_{\text{int}} = \frac{p\,M_{\text{air}}}{R\,T}}$$

COMPRENDRE
À pression fixée, ρ_{int} diminue quand T augmente : l'air chaud est moins dense que l'air froid. C'est tout le principe de la montgolfière.

1.1.2 Montrer que la masse volumique ρ_{int} de l'air du ballon, à 1,5 km d'altitude et à 373 K, est de l'ordre de $0{,}8\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Données utiles figure 1 ; $M_{\text{air}} = 29{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $R = 8{,}314\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $T = 373\ \text{K}$

Lecture de la figure 1 à l'altitude 1500 m : $p = 8{,}5 \times 10^4$ Pa (pression intérieure égale à la pression extérieure).

Avec $M_{\text{air}} = 29{,}0 \times 10^{-3}\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$:

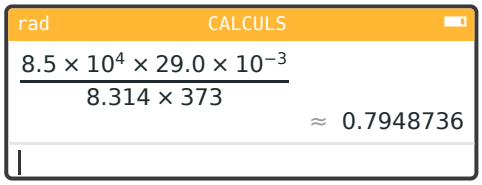
$$\rho_{\text{int}} = \frac{p\,M_{\text{air}}}{R\,T} = \frac{8{,}5 \times 10^4 \times 29{,}0 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times 373} = 0{,}79\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

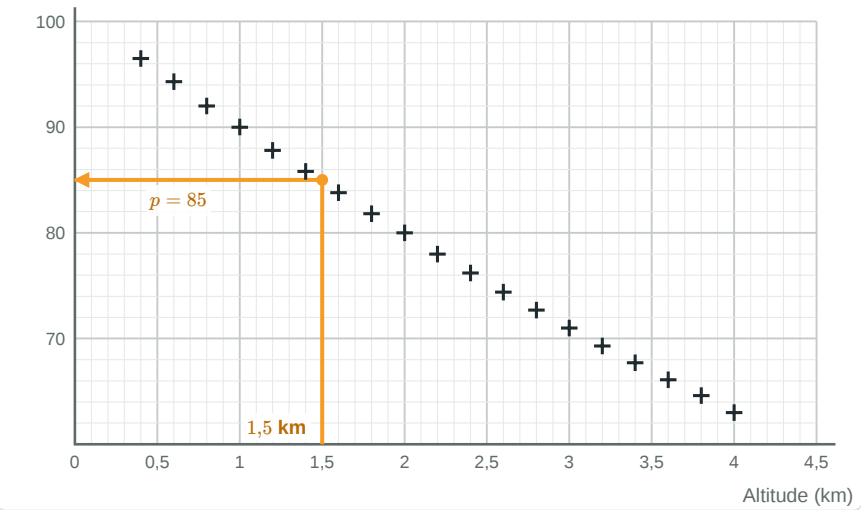
$\rho_{\text{int}} = 0{,}79\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, bien de l'ordre de $0{,}8\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

PIÈGE
Laisser M_{air} en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: on obtient alors des $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, soit un résultat mille fois trop grand.

COMPRENDRE
La pression est lue sur un graphique avec deux chiffres significatifs : le résultat n'en garde que deux, même si les autres données en ont trois ou quatre.

À LA CALCULATRICE





1.1.2 · Figure 1 du sujet : lecture de la pression à 1500 m

1.2.1 Représenter, sans souci d'échelle, les deux forces qui s'exercent sur la montgolfière immobile dans le référentiel terrestre, avec le système d'axes de la figure 2. Justifier.

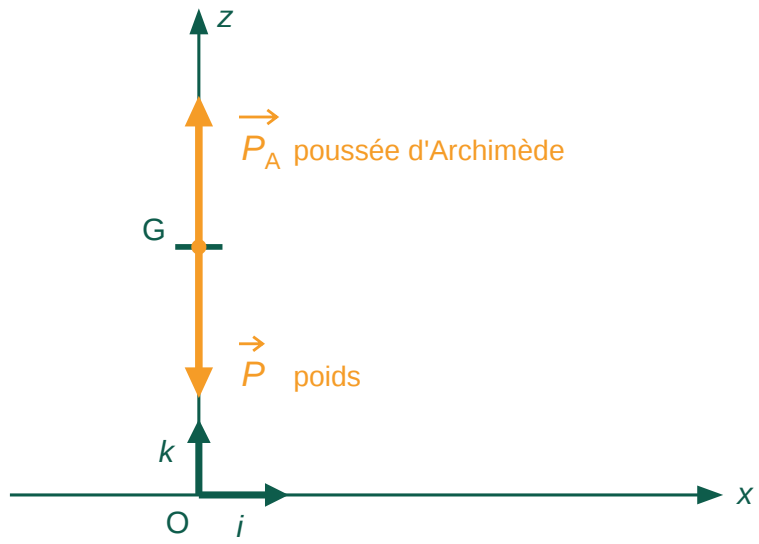
Système {montgolfière}, référentiel terrestre supposé galiléen. Deux forces s'exercent sur lui :

- le poids $\overrightarrow{P}$, vertical, dirigé vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_A}$, verticale, dirigée vers le haut (selon $+\vec{k}$).

La montgolfière est immobile : d'après le principe d'inertie, les forces se compensent.

$\overrightarrow{P} + \overrightarrow{P_A} = \vec{0}$: deux flèches verticales de sens opposés et de même longueur, tracées à partir de G.

PIÈGE
« Sans souci d'échelle » ne dispense pas de tracer deux flèches de même longueur : des longueurs différentes contredisent l'immobilité.



1.2.1 · Figure 2 complétée : les deux forces, appliquées en G, se compensent

1.2.2 Donner l'expression vectorielle du poids $\overrightarrow{P}$ de la montgolfière.

Le poids a pour norme $m\,g$; il est vertical et dirigé vers le bas, donc de sens opposé à $\vec{k}$.

$\overrightarrow{P} = -m\,g\,\vec{k}$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : l'axe (Oz) est orienté vers le haut.

1.2.3 Établir l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_A}$ en fonction de g, m et $\vec{k}$.

La montgolfière est immobile dans un référentiel galiléen : $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{P_A} = \vec{0}$, donc $\overrightarrow{P_A} = -\overrightarrow{P}$.

$\overrightarrow{P_A} = m\,g\,\vec{k}$

1.2.4 En déduire la masse totale embarquée dans la nacelle à cette altitude. Commenter.

Données utiles $\rho_{ext} = 1{,}06\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_{int} = 0{,}80\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V = 2\,200\ \text{m}^3$; $S = 847\ \text{m}^2$; $\varphi_{nylon} = 65\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$; $m_{nacelle} = 56\ \text{kg}$

Les deux expressions de la poussée d'Archimède sont égales : $\rho_{ext}\, V\, g\, \vec{k} = m\, g\, \vec{k}$, donc la masse totale du système est

$$m = \rho_{ext}\, V = 1{,}06 \times 2\,200 = 2{,}33 \times 10^3\ \text{kg}$$

Cette masse totale comprend :

- l'air chaud du ballon : $m_{air} = \rho_{int}\, V = 0{,}80 \times 2\,200 = 1{,}76 \times 10^3$ kg ;
- l'enveloppe : $m_{env} = \varphi_{nylon}\, S = 65 \times 10^{-3} \times 847 = 55$ kg ;
- la nacelle : 56 kg ;
- la masse embarquée m_{emb} (bonbonnes et passagers).

$$m_{emb} = m - m_{air} - m_{env} - m_{nacelle} = 2\,332 - 1\,760 - 55 - 56 = 461\ \text{kg}$$

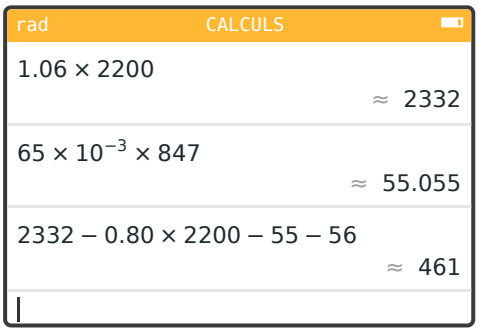
Commentaire : les quatre bonbonnes pèsent $4 \times 40 = 160$ kg. Il reste environ 300 kg pour trois personnes, soit 100 kg chacune : la charge prévue par le constructeur peut être emportée, sans grande marge.

