Corrigé complet — Bac S 2007 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**La galiote** Troisième loi de Newton · Poussée d'Archimède · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équation de la trajectoire et portée · Électrolyse · Quantité d'électricité	7 pts	1 h 31	17 questions	p. 2
Ex 2	**Synthèse d'un ester** Estérification · Chauffage à reflux · Réactif limitant · Extraction et lavage · Distillation · Rendement et catalyse	4 pts	52 min	13 questions	p. 6
Ex 3	**Spécialité : Synthèse d'un conservateur** Chauffage à reflux · Chromatographie sur couche mince · Demi-équations d'oxydoréduction · Tableau d'avancement et réactif limitant · Rendement d'une synthèse	4 pts	52 min	8 questions	p. 10
Ex 4	**Découvertes liées à des éclipses de Soleil** Ondes mécaniques progressives · Diffraction · Niveaux d'énergie et photon · Spectre de raies · Fusion nucléaire et isotopes	5 pts	1 h 05	15 questions	p. 13

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.

La galiote

Bac S 2007 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1 Justifier l'expression « pour résister à la réaction considérable du boulet » à l'aide d'une des trois lois de Newton, et énoncer cette loi.

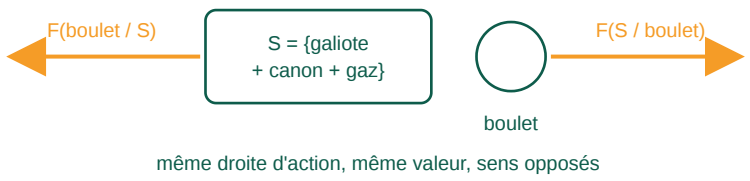
Troisième loi de Newton (principe des actions réciproques) : si un corps A exerce sur un corps B une force $\overrightarrow{F}_{A/B}$, alors B exerce sur A une force $\overrightarrow{F}_{B/A}$ de même droite d'action, de même valeur et de sens opposé :

$$\overrightarrow{F}_{B/A} = -\overrightarrow{F}_{A/B}$$

Ici, l'ensemble S = {galiote + canon + gaz} pousse le boulet avec la force $\overrightarrow{F}_{S/\text{boulet}}$. Le boulet exerce donc en retour sur S la force $\overrightarrow{F}_{\text{boulet}/S} = -\overrightarrow{F}_{S/\text{boulet}}$, aussi intense que la poussée et dirigée vers l'arrière.

La « réaction du boulet » est la force $\overrightarrow{F}_{\text{boulet}/S}$, opposée à la poussée : c'est elle que la structure du navire doit supporter.

PIÈGE
Les deux forces ne s'appliquent pas au même objet : l'une agit sur le boulet, l'autre sur le navire. Elles ne se compensent donc pas.



1 · Actions réciproques entre l'ensemble S et le boulet

2.1.1 Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède, puis la calculer.

Données utiles $\rho = 1{,}3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V = 16\ \text{L}$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'air déplacé par le boulet :

$$F_A = \rho\, V\, g$$

avec $V = 16\ \text{L} = 16 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 = 1{,}6 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$.

$F_A = 1{,}3 \times 1{,}6 \times 10^{-2} \times 10 = 2{,}1 \times 10^{-1}\ \text{N}$ (aide au calcul : $1{,}6 \times 1{,}3 = 2{,}1$).

$$F_A = \rho\, V\, g = 0{,}21\ \text{N}$$

PIÈGE
La masse volumique est celle du fluide déplacé (l'air), pas celle du boulet, et le volume doit être en m^3 : $1\ \text{L} = 10^{-3}\ \text{m}^3$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ, V et g. Sans calculatrice, on écrit les nombres en notation scientifique pour retrouver un produit de l'aide au calcul.

2.1.2 Donner l'expression littérale du poids du boulet, puis calculer sa valeur P.

Données utiles $m = 100\ \text{kg}$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$P = m\, g = 100 \times 10$

$$P = m\, g = 1{,}0 \times 10^3\ \text{N}$$

2.1.3 Montrer que le poids est au moins cent fois plus grand que la poussée d'Archimède.

Données utiles $F_A = 0{,}21$ N (2.1.1) ; $P = 1{,}0 \times 10^3$ N (2.1.2)

$100 \times F_A = 100 \times 0{,}21 = 21$ N, valeur très inférieure à $P = 1{,}0 \times 10^3$ N.

$P > 100\,F_A$: la poussée d'Archimède est négligeable devant le poids (le rapport $\dfrac{P}{F_A}$ est proche de 5×10^3).

MÉTHODE
Pour comparer deux forces, on forme leur rapport ou on multiplie la plus petite par le facteur exigé : ici, comparer $100\,F_A$ à P évite une division à la main.

2.1.4 Établir le bilan des forces exercées sur le système {boulet} pendant le vol.

Système : {boulet} ; référentiel terrestre supposé galiléen.

La poussée d'Archimède est négligeable devant le poids (2.1.3), les frottements de l'air aussi (hypothèse de l'énoncé), et la force de poussée n'agit plus après le lancement.

Le boulet n'est soumis qu'à son poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$, vertical et dirigé vers le bas : c'est une chute libre.

PIÈGE
Ne pas ajouter une « force de lancement » : la poussée cesse dès que le boulet quitte le canon. La vitesse initiale n'est pas une force.

2.2.1 En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement du point G.

Deuxième loi de Newton appliquée au boulet, de masse constante : $\vec{P} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, $\vec{g}$ est vertical vers le bas : $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x = C_1$ et $v_y = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, $\vec{v} = \vec{v}_0$ de coordonnées $(v_0 \cos\alpha\ ;\ v_0 \sin\alpha)$, donc $C_1 = v_0 \cos\alpha$ et $C_2 = v_0 \sin\alpha$:

$$v_x(t) = v_0 \cos\alpha \qquad v_y(t) = -g\,t + v_0 \sin\alpha$$

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on intègre encore : $x = (v_0 \cos\alpha)\,t + C_3$ et $y = -\dfrac{1}{2}g\,t^2 + (v_0 \sin\alpha)\,t + C_4$.

À $t = 0$, G est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, donc $C_3 = C_4 = 0$.

