Corrigé complet — Bac 2021 Métropole Mars Sujet 1

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

Ex 1	**Le jeu du cornhole** Énergies cinétique, potentielle et mécanique · Programme Python · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Équation de la trajectoire	10 pts	1 h 45	11 questions	p. 2
Ex 2	**Un indicateur coloré naturel issu du chou rouge** Couple acide-base et espèce amphotère · Diagramme de prédominance · Schéma de Lewis · Quotient de réaction et évolution spontanée · Titrage avec indicateur coloré · Concentration en masse	5 pts	55 min	8 questions	p. 6
Ex 3	**Une boisson de réhydratation** Groupes caractéristiques · Diagramme de prédominance · Réaction acide-base · Oxydoréduction · Spectrophotométrie · Dosage par étalonnage	5 pts	55 min	10 questions	p. 9
Ex 4	**Four à micro-ondes pour synthèse organique** Groupes caractéristiques · Préparation d'une solution · Chromatographie sur couche mince · Demi-équation électronique · Réactif limitant · Rendement d'une synthèse	5 pts	55 min	8 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.

Le jeu du cornhole

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

1.1 Identifier les grandeurs calculées aux lignes 15, 16, 17 et 18 de l'extrait de programme Python (figure 2).

- Ligne 15 : la valeur de la vitesse du sac, $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$.
- Ligne 16 : l'énergie cinétique, $E_c = \frac{1}{2} m v^2$.
- Ligne 17 : l'énergie potentielle de pesanteur, $E_{pp} = m g z$.
- Ligne 18 : l'énergie mécanique, $E_m = E_c + E_{pp}$.

Lignes 15 à 18 : `v`, `Ec`, `Epp`, `Em`.

COMPRENDRE
En Python, `2` **élève au carré et** `(1/2)` prend la racine carrée. La ligne 15 applique donc le théorème de Pythagore aux deux coordonnées de la vitesse.

1.2.1 En justifiant, attribuer à chaque série de la figure 3 l'énergie qui lui correspond.

Les mesures portent sur la phase de montée du sac.

- L'altitude z augmente, donc $E_{pp} = m g z$ augmente : c'est la **série 3**, la seule qui croît.
- Le sac ralentit en montant, donc E_c diminue ; la **série 2** décroît.
- $E_m = E_c + E_{pp}$ est à chaque date la somme des deux autres : c'est la **série 1**, la plus haute (à $t = 0$: $17{,}8 + 3{,}8 \approx 21{,}6$ J).

Série 1 : E_m ; série 2 : E_c ; série 3 : E_{pp}.

PIÈGE
Les séries 1 et 2 décroissent toutes les deux : le sens de variation ne suffit pas à les départager. C'est la somme des deux autres courbes qui désigne l'énergie mécanique.

1.2.2 Expliquer en quoi les résultats expérimentaux montrent que l'action de l'air sur le sac n'est pas négligeable devant le poids.

Si le sac n'était soumis qu'à son poids, force conservative, son énergie mécanique resterait constante.

Or la série 1 décroît nettement : E_m passe d'environ $21{,}6$ J à environ $19{,}3$ J en $0{,}53$ s, soit une perte voisine de $2{,}3$ J (environ 10 %).

E_m diminue : une force non conservative, l'action de l'air, effectue un travail résistant qui n'est pas négligeable.

COMPRENDRE
La variation d'énergie mécanique est égale au travail des forces non conservatives. Ce travail est ici négatif : l'air freine le sac.

1.2.3 Estimer la valeur de la vitesse initiale v_0 du centre de masse du sac.

Données utiles $m = 440$ g $= 0{,}440$ kg ; figure 3, série 2 à $t = 0$: $E_{c0} \approx 17{,}8$ J

À $t = 0$: $E_{c0} = \frac{1}{2} m v_0^2$, donc $v_0 = \sqrt{\frac{2 E_{c0}}{m}}$.

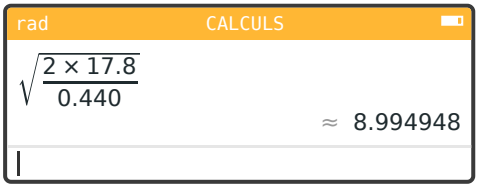
$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 17{,}8}{0{,}440}} = 8{,}99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_0 \approx 9{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
La masse doit être en kilogrammes : avec $m = 440$, on trouve $0{,}28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, valeur absurde pour un lancer à 8 m.