$m_{emb} \approx 4{,}6 \times 10^2$ kg : de quoi embarquer les quatre bonbonnes (160 kg) et trois passagers.

PIÈGE
S'arrêter à $m = 2{,}33 \times 10^3$ kg : c'est la masse de tout le système, dont l'air chaud du ballon (1760 kg) fait partie. La question porte sur ce que la nacelle emporte.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) équilibre pour obtenir la masse totale ; 2) inventaire de tout ce qui compose le système ; 3) soustraction ; 4) comparaison avec les informations du texte pour commenter.

À LA CALCULATRICE



2.1 Nommer les trois modes de transferts thermiques et les caractériser qualitativement.

- **Conduction** : l'énergie se transmet de proche en proche dans la matière, sans déplacement d'ensemble de celle-ci. Elle domine dans les solides.
- **Convection** : l'énergie est transportée par un mouvement d'ensemble de la matière. Elle concerne les fluides (liquides et gaz).
- **Rayonnement** : l'énergie est transportée par des ondes électromagnétiques, émises ou absorbées par la matière. Il ne nécessite aucun milieu matériel et se produit même dans le vide.

Conduction (sans transport de matière), convection (avec transport de matière, dans un fluide), rayonnement (possible dans le vide).

2.2 À l'aide de la figure 3, établir une relation littérale entre les flux thermiques lorsque la montgolfière est à l'équilibre thermique.

Système {ballon}. D'après le sens des flèches de la figure 3, tous les flux étant comptés positivement :

- flux reçus : $P_{\text{ray reçu}}$ et P_{comb} ;
- flux cédés : P_r, Φ et $P_{\text{ouverture}}$.

En régime stationnaire, l'énergie du système ne varie pas : le flux total reçu est égal au flux total cédé.

$$P_{\text{ray reçu}} + P_{\text{comb}} = P_r + \Phi + P_{\text{ouverture}}$$

COMPRENDRE
On peut aussi écrire une somme algébrique nulle, en comptant négativement les flux cédés. Il faut alors garder cette convention de signe jusqu'à la question 2.5.

2.3 Calculer le flux thermique par rayonnement P_r émis par l'enveloppe vers le milieu extérieur.

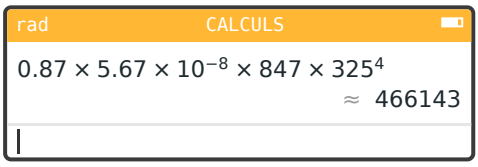
Données utiles $\varepsilon = 0{,}87$; $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W · m^{-2} · K^{-4} ; $S = 847$ m^2 ; $T = 325$ K

$$P_r = \varepsilon\,\sigma\,S\,T^4 = 0{,}87 \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times 847 \times 325^4$$

$$P_r = 4{,}7 \times 10^5 \text{ W}$$

PIÈGE
Oublier la puissance 4, ou prendre la température de l'air intérieur (373 K) au lieu de celle de l'enveloppe (325 K).

À LA CALCULATRICE



2.4 Calculer le flux conducto-convectif Φ.

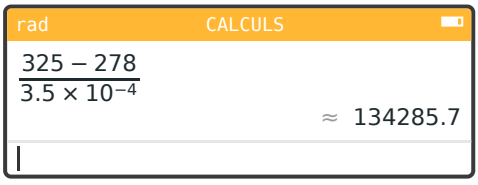
Données utiles $T = 325$ K ; $T_{\text{ext}} = 278$ K ; $R_{\text{th}} = 3{,}5 \times 10^{-4}$ K · W^{-1}

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = \frac{T - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}} = \frac{325 - 278}{3{,}5 \times 10^{-4}}$$

$$\Phi = 1{,}3 \times 10^5 \text{ W}$$

COMPRENDRE
Le transfert se fait de l'enveloppe (chaude) vers l'air extérieur (froid). Avec la convention algébrique, on écrirait $\Phi = -1{,}3 \times 10^5$ W pour le système.

À LA CALCULATRICE



2.5 En déduire que le flux thermique P_{comb} associé à la combustion du propane en régime de croisière est de l'ordre de 4×10^5 W.

Données utiles $P_{\text{ray reçu}} = 1{,}9 \times 10^5$ W ; $P_{\text{ouverture}} = 1{,}8 \times 10^4$ W ; P_r (2.3) ; Φ (2.4)

D'après le bilan de la question 2.2 : $P_{\text{comb}} = P_r + \Phi + P_{\text{ouverture}} - P_{\text{ray reçu}}$

$$P_{\text{comb}} = 4{,}66 \times 10^5 + 1{,}34 \times 10^5 + 1{,}8 \times 10^4 - 1{,}9 \times 10^5 = 4{,}3 \times 10^5 \text{ W}$$

$P_{\text{comb}} = 4{,}3 \times 10^5$ W, bien de l'ordre de 4×10^5 W.

PIÈGE
$P_{\text{ouverture}}$ est en 10^4 W et non en 10^5 W : une addition faite trop vite donne un résultat faux.

MÉTHODE
Dans un calcul en chaîne, on reprend les valeurs non arrondies des questions précédentes et on n'arrondit qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$466\,143 + 134\,286 + 1.8 \times 10^4 - 1.9 \times 10^5$

$\approx$ 428429

2.6 Montrer que le flux thermique associé à la combustion du propane lorsque le brûleur fonctionne est de l'ordre de 3×10^6 W.

Données utiles $E_{\text{comb}} = 46{,}4\ \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; 68 g de propane brûlés par seconde

En une durée $\Delta t = 1{,}0$ s, le brûleur consomme $m_{\text{prop}} = 68 \times 10^{-3}$ kg de propane, ce qui libère l'énergie $E = m_{\text{prop}}\, E_{\text{comb}}$.

Le flux thermique est l'énergie libérée par unité de temps :

$$P'_{\text{comb}} = \frac{m_{\text{prop}}\, E_{\text{comb}}}{\Delta t} = \frac{68 \times 10^{-3} \times 46{,}4 \times 10^6}{1{,}0} = 3{,}2 \times 10^6\ \text{W}$$

$P'_{\text{comb}} = 3{,}2 \times 10^6$ W, bien de l'ordre de 3×10^6 W.

PIÈGE

Deux conversions à faire : 68 g $= 68 \times 10^{-3}$ kg et 46,4 MJ $= 46{,}4 \times 10^6$ J.