$x(t) = (v_0 \cos\alpha)\,t$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}g\,t^2 + (v_0 \sin\alpha)\,t$

PIÈGE
Oublier le signe de a_y : l'axe (Oy) est orienté vers le haut et $\vec{g}$ vers le bas, donc $a_y = -g$.

MÉTHODE
Toujours la même chaîne : deuxième loi de Newton, coordonnées de $\vec{a}$, primitive pour $\vec{v}$, puis pour la position. Chaque constante se détermine avec une condition initiale, à écrire explicitement.

2.2.2 Montrer que l'équation de la trajectoire s'écrit $y(x) = Ax^2 + Bx$; donner les expressions littérales de A et B et leurs unités.

On élimine le temps : $x = (v_0 \cos\alpha)\,t$ donne $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$. En reportant dans $y(t)$:

$$y(x) = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2 \cos^2\alpha} + v_0 \sin\alpha\,\frac{x}{v_0 \cos\alpha} = -\frac{g}{2\,v_0^2 \cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x$$

Unités : g est en $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ et v_0^2 en $\mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$, donc A est en $\mathrm{m^{-1}}$; $\tan\alpha$ est un nombre sans unité.

$y = Ax^2 + Bx$ avec $A = -\dfrac{g}{2\,v_0^2 \cos^2\alpha}$ (en $\mathrm{m^{-1}}$) et $B = \tan\alpha$ (sans unité)

COMPRENDRE
On vérifie la cohérence : Ax^2 est en $\mathrm{m^{-1} \cdot m^2} = \mathrm{m}$ et Bx en m, comme y. Avec $A < 0$, la trajectoire est une parabole tournée vers le bas.

2.3.1 Exprimer la portée d du tir en fonction de A et B.

Le point d'impact M est à la même altitude que O : $y(d) = 0$, soit $d\,(A\,d + B) = 0$.

Ce produit est nul si $d = 0$ (point de départ O, à écarter) ou si $A\,d + B = 0$.

$$d = -\frac{B}{A}$$

COMPRENDRE
Comme A est négatif et B positif, on obtient bien une distance positive.

2.3.2 À partir de $d = \dfrac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$, retrouver que la portée est maximale pour $\alpha = 45^\circ$, à vitesse v_0 donnée.

v_0 et g étant fixés, d est maximale quand $\sin 2\alpha$ est maximal, c'est-à-dire quand $\sin 2\alpha = 1$.

Pour un angle de tir compris entre 0° et 90°, cela impose $2\alpha = 90^\circ$.

$\alpha = 45^\circ$, et la portée maximale vaut $d_{\max} = \dfrac{v_0^2}{g}$.

2.3.3 Calculer la vitesse initiale du boulet permettant d'atteindre la portée maximale donnée dans le texte.

Données utiles $d_{\max} = 2400\ \text{m}$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\alpha = 45^\circ$

Pour $\alpha = 45^\circ$: $d_{\max} = \dfrac{v_0^2}{g}$, donc $v_0 = \sqrt{g\,d_{\max}}$.

$v_0 = \sqrt{10 \times 2400} = \sqrt{2{,}4 \times 10^4} = \sqrt{2{,}4} \times 10^2$, avec $\sqrt{2{,}4} \approx 1{,}5$ (aide au calcul).

$$v_0 = \sqrt{g\,d_{\max}} \approx 1{,}5 \times 10^2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

PIÈGE
L'aide au calcul donne aussi $\sqrt{24} \approx 4{,}9$, qui ne sert pas ici : il faut une puissance de dix paire sous la racine, donc $2{,}4 \times 10^4$ et non 24×10^3.

2.3.4 Les frottements de l'air n'étant pas négligeables, la vitesse initiale doit-elle être supérieure ou inférieure à celle de la question 2.3.3 pour garder la même portée, avec $\alpha = 45^\circ$? Justifier sans calcul.

Les forces de frottement s'opposent au mouvement : elles freinent le boulet tout au long du vol. À vitesse initiale égale, il retombe donc moins loin que dans le modèle sans frottement.

Pour atteindre quand même 2400 m, la vitesse initiale doit être supérieure à $1{,}5 \times 10^2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3.1 La réaction qui se produit à l'anode est-elle une oxydation ou une réduction ?

À l'anode se produit toujours une oxydation (la réduction a lieu à la cathode).

3.2 Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à l'anode. À quelle borne du générateur cette électrode est-elle reliée ?

D'après l'équation de l'électrolyse, les réactifs sont Cl^- et H_2O. Le réducteur qui est oxydé est l'ion chlorure, du couple Cl_2 / Cl^- :

$$2\,\text{Cl}^-\,(\text{aq}) = \text{Cl}_2\,(\text{g}) + 2\,\text{e}^-$$

Les électrons libérés à l'anode partent dans le circuit vers le générateur : l'anode est reliée à la borne qui attire les électrons.

Anode : $2\,\text{Cl}^-\,(\text{aq}) = \text{Cl}_2\,(\text{g}) + 2\,\text{e}^-$; elle est reliée à la borne positive du générateur.

PIÈGE
Dans une pile, l'anode est la borne négative ; dans un électrolyseur, elle est reliée à la borne positive du générateur. Seule la définition « anode = oxydation » ne change pas.

COMPRENDRE
Le dihydrogène qui décolle la gangue se forme par réduction de l'eau : le boulet est donc la cathode, reliée à la borne négative, et l'autre électrode est l'anode.

3.3.1 Donner l'expression littérale du nombre N d'électrons transférés et celle de la quantité d'électrons $n(\mathrm{e}^-)$ en fonction des grandeurs données.

Charge ayant circulé pendant Δt sous intensité constante : $Q = I\,\Delta t$.
Chaque électron porte la charge e en valeur absolue : $Q = N\,e$.

Donc $N = \dfrac{I\,\Delta t}{e}$, et comme $N = n(\mathrm{e}^-)\,N_A$:

$$\boxed{N = \frac{I\,\Delta t}{e} \text{ et } n(\mathrm{e}^-) = \frac{N}{N_A} = \frac{I\,\Delta t}{e\,N_A}}$$

COMPRENDRE
Le produit $e\,N_A$ est la charge d'une mole d'électrons, soit environ $9{,}6 \times 10^4\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$: c'est la constante de Faraday.