COMPRENDRE
Une lecture graphique ne garantit pas le troisième chiffre : on annonce $9{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Les premières valeurs des tableaux `vx` et `vz` donnent le même résultat.

À LA CALCULATRICE



1.2.4 Estimer la valeur de l'altitude initiale H du centre de masse du sac. Commenter.

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $m = 0{,}440$ kg ; figure 3, série 3 à $t = 0$: $E_{pp0} \approx 3{,}8$ J

À $t = 0$: $E_{pp0} = m\,g\,H$, donc $H = \dfrac{E_{pp0}}{m\,g}$.

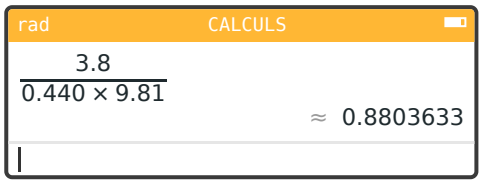
$$H = \frac{3{,}8}{0{,}440 \times 9{,}81} = 0{,}88\ \text{m}$$

Cette valeur est cohérente : elle est proche de la première valeur du tableau `z` (0,869 m) et correspond à la hauteur de la main d'un joueur qui lance bras tendu vers le bas, à peu près à mi-hauteur du corps (figure 1).

$H \approx 0{,}88$ m

COMPRENDRE
$E_{pp} = m\,g\,z$ suppose l'énergie potentielle nulle au niveau du sol ($z = 0$), ce que fait le programme à la ligne 17.

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer les expressions littérales des coordonnées a_x et a_z du vecteur accélération du centre de masse du sac.

Système : {sac}, de masse m constante. Référentiel terrestre supposé galiléen. Seule force (frottements non pris en compte) : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

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

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, alors que l'axe (Oz) est orienté vers le haut.

$a_x = 0$ et $a_z = -g$

MÉTHODE
Tout mouvement dans un champ uniforme commence ainsi : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur les axes du sujet.

2.2 En déduire les expressions littérales des équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ de la position du centre de masse du sac.

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de a_x et a_z :

$$v_x(t) = C_1 \qquad v_z(t) = -g\,t + C_2$$

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

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

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on intègre une seconde fois :

$$x(t) = v_0\cos(\alpha)\,t + C_3 \qquad z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin(\alpha)\,t + C_4$$

À $t = 0$, le sac est en $x = 0$ et $z = H$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = H$.

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

PIÈGE
Oublier la constante $C_4 = H$: le sac ne part pas de l'origine O mais d'un point situé sur l'axe (Oz), à la hauteur H.

MÉTHODE
Chaque primitive apporte une constante, fixée aussitôt par la condition initiale correspondante : la vitesse à $t = 0$ après la première intégration, la position à $t = 0$ après la seconde.

2.3 Montrer que la trajectoire a pour équation $z(x) = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} + x\tan(\alpha) + H$. Qualifier cette trajectoire.

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

On reporte dans $z(t)$:

$$z(x) = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_0\cos\alpha}\right)^2 + v_0\sin\alpha \times \frac{x}{v_0\cos\alpha} + H$$

Comme $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$:

$z(x) = -\frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} + x\tan(\alpha) + H$: expression attendue.

C'est un polynôme du second degré en x : la trajectoire est une portion de **parabole**.

COMPRENDRE
Le coefficient de x^2 est négatif : la parabole a ses branches tournées vers le bas, ce qui correspond bien à un sac qui monte puis retombe.

2.4 Indiquer les paramètres initiaux de lancement sur lesquels le joueur peut agir et qui jouent un rôle dans la réussite d'un lancer à trois points.

L'équation de la trajectoire ne dépend que de g, v_0, α et H. Le joueur ne peut pas changer g.

Le joueur agit sur la valeur v_0 de la vitesse initiale, sur l'angle de tir α et sur la hauteur initiale H.

COMPRENDRE
La masse m du sac ne figure pas dans l'équation : sans frottement, elle n'a aucune influence sur la trajectoire.

2.5 Déterminer le nombre de points marqués par le joueur pour le premier lancer, de trajectoire $z(x) = -0{,}0842\,x^2 + 0{,}625\,x + 0{,}880$.

Données utiles $d = 8{,}0$ m ; figure 4 : planche longue de 122 cm, trou de diamètre 16 cm commençant à 91 cm du bord d'entrée

Le sac touche la planche (quasi horizontale, au niveau du sol) lorsque $z = 0$:

$$-0{,}0842\,x^2 + 0{,}625\,x + 0{,}880 = 0$$

$\Delta = 0{,}625^2 + 4 \times 0{,}0842 \times 0{,}880 = 0{,}687$, positif : deux solutions, $x_1 = -1{,}21$ m et $x_2 = 8{,}63$ m. Seule la solution positive convient : le sac retombe en $x = 8{,}63$ m.