COMPRENDRE

Ce flux est environ sept fois plus grand que le flux moyen nécessaire (2.5) : le brûleur n'a donc besoin de fonctionner qu'une petite fraction du temps.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{68 \times 10^{-3} \times 46.4 \times 10^6}{1.0}$$

$\approx$ 3155200

2.7 Dans les conditions de l'étude, déterminer la durée maximale de vol possible avec le propane embarqué. Commenter.

Données utiles figure 4 ; quatre bonbonnes de 20 kg de propane ; 68 g de propane brûlés par seconde

Lecture de la figure 4 : le brûleur fonctionne de 17,8 s à 20 s, soit pendant $\tau \approx 2{,}2$ s, et ce cycle se répète avec la période $T_{\text{brûleur}} = 20$ s.

Masse de propane brûlée par cycle : $m_{\text{cycle}} = 68 \times 10^{-3} \times 2{,}2 = 0{,}15$ kg.

Masse de propane embarquée : $m_{\text{tot}} = 4 \times 20 = 80$ kg.

Nombre de cycles possibles : $N = \dfrac{m_{\text{tot}}}{m_{\text{cycle}}}$, d'où la durée maximale de vol :

$$\Delta t_{\max} = N\,T_{\text{brûleur}} = \frac{80}{68 \times 10^{-3} \times 2{,}2} \times 20 = 1{,}1 \times 10^{4}\ \text{s} \approx 3{,}0\ \text{h}$$

Commentaire : cette autonomie vaut environ trois fois la durée moyenne d'une sortie (une heure). La réserve de propane laisse donc une marge de sécurité confortable, utile puisque le lieu et le moment de l'atterrissage ne sont pas connus à l'avance.

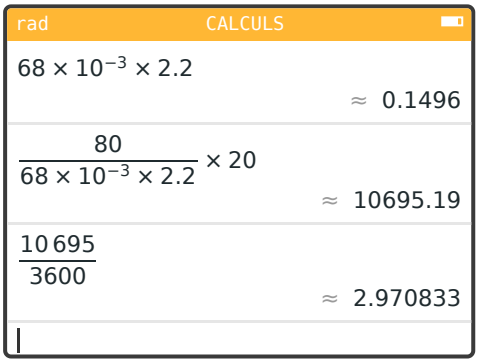
$\Delta t_{\max} \approx 3$ h, soit trois fois la durée moyenne d'un vol.

PIÈGE
Diviser 80 kg par 68 $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ donne 20 min : c'est la durée de fonctionnement continu du brûleur, pas la durée du vol.

COMPRENDRE
La lecture de τ est délicate. Avec $\tau = 2{,}0$ s, on trouve 3,3 h : la conclusion ne change pas, et une lecture soignée et annoncée est acceptée.

COMPRENDRE
Autre démarche possible : énergie disponible $80 \times 46{,}4 \times 10^{6}$ J divisée par le flux moyen $4{,}3 \times 10^{5}$ W (2.5), soit 2,4 h. Même ordre de grandeur.

À LA CALCULATRICE



L'encre et son effaceur

Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1.1 Justifier la couleur de la solution S_{encre}.

Données utiles figure 3 (spectre d'absorption) ; figure 2 (cercle chromatique)

Sur la figure 3, l'absorbance est maximale pour $\lambda_{\max} \approx 590\ \text{nm}$: la solution absorbe surtout les radiations jaune-orangé.

La couleur perçue est la couleur complémentaire, diamétralement opposée sur le cercle chromatique (figure 2) : en face de la limite jaune-orange se trouve la limite bleu-violet.

La solution S_{encre} absorbe le jaune-orangé (vers 590 nm) : elle apparaît **bleue** (bleu-violet).

PIÈGE
Dire que la solution est bleue « parce qu'elle absorbe le bleu ». Une solution colorée absorbe la couleur complémentaire de celle que l'on voit.

1.2 Nommer la verrerie nécessaire pour réaliser la solution fille S_1.

Données utiles $V_0 = 10{,}0\ \text{mL}$; $V_f = 100{,}0\ \text{mL}$

Il s'agit d'une dilution : on prélève $10{,}0\ \text{mL}$ de solution mère S_0 et on complète à $100{,}0\ \text{mL}$ avec de l'eau distillée.

- une **pipette jaugée de 10,0 mL** (munie d'un pipeteur) pour le prélèvement ;
- une **fiole jaugée de 100,0 mL** pour la solution fille ;
- un bécher pour verser un peu de solution mère avant de prélever.

Pipette jaugée de $10{,}0\ \text{mL}$ et fiole jaugée de $100{,}0\ \text{mL}$.

COMPRENDRE
Les volumes sont donnés au dixième de millilitre : seule la verrerie jaugée offre cette précision. Une éprouvette graduée ou un bécher ne conviennent pas pour mesurer V_0 ou V_f.

1.3 Déterminer la concentration en quantité de matière de la solution fille S_2, manquante dans le tableau.

Données utiles $c_0 = 6{,}78 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_0 = 20{,}0\ \text{mL}$; $V_f = 100{,}0\ \text{mL}$

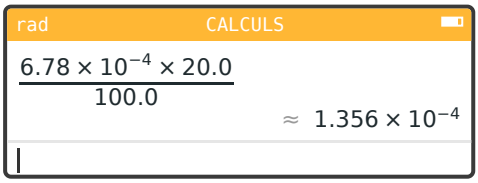
Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve : $c_0\,V_0 = c_2\,V_f$, donc

$$c_2 = \frac{c_0\,V_0}{V_f} = \frac{6{,}78 \times 10^{-4} \times 20{,}0}{100{,}0}$$

$c_2 = 1{,}36 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c_0 et V_0. Les deux volumes peuvent rester en mL : seul leur rapport intervient. La solution est diluée 5 fois, sa concentration est divisée par 5.

À LA CALCULATRICE



1.4 L'absorbance de S_{encre} vaut 0,9 à la longueur d'onde de l'étude. Déterminer la masse de bleu d'aniline contenue dans une cartouche d'encre.

Données utiles figure 4 : $A = 5{,}273 \times c$ avec c en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $A = 0{,}9$; $V = 200{,}0\ \text{mL}$; $M = 737{,}7\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La courbe d'étalonnage est une droite passant par l'origine (loi de Beer-Lambert). Concentration en bleu d'aniline de S_{encre} :

$$c = \frac{A}{5{,}273} = \frac{0{,}9}{5{,}273} = 0{,}17\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 1{,}7 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Toute la cartouche a été vidée dans la fiole de $200{,}0\ \text{mL}$: la masse cherchée est celle contenue dans S_{encre}.