3.3.2 Établir une relation entre la quantité $n(\mathrm{H_2})$ de dihydrogène dégagé et $n(\mathrm{e}^-)$, puis en déduire que $n(\mathrm{H_2}) = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{I\,\Delta t}{e\,N_A}$.

D'après l'équation (1), $2\,\mathrm{H_2O\,(l)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2\,(g)} + 2\,\mathrm{HO^-\,(aq)}$: pour un avancement x, il se forme $n(\mathrm{H_2}) = x$ pendant que $n(\mathrm{e}^-) = 2x$ électrons sont échangés.

Donc $n(\mathrm{H_2}) = \dfrac{n(\mathrm{e}^-)}{2}$, et avec l'expression de $n(\mathrm{e}^-)$ de la question 3.3.1 :

$$\boxed{n(\mathrm{H_2}) = \frac{n(\mathrm{e}^-)}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I\,\Delta t}{e\,N_A}}$$

3.3.3 Calculer la valeur de $n(\mathrm{H_2})$.

Données utiles $I = 1{,}0\ \mathrm{A}$; $\Delta t = 530\ \mathrm{h}$; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$; $N_A = 6{,}0 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

Durée en secondes : $\Delta t = 530 \times 3600 = 5{,}3 \times 3{,}6 \times 10^5 \approx 19 \times 10^5\ \mathrm{s}$.

Dénominateur : $2\,e\,N_A = 2 \times 1{,}6 \times 6{,}0 \times 10^{-19+23} \approx 19 \times 10^4\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$.

$$n(\mathrm{H_2}) = \frac{1{,}0 \times 19 \times 10^5}{19 \times 10^4}$$

$$\boxed{n(\mathrm{H_2}) \approx 10\ \mathrm{mol}}$$

PIÈGE
Laisser Δt en heures donne un résultat 3600 fois trop petit : dans $Q = I\,\Delta t$, la durée est en secondes.

COMPRENDRE
Les deux aides au calcul utiles donnent le même 19, qui se simplifie. Le calcul exact donne 9,9 mol : à deux chiffres significatifs, 10 mol convient.

3.3.4 En déduire le volume de dihydrogène dégagé dans les conditions de l'expérience.

Données utiles $n(\mathrm{H_2}) \approx 10\ \mathrm{mol}$ (3.3.3) ; $V_M = 24\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$

$$V(\mathrm{H_2}) = n(\mathrm{H_2}) \times V_M = 10 \times 24$$

$$\boxed{V(\mathrm{H_2}) = 2{,}4 \times 10^2\ \mathrm{L}}$$

Synthèse d'un ester

Bac S 2007 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Affirmation 1 : on doit manipuler le méthanol sous la hotte.

L'étiquette du flacon indique que le méthanol est toxique par inhalation (phrase R 23/25). La hotte aspire les vapeurs : l'opérateur ne les respire pas.

VRAI

COMPRENDRE
Les phrases R et S et les carrés orange ont été remplacés par les mentions H et P et par des pictogrammes en losange à bord rouge. La lecture de l'étiquette reste la même démarche.

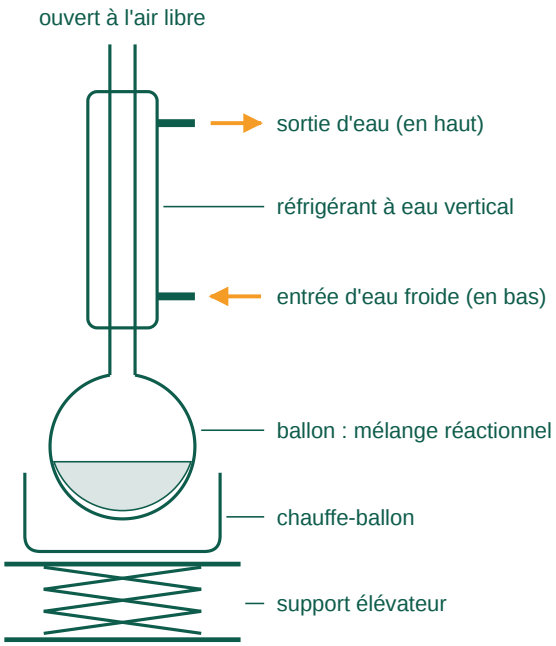
2 Affirmation 2 : le schéma proposé est celui d'un chauffage à reflux.

Le schéma du sujet comporte une colonne de Vigreux, un thermomètre en tête de colonne, un réfrigérant droit incliné et un erlenmeyer récepteur : c'est un montage de distillation fractionnée.

Dans un chauffage à reflux, le réfrigérant est vertical, placé directement sur le ballon : les vapeurs s'y condensent et retombent dans le mélange réactionnel.

FAUX : le schéma est celui d'une distillation ; le montage à reflux est dessiné ci-dessous.

PIÈGE
Sur le schéma demandé, ne pas boucher le haut du réfrigérant (surpression) et faire entrer l'eau par le bas, sinon le réfrigérant se remplit mal.



2 · Montage de chauffage à reflux

3 Affirmation 3 : pour prélever le méthanol, il faut absolument utiliser une pipette jaugée munie d'une poire à pipeter.

Le volume à prélever est d'« environ » 20 mL : une verrerie de précision est inutile. Une éprouvette graduée convient.

FAUX : une éprouvette graduée (de 25 mL ou 50 mL) suffit.

COMPRENDRE
On verra à l'affirmation 7 que le méthanol est en excès : sa quantité exacte n'intervient pas dans le calcul du rendement, d'où le volume approximatif.

4 Affirmation 4 : la quantité d'acide salicylique introduit vaut $n_1 = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol.

Données utiles $m_1 = 27{,}6$ g ; $M_1 = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; aide au calcul : $\dfrac{2{,}76}{1{,}38} = 2{,}00$

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{27{,}6}{138} = \frac{2{,}76 \times 10^{1}}{1{,}38 \times 10^{2}} = 2{,}00 \times 10^{-1}\ \text{mol}$$

VRAI : $n_1 = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme m_1 et M_1.

MÉTHODE
Sans calculatrice, écrire chaque nombre en notation scientifique : le quotient des nombres décimaux se lit alors dans l'aide au calcul et il reste à soustraire les exposants.