Positions sur l'axe (Ox) :

- planche : de $8{,}00$ m à $8{,}00 + 1{,}22 = 9{,}22$ m ;
- trou : de $8{,}00 + 0{,}91 = 8{,}91$ m à $8{,}91 + 0{,}16 = 9{,}07$ m.

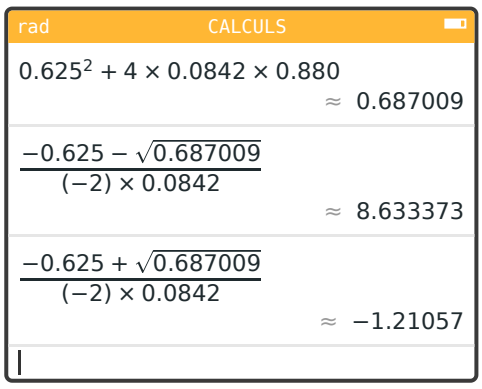
On a $8{,}00 < 8{,}63 < 8{,}91$: le sac retombe sur la planche, avant le trou.

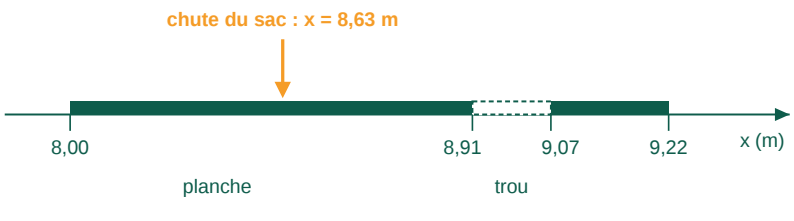
Le joueur marque **1 point**.

PIÈGE
Comparer $8{,}63$ m aux dimensions de la planche sans ajouter d : les cotes de la figure 4 partent du bord de la planche, pas de l'origine O.

MÉTHODE
Point de chute d'un projectile : poser $z = 0$ dans l'équation de la trajectoire, résoudre l'équation du second degré, garder la racine positive.

À LA CALCULATRICE





2.5 · Point de chute du premier lancer, repéré sur l'axe (Ox)

2.6 Second lancer, avec le même angle α et la même hauteur H : déterminer une valeur possible de la nouvelle vitesse initiale v_0 pour que le sac tombe directement dans le trou. Commenter.

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; premier lancer : $z(x) = -0{,}0842\,x^2 + 0{,}625\,x + 0{,}880$; trou entre $8{,}91$ m et $9{,}07$ m (Q2.5)

Paramètres conservés. Par identification avec l'équation littérale (Q2.3) : $H = 0{,}880$ m et $\tan\alpha = 0{,}625$, donc $\alpha = 32{,}0^\circ$.

Point visé. Le centre du trou : $x_T = 8{,}91 + 0{,}08 = 8{,}99$ m, avec $z = 0$.

Vitesse nécessaire. $z(x_T) = 0$ s'écrit $\dfrac{g\,x_T^2}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} = x_T\tan\alpha + H$, d'où

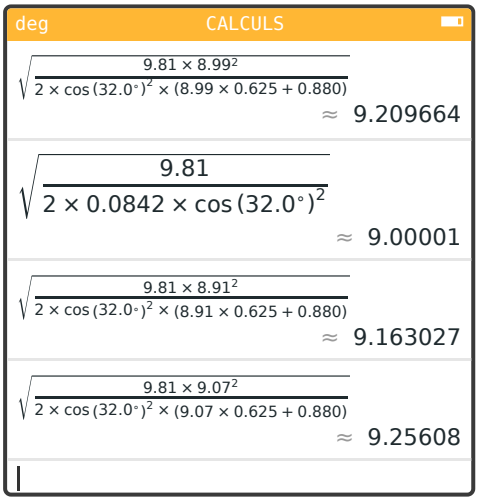
$$v_0 = \sqrt{\frac{g\,x_T^2}{2\cos^2(\alpha)\left(x_T\tan\alpha + H\right)}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{9{,}81\times 8{,}99^2}{2\times\cos^2(32{,}0^\circ)\times(8{,}99\times 0{,}625 + 0{,}880)}} = 9{,}21\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Commentaire. Pour le premier lancer, le coefficient $0{,}0842 = \dfrac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha}$ donne $v_0 = 9{,}00\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, en accord avec la question 1.2.3. Il suffit donc d'augmenter la vitesse d'environ 2 % ($0{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) pour passer d'un point à trois points. Le même calcul aux bords du trou donne $9{,}16$ et $9{,}26\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: la vitesse doit être dosée à moins de 1 % près, ce qui explique la difficulté du jeu.