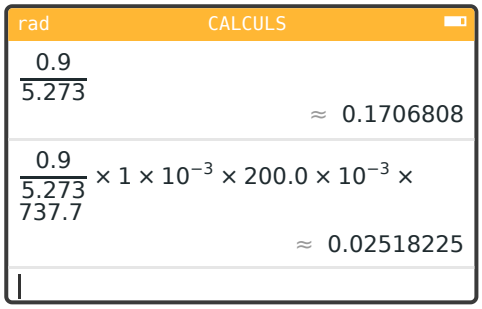
$$m = c\,V\,M = \frac{0{,}9}{5{,}273} \times 10^{-3} \times 200{,}0 \times 10^{-3} \times 737{,}7 = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{g}$$

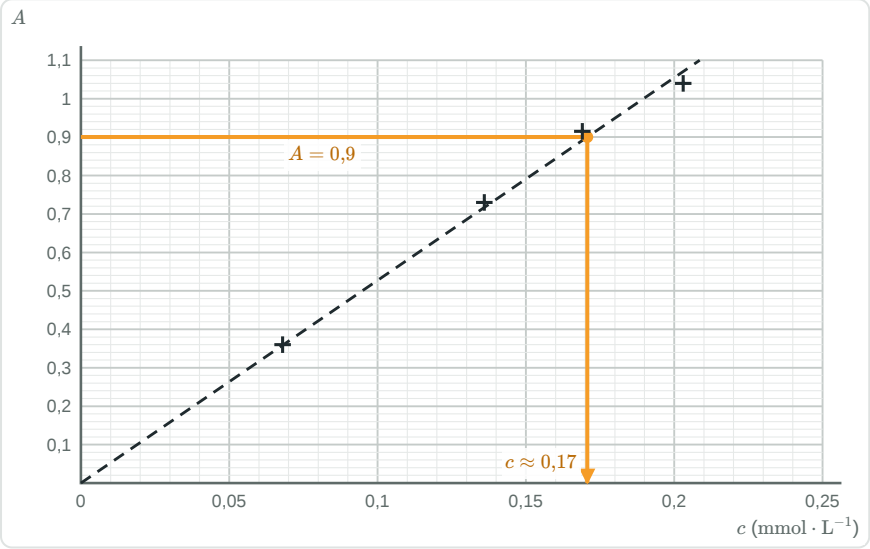
$m \approx 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{g} = 25\ \text{mg}$ de bleu d'aniline dans une cartouche.

PIÈGE
L'équation de la droite donne c en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$: il faut multiplier par 10^{-3} avant de calculer une masse en grammes, et convertir $200{,}0\ \text{mL}$ en litres.

COMPRENDRE
L'absorbance 0,9 n'a qu'un chiffre significatif : en toute rigueur $m \approx 3 \times 10^{-2}$ g. On garde 25 mg, valeur reprise par l'énoncé à la question 2.3.

À LA CALCULATRICE





1.4 · Figure 4 du sujet, avec la lecture pour la solution d'encre

2.1 Établir l'équation de la réaction modélisant la transformation entre les ions HSO_3^- et les ions HBleu^{2-}.

Données utiles couples $\text{HBleu}^{2-}/\text{H}_3\text{Bleu}^{2-}$ et $\text{HSO}_4^-/\text{HSO}_3^-$

HBleu^{2-} est l'oxydant de son couple, HSO_3^- le réducteur du sien.

Réduction : $\text{HBleu}^{2-} + 2\,\text{H}^+ + 2\,\text{e}^- = \text{H}_3\text{Bleu}^{2-}$

Oxydation : $\text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O} = \text{HSO}_4^- + 2\,\text{H}^+ + 2\,\text{e}^-$

Les deux demi-équations échangent 2 électrons : on les additionne, les ions H^+ se simplifient. Tous les ions sont en solution aqueuse (aq), l'eau est liquide (l).

$$\text{HBleu}^{2-} + \text{HSO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{Bleu}^{2-} + \text{HSO}_4^-$$

MÉTHODE
Pour chaque demi-équation : équilibrer l'élément autre que H et O, puis O avec H_2O, puis H avec H^+, enfin les charges avec des électrons. Vérifier que l'équation finale ne contient plus d'électrons.

2.2 Justifier l'utilité de la présence dans l'effaceur d'une solution contenant des ions hydrogénosulfite.

Seuls les ions HBleu^{2-} colorent l'encre. Les ions hydrogénosulfite HSO_3^- les réduisent en ions $\text{H}_3\text{Bleu}^{2-}$, et se transforment en ions HSO_4^- : ces deux produits sont incolores, comme HSO_3^-.

Les ions hydrogénosulfite consomment l'espèce colorée HBleu^{2-} et ne forment que des espèces incolores : la couleur de l'encre disparaît.

2.3 Une cartouche de 0,75 mL contient 25 mg de bleu d'aniline et 20 gouttes d'encre occupent 1 mL. Déterminer le réactif limitant de la transformation. Commenter.

Données utiles 5 gouttes d'encre dans $100{,}0\ \text{mL}$; mélange de $4\ \text{mL}$ de solution d'encre et de $1\ \text{mL}$ de solution d'hydrogénosulfite à $9{,}0\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $M = 737{,}7\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Bleu d'aniline dans 5 gouttes. Volume : $\dfrac{5}{20}\times 1 = 0{,}25\ \text{mL}$. Par proportionnalité avec la cartouche :

$$m = 25\times\frac{0{,}25}{0{,}75} = 8{,}3\ \text{mg} \qquad n = \frac{m}{M} = \frac{8{,}3\times10^{-3}}{737{,}7} = 1{,}1\times10^{-5}\ \text{mol}$$

Bleu d'aniline dans le mélange. Cette quantité est répartie dans $100{,}0\ \text{mL}$ et l'on en prélève $4\ \text{mL}$:

$$n_i(\text{HBleu}^{2-}) = 1{,}13\times10^{-5}\times\frac{4}{100{,}0} = 4{,}5\times10^{-7}\ \text{mol}$$

Ions hydrogénosulfite. $n_i(\text{HSO}_3^-) = CV = 9{,}0\times10^{-2}\times1\times10^{-3} = 9{,}0\times10^{-5}\ \text{mol}$

Comparaison. Les nombres stœchiométriques valent tous 1 (Q2.1) et $n_i(\text{HBleu}^{2-}) < n_i(\text{HSO}_3^-)$. L'eau est le solvant, en large excès.

Le réactif limitant est l'ion HBleu^{2-} (bleu d'aniline) : $4{,}5\times10^{-7}\ \text{mol}$ contre $9{,}0\times10^{-5}\ \text{mol}$ d'ions HSO_3^-, environ 200 fois plus.

Commentaire. L'espèce colorée est entièrement consommée : la solution finit incolore, ce que confirme la figure 5 où l'absorbance tend vers 0.

PIÈGE

Comparer des concentrations, ou oublier l'une des deux étapes : seules 5 gouttes de la cartouche sont diluées, puis seuls $4\ \text{mL}$ sur les $100{,}0\ \text{mL}$ sont utilisés. On compare des quantités de matière dans le mélange.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer le plan (quantité de chaque réactif, puis comparaison selon la stœchiométrie), garder les valeurs non arrondies en mémoire et conclure par une phrase. Une démarche claire rapporte des points même inachevée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{25\times0.25}{0.75} \approx 8.333333$

$\dfrac{\frac{25\times0.25}{0.75}\times1\times10^{-3}}{737.7} \approx 1.129637\times10^{-5}$

$\dfrac{\frac{25\times0.25}{0.75}\times1\times10^{-3}}{\frac{737.7}{100.0}}\times4 \approx 4.518549\times10^{-7}$

$9.0\times10^{-2}\times1\times10^{-3} \approx 9\times10^{-5}$

$\dfrac{9.0\times10^{-5}}{4.52\times10^{-7}} \approx 199.115$

2.4 Estimer le temps de demi-réaction. Commenter le résultat.

Données utiles figure 5 : $A(0) \approx 1{,}15$; HBleu^{2-} réactif limitant (Q2.3)

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale ; ici, la moitié du réactif limitant HBleu^{2-} a alors disparu.