5 Affirmation 5 : la quantité de méthanol introduit vaut environ $n_2 = 5$ mol.

Données utiles $V_2 \approx 20$ mL ; $\rho_2 = 0{,}8\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_2 = 32\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse de méthanol : $m_2 = \rho_2\, V_2$, donc

$$n_2 = \frac{\rho_2\, V_2}{M_2} = \frac{0{,}8 \times 20}{32} = \frac{16}{32} = 0{,}5\ \text{mol}$$

FAUX : $n_2 \approx 0{,}5$ mol, dix fois moins que la valeur annoncée.

PIÈGE
Garder V_2 en mL puisque ρ_2 est en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$: une conversion en litres mal menée donne justement une erreur d'une puissance de dix.

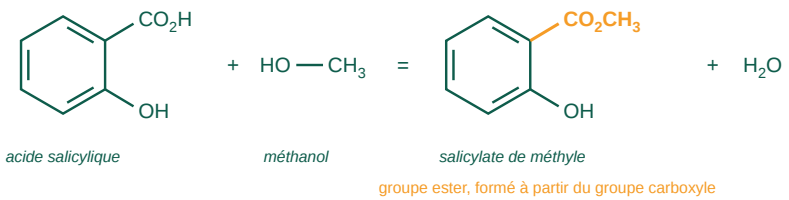
6 Affirmation 6 : l'équation de la réaction de synthèse est celle proposée, où le groupe $-\text{OH}$ du cycle devient $-\text{O}-\text{CH}_3$ et le groupe $-\text{CO}_2\text{H}$ reste intact.

Une estérification fait réagir le groupe carboxyle $-\text{CO}_2\text{H}$ de l'acide avec le groupe hydroxyle $-\text{OH}$ de l'alcool pour former le groupe ester $-\text{CO}_2-\text{CH}_3$ et de l'eau.

Dans l'équation proposée, le groupe carboxyle n'a pas réagi : le produit dessiné n'est pas un ester. C'est le groupe hydroxyle porté par le cycle qui doit rester inchangé.

FAUX : l'équation juste est donnée ci-dessous ; le produit contient le groupe $-\text{CO}_2-\text{CH}_3$.

MÉTHODE
Vérifier avec les formules brutes : le produit doit être $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$. Ce contrôle ne suffit pas ici (les deux molécules sont isomères) : il faut repérer le groupe caractéristique ester.



6 · Équation corrigée : le groupe carboxyle devient le groupe ester, le groupe hydroxyle du cycle est intact

7 Affirmation 7 : le réactif introduit en excès est le méthanol.

Données utiles $n_1 = 0{,}200$ mol (affirmation 4) ; $n_2 \approx 0{,}5$ mol (affirmation 5)

D'après l'équation, une mole d'acide salicylique réagit avec une mole de méthanol.

Or $n_2 \approx 0{,}5\ \text{mol} > n_1 = 0{,}200\ \text{mol}$: l'acide salicylique est le réactif limitant.

VRAI : le méthanol est en excès, l'avancement maximal est $x_{max} = n_1 = 0{,}200$ mol.

PIÈGE
Comparer les masses ou les volumes ne prouve rien : on compare les quantités de matière, divisées par les nombres stœchiométriques (ici tous égaux à 1).

8 Affirmation 8 : la phase organique se situe dans la partie inférieure de l'ampoule à décanter.

Données utiles $\rho_4 = 0{,}78\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (cyclohexane) ; $\rho_{eau} = 1{,}0\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$

La phase organique a une masse volumique voisine de $0{,}78\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, inférieure à celle de la phase aqueuse ($1{,}0\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). La phase la moins dense surnage.

FAUX : la phase organique est la phase supérieure.

9 Affirmation 9 : le gaz dégagé lors du lavage à l'hydrogénocarbonate de sodium est du dioxyde de carbone.

Données utiles couple CO_2,H_2O / HCO_3^- ; CO_2 peu soluble dans l'eau

L'ion hydrogénocarbonate est la base du couple CO_2,H_2O / HCO_3^-. Il réagit avec les acides restants, notés AH :

$$HCO_3^-\,(aq) + AH \longrightarrow CO_2,H_2O + A^-\,(aq)$$

Le dioxyde de carbone formé, peu soluble dans l'eau, se dégage.

VRAI : le gaz est du dioxyde de carbone CO_2.

COMPRENDRE
Ce lavage transforme les acides en ions A^-, solubles dans l'eau : ils quittent la phase organique. Il faut dégazer l'ampoule à décanter souvent, robinet vers le haut.

10 Affirmation 10 : lors de la distillation, le salicylate de méthyle est recueilli en premier.

Données utiles $\theta_2 = 65$ °C (méthanol) ; $\theta_4 = 81$ °C (cyclohexane) ; $\theta_3 = 223$ °C (ester)

La phase organique contient du méthanol, du cyclohexane et l'ester. L'espèce recueillie en premier est la plus volatile, celle dont la température d'ébullition est la plus basse : le méthanol (65 °C). Le cyclohexane suit (81 °C).

FAUX : le méthanol est recueilli en premier ; l'ester ($\theta_3 = 223$ °C) reste en dernier dans le ballon.

11 Affirmation 11 : le rendement de cette synthèse est de 50 %.

Données utiles $m_3 = 21$ g ; $M_3 = 152\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $x_{max} = n_1 = 0{,}200$ mol (affirmation 7) ; aide au calcul : $\dfrac{2{,}1}{3{,}04} = 0{,}69$

L'acide salicylique est limitant : la quantité maximale d'ester est $n_{3,max} = n_1$, soit une masse maximale

$m_{3,max} = n_1\,M_3 = 0{,}200 \times 152 = 30{,}4$ g

Rendement : $\eta = \dfrac{m_3}{m_{3,max}} = \dfrac{21}{30{,}4} = \dfrac{2{,}1}{3{,}04} = 0{,}69$

FAUX : $\eta = 69\ \%$

PIÈGE
L'aide au calcul contient des quotients inutiles ($\dfrac{2{,}1}{1{,}52} = 1{,}4$, $\dfrac{2{,}1}{7{,}6} = 0{,}28$) : poser d'abord l'expression littérale, puis chercher le quotient qui lui correspond.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m_3. Un rendement se calcule toujours à partir du réactif limitant, jamais du réactif en excès.