$v_0 \approx 9{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (toute valeur entre $9{,}16$ et $9{,}26\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ convient)

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Reprendre le coefficient $0{,}0842$ du premier lancer : il contient l'ancienne vitesse. Seuls $\tan\alpha = 0{,}625$ et $H = 0{,}880$ m sont conservés.

COMPRENDRE
Ce modèle néglige l'action de l'air, alors que la partie 1 a montré qu'elle ne l'est pas : en réalité, il faut lancer un peu plus fort que la valeur calculée.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer les étapes (paramètres connus, point visé, relation utilisée), puis calculer. Une démarche claire rapporte des points même si le calcul n'aboutit pas.

Un indicateur coloré naturel issu du chou rouge

Bac 2021 Métropole Mars Sujet 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Justifier que la forme n°1 est une espèce amphotère.

La forme n°1 possède des groupes $-\mathrm{OH}$: en cédant un ion H^+, elle donne la forme n°2 (un $-\mathrm{OH}$ devenu $-\mathrm{O}^-$). Elle est l'acide du couple forme n°1 / forme n°2.

Son groupe $-\mathrm{O}^-$ peut capter un ion H^+ : on obtient la forme n°3 (ce groupe est devenu $-\mathrm{OH}$). Elle est la base du couple forme n°3 / forme n°1.

La forme n°1 est l'acide d'un couple et la base d'un autre : c'est une espèce **amphotère**.

MÉTHODE
Pour prouver qu'une espèce est amphotère, écrire les deux couples auxquels elle appartient : une fois comme acide (elle cède H^+), une fois comme base (elle capte H^+).

1.2 Recopier et compléter le diagramme de prédominance de l'indicateur coloré, puis associer une couleur à chaque forme en solution aqueuse.

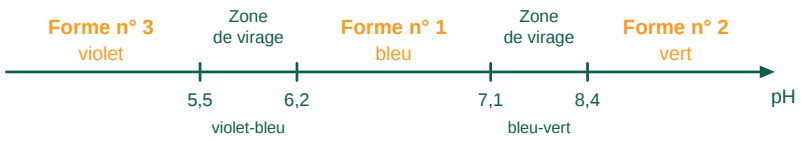
Données utiles zones de virage : pH de 5,5 à 6,2 et de 7,1 à 8,4 ; tableau des couleurs du jus de chou rouge entre pH 4,5 et 9,0

Plus le pH est faible, plus l'espèce qui prédomine est protonée. La forme n°3 porte le plus d'atomes d'hydrogène, la forme n°2 le moins : l'ordre des pH croissants est forme n°3, forme n°1, forme n°2.

D'après le tableau, la solution est violette pour pH < 5,5, bleue entre 6,2 et 7,1, verte pour pH > 8,4. Dans les zones de virage, deux formes coexistent : on observe les teintes intermédiaires violet-bleu et bleu-vert.

Forme n°3 : violet (pH < 5,5) ; forme n°1 : bleu (6,2 < pH < 7,1) ; forme n°2 : vert (pH > 8,4).

PIÈGE
Ranger les formes dans l'ordre de leur numéro. La forme n°1, amphotère, est forcément au milieu ; la forme la plus acide (n°3) est à gauche, du côté des pH faibles.



1.2 · Diagramme de prédominance complété (réponses en orange)

2.1 Représenter le schéma de Lewis de l'ion lactate.

Données utiles numéros atomiques : H (1), C (6), O (8) ; formule topologique de l'acide lactique (figure 2)