HBleu^{2-} est la seule espèce colorée : d'après la loi de Beer-Lambert, A est proportionnelle à sa concentration. L'absorbance finale étant presque nulle :

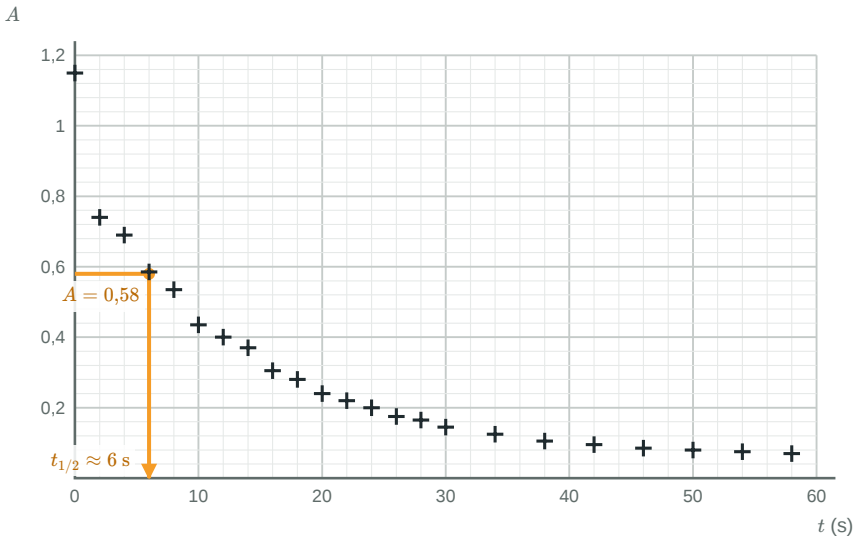
$$A(t_{1/2}) = \frac{A(0)}{2} \approx \frac{1{,}15}{2} \approx 0{,}58$$

Sur la figure 5, cette absorbance est atteinte à la date $t \approx 6$ s.

$t_{1/2} \approx 6$ s

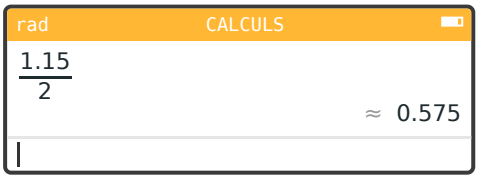
Commentaire. Cette durée est très courte : l'essentiel de la couleur disparaît en quelques secondes et l'absorbance n'évolue presque plus au-delà d'une minute. L'effaceur agit donc rapidement, comme attendu, tout en restant assez lent pour un suivi par spectrophotométrie.

PIÈGE
Prendre la moitié de la durée totale de l'expérience (environ 90 s). Le temps de demi-réaction se lit sur l'axe des ordonnées d'abord : on cherche la date où A a été divisée par deux.



2.4 · Figure 5 du sujet (début de l'enregistrement), avec la lecture de $t_{1/2}$

À LA CALCULATRICE



Etude d'une pile au laboratoire

Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Rédiger le protocole expérimental précis permettant de préparer 50,0 mL de la solution S à partir du sulfate d'aluminium en poudre.

Données utiles $C = 0{,}100\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 50{,}0\ \text{mL}$; $M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 342{,}15\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse de soluté à dissoudre : $m = n \times M = C \times V \times M$

$m = 0{,}100 \times 50{,}0 \times 10^{-3} \times 342{,}15 = 1{,}71\ \text{g}$

Protocole :

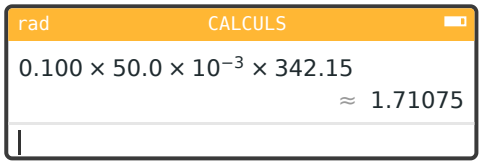
- placer une coupelle sur une balance au centigramme, tarer, puis peser $1{,}71$ g de sulfate d'aluminium ;
- introduire le solide dans une fiole jaugée de $50{,}0$ mL avec un entonnoir, rincer la coupelle et l'entonnoir à l'eau distillée en récupérant l'eau de rinçage dans la fiole ;
- remplir la fiole aux deux tiers environ d'eau distillée, boucher, agiter jusqu'à dissolution complète ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque), boucher et homogénéiser.

Dissoudre $m = 1{,}71$ g de sulfate d'aluminium dans une fiole jaugée de $50{,}0$ mL.

PIÈGE
Un protocole « précis » nomme la verrerie avec sa contenance (fiole jaugée de 50,0 mL) et donne la masse calculée. Un bécher ou une éprouvette graduée ne donne pas un volume assez exact.

COMPRENDRE
Les données C et V ont trois chiffres significatifs : la masse s'écrit avec trois chiffres, soit $1{,}71$ g, ce qui correspond à une balance au centième de gramme.

À LA CALCULATRICE



2 Calculer les concentrations en quantité de matière des ions aluminium Al^{3+} et des ions sulfate $\text{SO}_4{}^{2-}$ dans la solution S.

Données utiles $C = 0{,}100\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Équation de la dissolution : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\,(\text{s}) \longrightarrow 2\,\text{Al}^{3+}\,(\text{aq}) + 3\,\text{SO}_4{}^{2-}\,(\text{aq})$

Une mole de soluté apporté libère 2 moles d'ions aluminium et 3 moles d'ions sulfate, dans le même volume de solution :

$[\text{Al}^{3+}] = 2\,C = 2 \times 0{,}100 = 0{,}200\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$[\text{SO}_4{}^{2-}] = 3\,C = 3 \times 0{,}100 = 0{,}300\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$[\text{Al}^{3+}] = 0{,}200\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[\text{SO}_4{}^{2-}] = 0{,}300\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

MÉTHODE
Vérifier l'électroneutralité de la solution : $3 \times 0{,}200 = 2 \times 0{,}300 = 0{,}600\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de charges positives et négatives. Si l'égalité est fausse, un coefficient a été oublié.

3 Déterminer le pôle positif de la pile à l'aide du montage expérimental de la figure 1.

Données utiles borne COM sur la plaque d'aluminium ; $U = 0{,}92$ V

Un voltmètre affiche la différence de potentiel entre sa borne V et sa borne COM. La borne COM est sur l'aluminium, donc la borne V est sur le cuivre :

$U = V_{\text{Cu}} - V_{\text{Al}} = 0{,}92\ \text{V} > 0$, donc $V_{\text{Cu}} > V_{\text{Al}}$.

Le pôle positif est l'électrode dont le potentiel est le plus élevé.

Le pôle positif est la plaque de cuivre ; la plaque d'aluminium est le pôle négatif.

PIÈGE
Répondre « le cuivre » sans s'appuyer sur le signe de la tension et sur la position de la borne COM ne rapporte pas les points : la question demande d'exploiter le montage.

4 Compléter le schéma de l'annexe en indiquant la polarité de la pile, le sens du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge dans la pile et à l'extérieur de la pile.

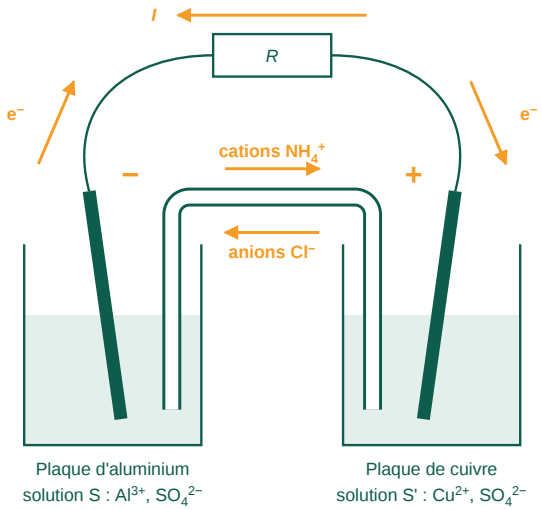
À l'extérieur de la pile, le courant d'intensité I sort par le pôle positif (cuivre), traverse le conducteur ohmique et rentre par le pôle négatif (aluminium). Les porteurs de charge y sont les électrons, qui circulent en sens inverse du courant : de l'aluminium vers le cuivre.