12 Affirmation 12 : l'ajout d'acide sulfurique a permis d'augmenter le rendement de la synthèse.

L'acide sulfurique est un catalyseur de l'estérification : il augmente la vitesse de la transformation, sans modifier l'état final du système. Le rendement à l'équilibre est donc inchangé.

FAUX : l'acide sulfurique permet d'atteindre plus vite l'état final, pas d'obtenir davantage d'ester.

COMPRENDRE
Le chauffage joue le même rôle : la température est un facteur cinétique. Catalyseur et chauffage font gagner du temps, pas de la matière.

13 Affirmation 13 : l'excès d'un des réactifs a permis d'augmenter le rendement de la synthèse.

L'estérification est une transformation limitée, qui conduit à un équilibre. Un excès de méthanol déplace cet équilibre dans le sens direct, celui de la formation de l'ester : une plus grande part de l'acide salicylique, réactif limitant, est consommée.

VRAI : l'excès de méthanol augmente le rendement.

MÉTHODE

Pour optimiser une synthèse limitée, deux leviers sur le rendement : un réactif en excès (le moins cher) ou l'élimination d'un produit au fur et à mesure. Catalyseur et température n'agissent que sur la durée.

Spécialité : Synthèse d'un conservateur

Bac S 2007 Métropole (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Donner, sans justifier, le nom des parties manquantes ❶, ❷ et ❸ du texte décrivant le protocole (verrerie, nom de montage).

❶ : une **éprouvette graduée** (le volume de soude, « environ 20 mL », n'a pas à être précis).

❷ : un **montage de chauffage à reflux**.

❸ : un dispositif de **filtration sous vide** (fiole à vide et entonnoir Büchner).

❶ éprouvette graduée ; ❷ chauffage à reflux ; ❸ filtration sous vide (Büchner)

COMPRENDRE
Le mot « environ » oriente vers une verrerie peu précise : la soude est en large excès, une pipette jaugée serait inutile. Le mot « rapidement » oriente vers la filtration sous vide, bien plus rapide qu'une filtration par gravité.

1.2 Nommer les éléments du montage de la figure 3 repérés par les lettres A, B et C.

A : réfrigérant à boules (réfrigérant à eau).

B : ballon bicol (ballon à deux cols).

C : chauffe-ballon.

A : réfrigérant à boules. B : ballon bicol (à deux cols). C : chauffe-ballon.

PIÈGE
Ne pas confondre avec une distillation : ici le réfrigérant est vertical et rien n'est recueilli. L'eau entre toujours par le bas du réfrigérant et sort par le haut.

COMPRENDRE
Les vapeurs montent dans le réfrigérant, s'y condensent au contact de la paroi froide et retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière. Le haut du réfrigérant reste ouvert, ce qui évite toute surpression.

1.3 Interpréter le chromatogramme réalisé lors de la synthèse et conclure quant à la nature du solide obtenu.

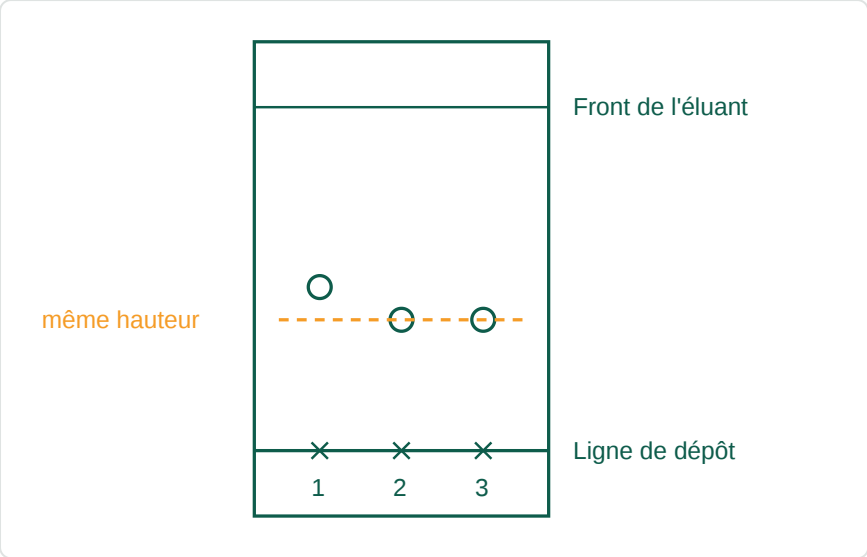
Le dépôt 2 (solide obtenu) ne donne qu'une seule tache : le solide ne contient qu'une seule espèce chimique révélée sous UV, il est pur.

Cette tache est à la même hauteur que celle du dépôt 3 (acide benzoïque pur) : c'est la même espèce.

Aucune tache du dépôt 2 n'est à la hauteur de celle du dépôt 1 : le solide ne contient pas d'alcool benzylique.

Le solide synthétisé est bien de l'acide benzoïque, et il est pur.

MÉTHODE
Lecture d'une CCM en deux temps. Lecture verticale : le nombre de taches d'un dépôt indique le nombre d'espèces révélées. Lecture horizontale : deux taches à la même hauteur, sur la même plaque, correspondent à la même espèce.



1.3 · Chromatogramme du sujet : les taches des dépôts 2 et 3 sont à la même hauteur

2.1 Choisir, parmi les propositions a) à e), les deux demi-équations électroniques associées à la transformation étudiée.

Données utiles couples $C_6H_5CO_2^-\,(aq)$ / $C_6H_5CH_2OH\,(l)$ et $MnO_4^-\,(aq)$ / $MnO_2\,(s)$; milieu basique

Le milieu est basique : les demi-équations s'écrivent avec des ions HO^-, sans ions H^+. Cela écarte b) et e). La proposition c) est aussi écartée : elle fait intervenir Mn^{2+}, qui n'appartient pas au couple MnO_4^- / MnO_2.