Dans la pile (solutions et pont salin), les porteurs de charge sont les ions : les cations (NH_4^+, Cu^{2+}, Al^{3+}) migrent vers la plaque de cuivre, les anions (Cl^-, SO_4^{2-}) vers la plaque d'aluminium.

Courant : du cuivre (+) vers l'aluminium (−) dans le circuit extérieur ; électrons en sens inverse ; cations vers le cuivre, anions vers l'aluminium.

PIÈGE
Dessiner des électrons dans les solutions ou dans le pont salin. Les électrons ne circulent que dans les métaux et les fils ; en solution, seuls les ions se déplacent.

COMPRENDRE
Du côté du cuivre, des ions Cu^{2+} disparaissent : des cations arrivent pour compenser. Du côté de l'aluminium, des ions Al^{3+} apparaissent : des anions arrivent. Chaque solution reste ainsi électriquement neutre.



4 · Annexe complétée : polarité, courant et porteurs de charge (en orange)

5 Établir les équations modélisant les réactions aux électrodes lors du fonctionnement de la pile, puis en déduire l'équation de la réaction de fonctionnement donnée par le sujet.

Données utiles couples $Cu^{2+}(aq)$ / $Cu(s)$ et $Al^{3+}(aq)$ / $Al(s)$; polarité (Q3)

Les électrons quittent la pile par son pôle négatif : l'aluminium cède des électrons, il est oxydé.

Plaque d'aluminium (oxydation) : $Al(s) = Al^{3+}(aq) + 3\,e^-$

Les électrons arrivent sur la plaque de cuivre, où ils sont captés par les ions cuivre(II), qui sont réduits.

Plaque de cuivre (réduction) : $Cu^{2+}(aq) + 2\,e^- = Cu(s)$

Le nombre d'électrons cédés est égal au nombre d'électrons captés : on multiplie la première demi-équation par 2 et la seconde par 3 (6 électrons échangés), puis on additionne.

$3\,Cu^{2+}(aq) + 2\,Al(s) \rightleftharpoons 3\,Cu(s) + 2\,Al^{3+}(aq)$: c'est l'équation attendue.

MÉTHODE
Chercher le plus petit multiple commun des nombres d'électrons des deux demi-équations (ici 6), puis vérifier dans le bilan la conservation des éléments et des charges : $3 \times 2 = 2 \times 3 = 6$ charges positives de chaque côté.

6 Montrer que la valeur initiale du quotient de réaction du système vaut $Q_r = 40$. Conclure quant à l'évolution du système.

Données utiles $[Al^{3+}]_i = 0{,}200\ mol \cdot L^{-1}$ (Q2) ; $[Cu^{2+}]_i = C = 0{,}100\ mol \cdot L^{-1}$; $K \approx 10^{200}$

Les solides n'apparaissent pas dans le quotient de réaction. Avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$:

$$Q_{r,i} = \frac{\left(\frac{[Al^{3+}]_i}{c^\circ}\right)^2}{\left(\frac{[Cu^{2+}]_i}{c^\circ}\right)^3} = \frac{0{,}200^2}{0{,}100^3} = 40{,}0$$

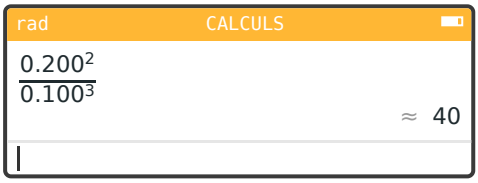
$Q_{r,i} = 40 < K \approx 10^{200}$: le système n'est pas à l'équilibre et évolue spontanément dans le sens direct de l'équation, celui de la consommation des ions Cu^{2+} et de l'aluminium.

$Q_{r,i} = 40{,}0$, valeur attendue (40) ; $Q_{r,i} < K$: évolution dans le sens direct.

PIÈGE
Prendre $[Al^{3+}]_i = C$ au lieu de $2\,C$: on trouve alors 10 et non 40. Ne pas oublier non plus les exposants, égaux aux nombres stœchiométriques.

COMPRENDRE
K est gigantesque : la transformation est totale. Elle ne s'arrête pas à un équilibre mais à l'épuisement du réactif limitant, ce qui justifie la question suivante.

À LA CALCULATRICE



7.1 Déterminer quel est le réactif limitant.

Données utiles $m(Al) = 19{,}2\ g$; $M(Al) = 27{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $C = 0{,}100\ mol \cdot L^{-1}$; $V = 50{,}0\ mL$

Quantités initiales des réactifs :

$$n_0(Al) = \frac{m}{M} = \frac{19{,}2}{27{,}0} = 0{,}711\ mol$$

$$n_0(Cu^{2+}) = C \times V = 0{,}100 \times 50{,}0 \times 10^{-3} = 5{,}00 \times 10^{-3}\ mol$$

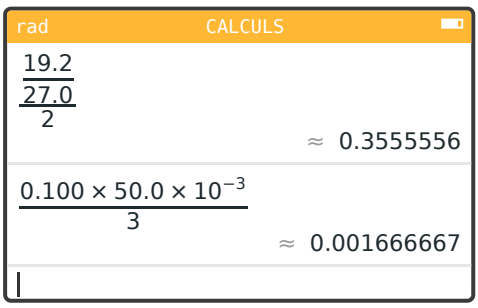
On compare ces quantités divisées par les nombres stœchiométriques :

$$\frac{n_0(Al)}{2} = 0{,}356\ mol \qquad \frac{n_0(Cu^{2+})}{3} = 1{,}67 \times 10^{-3}\ mol$$

$\frac{n_0(Cu^{2+})}{3} < \frac{n_0(Al)}{2}$: le réactif limitant est l'ion cuivre(II) Cu^{2+}.

PIÈGE
Comparer directement $n_0(Al)$ et $n_0(Cu^{2+})$ sans diviser par 2 et par 3. La conclusion est la même ici, mais le raisonnement n'est pas valable.

À LA CALCULATRICE



7.2 Déterminer la capacité électrique Q de la pile du laboratoire, puis la comparer à celle des piles commerciales de type « AA ».

Données utiles $n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) = 5{,}00 \times 10^{-3}$ mol (Q7.1) ; $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$; $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C ; pile AA : 2800 mAh ; 1 mAh = 3,60 C

La capacité est la charge totale que la pile peut faire circuler, jusqu'à épuisement des ions $\mathrm{Cu^{2+}}$.

D'après $\mathrm{Cu^{2+}(aq) + 2\,e^- = Cu(s)}$, chaque ion cuivre(II) consommé correspond à 2 électrons échangés : $n(\mathrm{e^-}) = 2\,n_0(\mathrm{Cu^{2+}})$.

$Q = n(\mathrm{e^-}) \times N_A \times e = 2\,n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) \times N_A \times e$

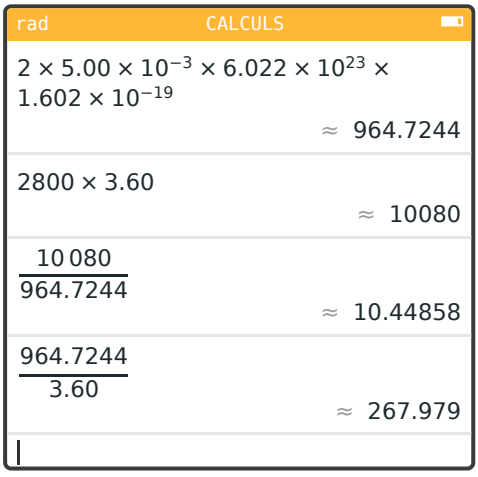
$Q = 2 \times 5{,}00 \times 10^{-3} \times 6{,}022 \times 10^{23} \times 1{,}602 \times 10^{-19} = 965$ C

Pile AA : $Q_{AA} = 2800 \times 3{,}60 = 1{,}01 \times 10^4$ C, d'où $\dfrac{Q_{AA}}{Q} = \dfrac{1{,}01 \times 10^4}{965} \approx 10$.

$Q = 965$ C (soit 268 mAh) : la capacité de la pile du laboratoire est environ 10 fois plus faible que celle d'une pile AA.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 (deux électrons par ion $\mathrm{Cu^{2+}}$) ou utiliser le 6 de l'équation bilan sans le rapporter aux 3 ions $\mathrm{Cu^{2+}}$. Comparer aussi dans la même unité : tout en coulombs ou tout en mAh.

À LA CALCULATRICE



8 Identifier un paramètre de la composition de la pile de laboratoire à faire évoluer pour augmenter sa capacité électrique, en précisant comment il doit évoluer. Justifier.

La capacité $Q = 2\,C \times V \times N_A \times e$ est proportionnelle à la quantité initiale du réactif limitant, l'ion $\mathrm{Cu^{2+}}$.

Il faut donc augmenter cette quantité : augmenter la concentration C de la solution de sulfate de cuivre (ou son volume). L'aluminium étant en large excès, augmenter sa masse ne changerait rien.

Augmenter la concentration (ou le volume) de la solution de sulfate de cuivre : Q est proportionnelle à $n_0(\mathrm{Cu^{2+}})$.

COMPRENDRE
L'aluminium reste en excès tant que $n_0(\mathrm{Cu^{2+}}) < 1{,}07$ mol, soit plus de 200 fois la quantité actuelle : la marge de progression est grande.

Synthèse de l'acide caprylique par sonochimie

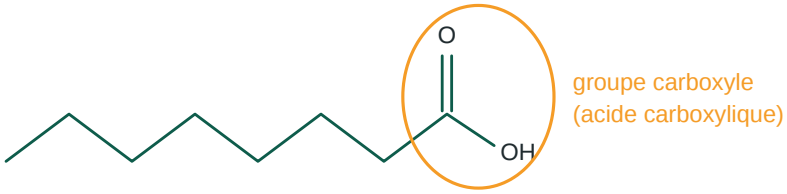
Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1.1 Recopier la formule topologique de l'acide caprylique, entourer son groupe caractéristique et nommer la fonction chimique associée.

La molécule compte huit atomes de carbone ; le groupe caractéristique est en bout de chaîne (voir la formule ci-dessous).

Groupe **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$ entouré : fonction **acide carboxylique**.

PIÈGE
Entourer seulement $\mathrm{C{=}O}$ ou seulement $-\mathrm{OH}$: le groupe carboxyle réunit le carbone, l'oxygène doublement lié et le groupe hydroxyle. Compter aussi les sommets : sept sur le zigzag, plus le carbone du groupe.



1.1 · Formule topologique de l'acide caprylique, groupe caractéristique entouré

1.2.1 Écrire l'équation de la réaction acide-base modélisant la transformation entre l'acide caprylique, noté $\mathrm{R{-}CO_2H}$, et l'eau.

L'acide cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, qui joue le rôle de base :

$$\mathrm{R{-}CO_2H\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons R{-}CO_2^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

COMPRENDRE
Couples mis en jeu : $\mathrm{R{-}CO_2H}$ / $\mathrm{R{-}CO_2^-}$ et $\mathrm{H_3O^+}$ / $\mathrm{H_2O}$. La double flèche annonce une transformation qui peut être limitée, ce que la question suivante vérifie.

1.2.2 Déterminer le taux d'avancement de cette transformation. En déduire si l'acide caprylique est un acide fort ou un acide faible.

Données utiles $m = 0{,}68$ g ; $V = 1{,}00$ L ; pH $= 3{,}6$; $M = 144\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $c^\circ = 1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Avancement final : d'après l'équation, $x_f = n_f(\mathrm{H_3O^+}) = [\mathrm{H_3O^+}]_f \times V = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}} \times V$.

Avancement maximal : l'eau est en large excès, l'acide est limitant, donc $x_{max} = n_0 = \dfrac{m}{M}$.

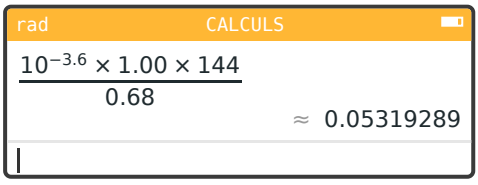
$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}} \times V \times M}{m} = \frac{1 \times 10^{-3{,}6} \times 1{,}00 \times 144}{0{,}68}$$

$\tau = 5{,}3 \times 10^{-2}$, soit environ 5 % : $\tau < 1$, la transformation est limitée, l'acide caprylique est un acide **faible**.

PIÈGE
Confondre x_f, déduit du pH mesuré, et x_{max}, déduit de la masse dissoute. Ne pas oublier la masse molaire : 0,68 g n'est pas une quantité de matière.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse 0,68 g. Seuls 5 % environ des molécules d'acide ont réagi avec l'eau : un acide fort donnerait $\tau = 1$, soit un pH égal à $-\log(n_0/V) \approx 2{,}3$.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Représenter le diagramme de prédominance du couple auquel appartient l'acide caprylique. En déduire la forme prépondérante dans la solution préparée.

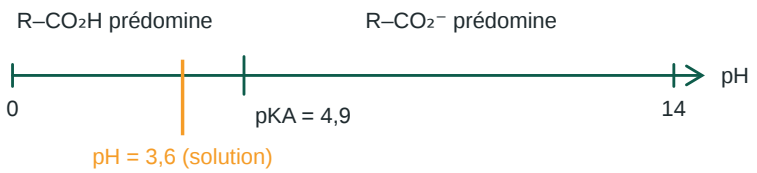
Données utiles $\mathrm{p}K_A = 4{,}9$; $\mathrm{pH} = 3{,}6$

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$ l'acide $\mathrm{R{-}CO_2H}$ prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$ c'est la base $\mathrm{R{-}CO_2^-}$ (diagramme ci-dessous).

Dans la solution préparée, $\mathrm{pH} = 3{,}6 < \mathrm{p}K_A = 4{,}9$.

La forme prépondérante est la forme acide $\mathrm{R{-}CO_2H}$.

COMPRENDRE
Résultat cohérent avec la question précédente : si 5 % seulement de l'acide a réagi, environ 95 % reste sous la forme $\mathrm{R{-}CO_2H}$.



1.2.3 · Diagramme de prédominance du couple de l'acide caprylique

2.1 Justifier, à l'aide de la figure 1, que ces ultrasons peuvent être utilisés en sonochimie.

Données utiles fréquence utilisable en sonochimie : entre 20 kHz et 1 MHz

Sur la figure 1, deux maximums successifs sont séparés par une période. Entre le maximum à $t = 0$ et celui à $t = 50$ µs on compte deux périodes : $2T = 50$ µs, donc $T = 25$ µs $= 25 \times 10^{-6}$ s.