Il reste a) et d) :

$$C_6H_5CO_2^-\,(aq) + 4\,e^- + 4\,H_2O\,(l) = C_6H_5CH_2OH\,(l) + 5\,HO^-\,(aq)$$

$$MnO_4^-\,(aq) + 3\,e^- + 2\,H_2O\,(l) = MnO_2\,(s) + 4\,HO^-\,(aq)$$

Vérification : 3 × a) écrite dans le sens de l'oxydation, ajoutée à 4 × d), échange 12 électrons. Après simplification de $15\ HO^-$ et de $8\ H_2O$, on retrouve l'équation du sujet :

$$3\,C_6H_5CH_2OH + 4\,MnO_4^- = 3\,C_6H_5CO_2^- + 4\,H_2O + 4\,MnO_2 + HO^-$$

Réponses a) et d).

PIÈGE
Les propositions b) et e) sont correctement équilibrées et correspondent aux bons couples : elles ne sont fausses que parce que le milieu est basique. Vérifier aussi la conservation des charges de chaque côté.

MÉTHODE
Pour passer d'une demi-équation écrite avec H^+ au milieu basique, ajouter de chaque côté autant de HO^- qu'il y a de H^+, remplacer $H^+ + HO^-$ par H_2O, puis simplifier les molécules d'eau.

2.2 Choisir la valeur de la quantité n_1 d'alcool benzylique présente dans les 2,0 mL prélevés.

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

L'alcool benzylique est un liquide pur : sa masse est $m_1 = \rho_1\, V_1$, donc

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1\, V_1}{M_1}$$

$$n_1 = \frac{1{,}0 \times 2{,}0}{108} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ mol$$

(aide au calcul : $\frac{2{,}0}{108} = 1{,}9 \times 10^{-2}$)

$n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}\ mol$: réponse a).

PIÈGE
La masse volumique est en $g \cdot mL^{-1}$: le volume reste en mL. Le convertir en litres donne la réponse c), mille fois trop petite. La réponse b) vient du quotient inversé.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_1 et ρ_1. L'épreuve se passait sans calculatrice : les aides au calcul remplacent la machine, mais il faut choisir celle qui correspond à l'expression littérale établie.

2.3 Les ions permanganate ont-ils été introduits en excès ? Choisir la bonne proposition, en s'aidant éventuellement d'un tableau d'évolution.

Données utiles $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol (2.2) ; $n_2 = 3{,}0 \times 10^{-2}$ mol

Tableau d'évolution (quantités en mol, avancement x) pour les deux réactifs de l'équation $3\,C_6H_5CH_2OH + 4\,MnO_4^- = \ldots$:

	$C_6H_5CH_2OH$	MnO_4^-
état initial	n_1	n_2
en cours	$n_1 - 3x$	$n_2 - 4x$
état final	$n_1 - 3x_{max}$	$n_2 - 4x_{max}$

Si l'alcool benzylique est limitant : $n_1 - 3x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{n_1}{3} = \dfrac{1{,}9 \times 10^{-2}}{3} = 6{,}3 \times 10^{-3}$ mol.

Si l'ion permanganate est limitant : $n_2 - 4x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{n_2}{4} = \dfrac{3{,}0 \times 10^{-2}}{4} = 7{,}5 \times 10^{-3}$ mol.

La plus petite valeur est la bonne : $x_{max} = 6{,}3 \times 10^{-3}$ mol. L'alcool benzylique est le réactif limitant ; il reste des ions permanganate à l'état final.

Les ions permanganate ont été introduits en excès : réponse a).

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_2 ne prouve rien : il faut diviser chaque quantité par son nombre stœchiométrique, 3 pour l'alcool et 4 pour l'ion permanganate, avant de comparer.

COMPRENDRE
L'excès de permanganate garantit que tout l'alcool, réactif dont dépend la quantité de produit, est consommé. Il en reste environ 5×10^{-3} mol, que l'éthanol ajouté en fin de chauffage réduit.

2.4 Choisir la valeur de la masse théorique maximale m_{max} d'acide benzoïque qu'il aurait été possible d'obtenir.

Données utiles $n_1 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ mol (2.2) ; $M_3 = 122$ g · mol^{-1} ; alcool benzylique limitant (2.3)

L'oxydation est totale et l'alcool est limitant : d'après les nombres stœchiométriques (3 pour 3), la quantité d'ions benzoate formée est $3x_{max} = n_1$.

Lors de la cristallisation, un ion benzoate donne une molécule d'acide benzoïque : la quantité maximale d'acide est donc $n_3 = n_1$.

$$m_{max} = n_1\, M_3$$

$$m_{max} = 1{,}9 \times 10^{-2} \times 122 = 2{,}3 \text{ g}$$

(aide au calcul : $1{,}9 \times 122 = 2{,}3 \times 10^2$)

$m_{max} = 2{,}3$ g : réponse c).

PIÈGE
La réponse a) vient de $\dfrac{n_1}{M_3}$, la réponse b) de l'emploi de 5,4 à la place de n_1. La masse volumique ρ_3 ne sert pas : elle figure dans le tableau comme donnée inutile.

2.5 Choisir la valeur du rendement r de la synthèse effectuée.

Données utiles coupelle vide : $m = 140{,}4$ g ; coupelle et cristaux secs : $m' = 141{,}8$ g ; $m_{max} = 2{,}3$ g (2.4)

Le rendement est le quotient de la masse d'acide benzoïque réellement obtenue par la masse maximale attendue.

Masse obtenue : $m_3 = m' - m = 141{,}8 - 140{,}4 = 1{,}4$ g.

$$r = \frac{m_3}{m_{max}} = \frac{m' - m}{m_{max}}$$

$$r = \frac{1{,}4}{2{,}3} = 0{,}61$$

(aide au calcul : $\dfrac{1{,}4}{2{,}3} = 0{,}61$)

$r = 61\,\%$: réponse b).

PIÈGE
La masse obtenue est celle des cristaux seuls : il faut retrancher la masse de la coupelle. La peser avant séchage complet fausserait aussi le rendement, l'eau résiduelle étant comptée comme du produit.

COMPRENDRE
Le rendement est inférieur à 100 % : une partie de l'acide benzoïque reste dissoute dans le filtrat et l'eau de rinçage, et de la matière est perdue lors des filtrations et des transferts.

Découvertes liées à des éclipses de Soleil

Bac S 2007 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Partie A. Définir une onde mécanique progressive.