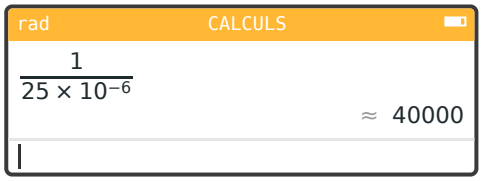
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{25 \times 10^{-6}} = 4{,}0 \times 10^4 \text{ Hz}$$

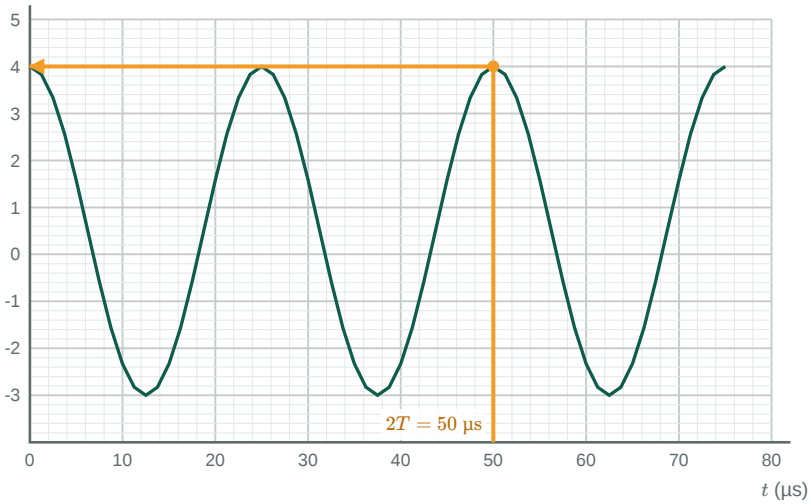
$f = 40$ kHz : valeur comprise entre 20 kHz et 1 MHz, ces ultrasons conviennent à la sonochimie.

PIÈGE
Laisser T en microseconde : $1/25$ donne 0,04, qui n'est pas une fréquence en hertz.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser réduit l'incertitude de lecture. Convertir ensuite la période en seconde avant de calculer la fréquence en hertz.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Figure 1 du sujet : deux périodes séparent les maximums situés à 0 et à 50 µs

2.2 Le milieu réactionnel initial comporte deux phases. Donner la nature et la position relative de chacune des phases. Justifier.

Données utiles $\rho(\text{octan-1-ol}) = 0{,}82\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $\rho(\text{solution d'acide nitrique}) = 1{,}4\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

Le mélange contient une phase organique, l'octan-1-ol, et une phase aqueuse, la solution d'acide nitrique : ces deux liquides ne sont pas miscibles.

La phase la moins dense surnage. Or $0{,}82\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1} < 1{,}4\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

Phase supérieure : octan-1-ol (phase organique) ; phase inférieure : solution aqueuse d'acide nitrique.

COMPRENDRE
L'octan-1-ol possède une longue chaîne carbonée, peu d'affinité avec l'eau : il ne se mélange pas à la solution aqueuse. Les ultrasons agitent ce milieu à deux phases et favorisent le contact entre réactifs.

2.3 Citer deux avantages de la sonochimie.

D'après l'introduction et les schémas des deux transformations :

- le rendement est plus élevé : plus de 90 % avec ultrasons, contre 75 % sans ;
- la durée est bien plus courte : 20 min au lieu de 12 h.

Deux avantages : meilleur rendement et transformation beaucoup plus rapide (on peut aussi citer la réduction des déchets).

PIÈGE
Ne pas écrire que les ultrasons « donnent le même produit plus vite » : sans ultrasons, le produit obtenu est différent (groupe $-\text{ONO}_2$ au lieu de l'acide carboxylique).

2.4 Montrer que le spectre IR obtenu (figure 2) peut être celui de l'acide caprylique.

Données utiles $\text{O}-\text{H}$ acide carboxylique : 2500 - 3200 cm^{-1} (F à m) ; $\text{C}=\text{O}$ acide carboxylique : 1680 - 1720 cm^{-1} (F)

Le spectre présente :

- une bande forte et très large, entre 2500 et 3200 cm^{-1} environ : liaison $\text{O}-\text{H}$ d'un acide carboxylique ;
- une bande forte et fine vers 1700 cm^{-1}, dans l'intervalle 1680 - 1720 cm^{-1} : liaison $\text{C}=\text{O}$ d'un acide carboxylique.

Il n'y a pas de bande $\text{O}-\text{H}$ d'alcool au-delà de 3200 cm^{-1} : l'octan-1-ol de départ est absent.

Les deux bandes du groupe carboxyle sont présentes : le spectre peut être celui de l'acide caprylique.

COMPRENDRE
Les pics fins vers 2900 cm^{-1}, posés sur la bande large, viennent des liaisons $\text{C}-\text{H}$ de la chaîne carbonée. Le spectre confirme un groupe, pas la molécule entière : d'où « peut être ».

MÉTHODE
Pour chaque bande, donner trois éléments : la position lue, l'allure (large ou fine, forte ou moyenne), puis la liaison du tableau. Citer aussi une bande absente quand elle écarte le réactif.

2.5 Calculer le rendement de la synthèse réalisée. Commenter.

Données utiles octan-1-ol : $V_1 = 6{,}3$ mL, $\rho_1 = 0{,}82\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $M_1 = 130\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; solution d'acide nitrique : $V_2 = 3{,}6$ mL, $\rho_2 = 1{,}4\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 65 % en masse, $M_2 = 63\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; acide caprylique : $M_3 = 144\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $m_{exp} = 5{,}5$ g

Quantités initiales :

$n_1 = \dfrac{\rho_1 \times V_1}{M_1} = \dfrac{0{,}82 \times 6{,}3}{130} = 4{,}0 \times 10^{-2}$ mol d'octan-1-ol ;

$n_2 = \dfrac{0{,}65 \times \rho_2 \times V_2}{M_2} = \dfrac{0{,}65 \times 1{,}4 \times 3{,}6}{63} = 5{,}2 \times 10^{-2}$ mol d'acide nitrique.

D'après le schéma de la transformation, une mole d'octan-1-ol réagit avec une mole d'acide nitrique et donne une mole d'acide caprylique. Comme $n_1 < n_2$, l'octan-1-ol est le réactif limitant.

Masse maximale d'acide caprylique : $m_{max} = n_1 \times M_3 = 4{,}0 \times 10^{-2} \times 144 = 5{,}7$ g.

$$\eta = \frac{m_{exp}}{m_{max}} = \frac{5{,}5}{5{,}7}$$

$\eta = 0{,}96$, soit 96 % : rendement supérieur à 90 %, en accord avec la valeur annoncée pour la synthèse sous ultrasons.

PIÈGE

Oublier le facteur 0,65 : la solution ne contient que 65 % d'acide nitrique en masse. Convertir aussi le volume en masse avec la masse volumique avant de diviser par la masse molaire.

COMPRENDRE

Le sujet ne donne pas d'équation ajustée ; on admet les proportions 1 pour 1 du schéma. Chaque molécule d'acide caprylique provenant d'une molécule d'octan-1-ol, la quantité maximale de produit reste n_1 tant que l'acide nitrique est en excès.

À LA CALCULATRICE