Une onde mécanique progressive est la propagation, de proche en proche, d'une perturbation dans un milieu matériel, **sans transport de matière** mais avec transport d'énergie.

PIÈGE
Oublier « milieu matériel » ou « sans transport de matière » : ce sont les deux mots attendus par le barème.

1.2 Partie A. Définir une onde transversale.

Une onde est transversale si la perturbation déplace les points du milieu dans une direction **perpendiculaire** à la direction de propagation.

1.3 Partie A. Les ondes créées lors de l'éclipse peuvent-elles être sonores ? Justifier.

Le texte indique que les ondes engendrées sont transversales. Or une onde sonore est une onde de compression-dilatation de l'air : elle est longitudinale.

Les ondes créées lors de l'éclipse ne peuvent pas être des ondes sonores.

PIÈGE
Répondre « non, car la fréquence est inférieure à 20 Hz ». Un infrason est inaudible mais reste une onde sonore : l'argument valable est le caractère transversal.

2.1 Partie A. Vérifier que la fréquence de l'onde est largement inférieure à 20 Hz.

Données utiles $T \approx 10$ min ; aide au calcul : $\frac{1}{6} = 1{,}7 \times 10^{-1}$

$T = 10 \times 60 = 6{,}0 \times 10^{2}$ s

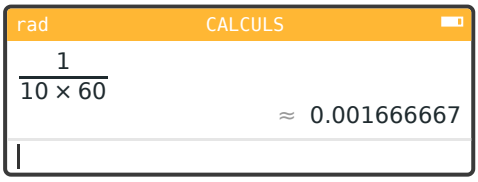
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6{,}0 \times 10^{2}} = \frac{1}{6} \times 10^{-2} = 1{,}7 \times 10^{-1} \times 10^{-2}$$

$f = 1{,}7 \times 10^{-3}$ Hz : cette fréquence est environ dix mille fois plus petite que 20 Hz.

PIÈGE
Calculer $\frac{1}{10}$ avec la période en minutes : la fréquence n'est en hertz que si T est en secondes.

COMPRENDRE
La période est donnée « de l'ordre de 10 minutes » : deux chiffres significatifs suffisent largement. L'épreuve se passait sans calculatrice, d'où l'aide au calcul.

À LA CALCULATRICE



2.2 Partie A. Ces ondes peuvent-elles être diffractées par des montagnes séparées par une distance de 10 km ? Justifier.

Données utiles $v \approx 100\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$; $T \approx 10$ min ; ouverture $a = 10$ km ; aide au calcul : $\frac{1}{6} = 1{,}7 \times 10^{-1}$

La diffraction est nette lorsque la largeur a de l'ouverture est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ, ou plus petite.

Avec v en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on exprime la période en heures : $T = \frac{10}{60} = \frac{1}{6}$ h.

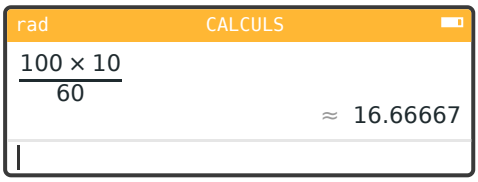
$$\lambda = v\,T = 100 \times \frac{1}{6} = 100 \times 1{,}7 \times 10^{-1} = 17\ \text{km}$$

$\lambda \approx 17$ km, du même ordre que $a = 10$ km (et même supérieure) : ces ondes peuvent être diffractées par les montagnes.

PIÈGE
Multiplier 100 par 10 ou par 600 sans accorder les unités. Prendre la vitesse de l'ombre (2850 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) au lieu de la célérité des ondes est une autre erreur fréquente.

MÉTHODE
Question de diffraction : 1) calculer λ ; 2) la comparer à la dimension a de l'ouverture ou de l'obstacle ; 3) conclure, le phénomène étant d'autant plus marqué que a est petit devant λ.

À LA CALCULATRICE

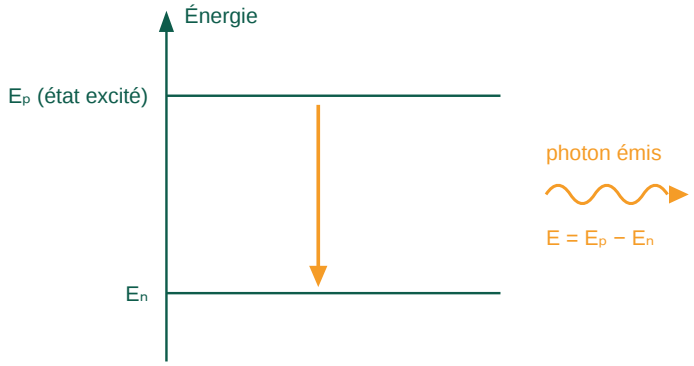


1.1 Partie B. Illustrer, à l'aide d'un schéma de niveaux d'énergie d'un atome, le phénomène d'émission d'un photon.

Un atome excité, d'énergie E_p, passe à un niveau d'énergie plus basse E_n. Il cède l'énergie perdue en émettant un photon.

Flèche descendante du niveau E_p vers le niveau E_n, accompagnée d'un photon d'énergie $E = E_p - E_n$.

PIÈGE
Dessiner la flèche vers le haut : une flèche montante représente l'absorption d'un photon, pas son émission.



1.1 · Émission d'un photon lors d'une transition entre deux niveaux d'énergie

1.2 Partie B. Donner l'expression littérale de l'énergie E du photon émis en fonction de λ, h et c.

L'énergie d'un photon de fréquence ν est $E = h\,\nu$, et dans le vide $\nu = \frac{c}{\lambda}$.

$$E = \frac{h\,c}{\lambda}$$

COMPRENDRE
E en joules, h en $\text{J} \cdot \text{s}$, c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et λ en mètres. L'énergie du photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.

1.3.1 Partie B. Calculer la valeur de E en électronvolts pour le rayonnement correspondant à la raie D du sodium.

Données utiles $\lambda_{Na} = 589{,}0$ nm ; $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 2{,}998 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J ; aide au calcul : $\dfrac{6{,}626 \times 2{,}998}{589{,}0 \times 1{,}602} = 2{,}105 \times 10^{-2}$

Pour passer des joules aux électronvolts, on divise par $1{,}602 \times 10^{-19}$:

$$E = \frac{h\,c}{\lambda_{Na} \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = \frac{6{,}626 \times 10^{-34} \times 2{,}998 \times 10^{8}}{589{,}0 \times 10^{-9} \times 1{,}602 \times 10^{-19}}$$

Puissances de dix : $\dfrac{10^{-34} \times 10^{8}}{10^{-9} \times 10^{-19}} = \dfrac{10^{-26}}{10^{-28}} = 10^{2}$, donc

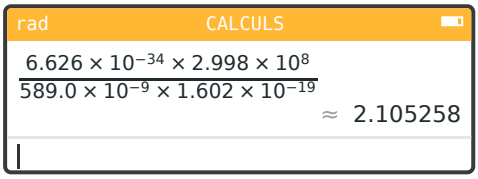
$$E = \frac{6{,}626 \times 2{,}998}{589{,}0 \times 1{,}602} \times 10^{2} = 2{,}105 \times 10^{-2} \times 10^{2}$$

$E = 2{,}105$ eV

PIÈGE
Choisir la mauvaise aide au calcul : diviser par $1{,}602 \times 10^{-19}$ place 1,602 au dénominateur, et c'est 589,0 (sodium) qu'il faut, pas 587,6. Laisser λ en nanomètres fausse aussi la puissance de dix.

COMPRENDRE
Toutes les données ont quatre chiffres significatifs : le résultat en garde quatre.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 Partie B. Déterminer, à l'aide de la figure 2, à quelle transition correspond cette émission.

Données utiles $E = 2{,}105$ eV (1.3.1) ; figure 2 : $E_0 = -5{,}139$ eV ; $E_1 = -3{,}034$ eV

On cherche deux niveaux du sodium dont l'écart vaut 2,105 eV :

$E_1 - E_0 = -3{,}034 - (-5{,}139) = 2{,}105$ eV

La raie D correspond à la transition du niveau E_1 (premier état excité) vers le niveau E_0 (état fondamental).

MÉTHODE
Un photon émis a pour énergie l'écart entre deux niveaux : niveau de départ moins niveau d'arrivée. Tester d'abord les transitions vers le fondamental, ce sont les plus énergétiques.

1.4 Partie B. Le photon de la raie jaune de l'hélium a pour énergie 2,110 eV. Justifier, à l'aide de la figure 2, que cette émission ne peut pas être attribuée au sodium.

Données utiles figure 2, en eV : $E_0 = -5{,}139$; $E_1 = -3{,}034$; $E_2 = -2{,}959$; $E_5 = -1{,}798$

Il faudrait deux niveaux du sodium séparés de 2,110 eV.

Retour vers le fondamental : $E_1 - E_0 = 2{,}105$ eV, puis $E_2 - E_0 = -2{,}959 + 5{,}139 = 2{,}180$ eV. Les niveaux suivants donnent des écarts encore plus grands. La valeur 2,110 eV, comprise entre 2,105 et 2,180, n'est pas atteinte.

Entre états excités : le plus grand écart est $E_5 - E_1 = -1{,}798 + 3{,}034 = 1{,}236$ eV, inférieur à 2,110 eV.

Aucune transition du sodium ne libère 2,110 eV : cette raie ne peut pas être émise par le sodium.

PIÈGE
Se contenter de « $2{,}110 \neq 2{,}105$ ». Il faut montrer qu'aucune autre transition ne convient, en encadrant la valeur et en traitant les transitions entre états excités.

COMPRENDRE
Les énergies d'un atome sont quantifiées : seuls certains écarts existent, donc seules certaines longueurs d'onde sont émises. Un spectre de raies est la signature d'un élément ; une raie inconnue révèle un élément nouveau.

2.1 Partie B. Quel nom donne-t-on à ces réactions nucléaires ?

Dans chaque équation, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.

Ce sont des réactions de fusion nucléaire.

PIÈGE
Confondre avec la fission, où un noyau lourd se casse en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

2.2 Partie B. Parmi les noyaux ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$, lesquels sont isotopes ? Justifier.

Des noyaux isotopes ont le même nombre de protons Z mais des nombres de nucléons A différents (donc des nombres de neutrons différents).

${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ et ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ sont isotopes : $Z = 2$ pour les deux, $A = 3$ et $A = 4$.

PIÈGE
Associer ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ et ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ parce qu'ils ont le même A : leurs numéros atomiques diffèrent, ce sont deux éléments différents.

2.3 Partie B. Déterminer les valeurs de x et y dans la troisième équation en précisant les lois de conservation utilisées.

Données utiles ${}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{x}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{y}\ {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

Conservation de la charge électrique (nombre de charge) : $2 + 2 = 2 + y \times 1$, d'où $y = 2$.

Le nombre total de nucléons se conserve aussi : $x + 3 = 4 + 2 = 6$, d'où $x = 3$.

$x = 3$ et $y = 2$: ${}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\ {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

MÉTHODE
Commencer par la loi qui ne contient qu'une inconnue (ici la charge, qui donne y), puis reporter dans l'autre. Vérifier en relisant l'équation complète.

2.4.1 Partie B. Les atomes d'hélium 3 et d'hélium 4 possèdent-ils la même configuration électronique ? Justifier.

Les deux noyaux ont le même numéro atomique $Z = 2$, donc deux protons. Un atome est électriquement neutre : chacun possède deux électrons.

Oui, les atomes d'hélium 3 et d'hélium 4 ont la même configuration électronique.

COMPRENDRE
Les isotopes ne diffèrent que par leur nombre de neutrons, qui sont dans le noyau. Le cortège électronique, lui, ne dépend que de Z.

2.4.2 Partie B. Ces deux atomes auraient-ils pu être distingués expérimentalement dans le spectre obtenu par Janssen et Lockyer ?

Un spectre atomique caractérise la configuration électronique. Celle-ci étant identique pour les deux isotopes, ils ont les mêmes niveaux d'énergie et émettent les mêmes raies.

Non : le spectre observé en 1868 ne permettait pas de distinguer l'hélium 3 de l'hélium 4.

COMPRENDRE
Pour séparer des isotopes, il faut une grandeur liée au noyau, comme la masse (spectrométrie de masse), et non une propriété du nuage électronique.