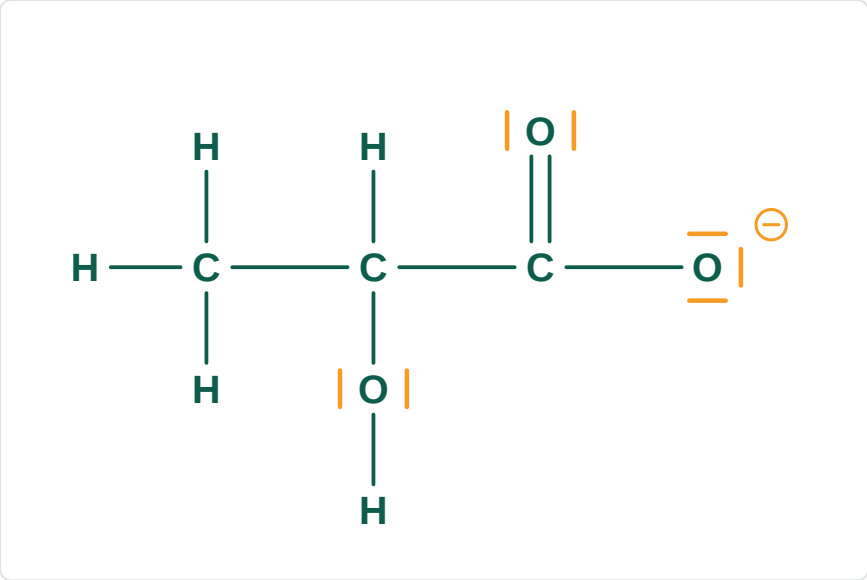
L'ion lactate est la base conjuguée de l'acide lactique : le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ a perdu un ion H^+ et devient $-\mathrm{COO}^-$. Sa formule est $\mathrm{CH_3-CH(OH)-COO^-}$.

Chaque atome de carbone forme quatre liaisons, chaque atome d'hydrogène une seule. Les atomes d'oxygène du groupe hydroxyle et de la liaison double portent deux doublets non liants. L'atome d'oxygène chargé ne forme qu'une liaison : il porte trois doublets non liants et la charge négative.

Schéma de Lewis ci-dessous : $\mathrm{CH_3-CH(OH)-COO^-}$, avec sept doublets non liants et une charge $-$ sur un atome d'oxygène.

PIÈGE
Retirer l'hydrogène du groupe hydroxyle porté par la chaîne : c'est celui du groupe carboxyle qui part. Oublier la charge ou les doublets non liants des atomes d'oxygène fait aussi perdre les points.

COMPRENDRE
L'oxygène ($Z = 8$) a six électrons de valence. Avec une seule liaison et trois doublets non liants, il en possède sept en propre : un de trop, d'où la charge négative.



2.1 · Schéma de Lewis de l'ion lactate (doublets non liants et charge en orange)

2.2 Justifier que la fermentation du lait contribue à acidifier celui-ci.

La fermentation transforme le lactose en acide lactique. Cet acide cède des ions $\mathrm{H^+}$ à l'eau, ce qui forme des ions oxonium $\mathrm{H_3O^+}$.

La concentration $[\mathrm{H_3O^+}]$ augmente, donc $\mathrm{pH} = -\log\left(\dfrac{[\mathrm{H_3O^+}]}{c^\circ}\right)$ diminue.

La fermentation produit un acide : le pH du lait diminue, le lait s'acidifie.

2.3.1 Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation entre l'acide lactique AH et l'eau du lait.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, qui joue le rôle de base (couples $\mathrm{AH/A^-}$ et $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$).

$$\mathrm{AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

COMPRENDRE
La double flèche s'impose : $K_A = 10^{-3,9}$ est très inférieur à 1, l'acide lactique est un acide faible et sa réaction avec l'eau est limitée.

2.3.2 Montrer que cette transformation est spontanée, en admettant que la concentration initiale en ion lactate est nulle.

Données utiles $K_A = 10^{-3,9}$; $[\mathrm{A^-}]_i = 0$

Le quotient de réaction à l'état initial s'écrit :

$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{A^-}]_i \times [\mathrm{H_3O^+}]_i}{[\mathrm{AH}]_i \times c^\circ}$$

Comme $[\mathrm{A^-}]_i = 0$, on a $Q_{r,i} = 0$.

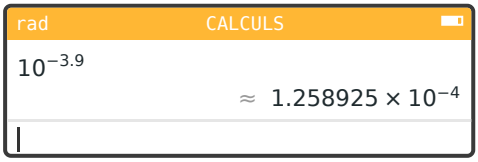
La constante d'équilibre de cette réaction est $K_A = 10^{-3,9} = 1{,}3 \times 10^{-4}$, strictement positive.

$Q_{r,i} = 0 < K_A$: le système évolue spontanément dans le sens direct, celui de la formation de $\mathrm{A^-}$ et $\mathrm{H_3O^+}$.

PIÈGE
Faire figurer l'eau dans Q_r. L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans l'expression.

MÉTHODE
Critère d'évolution : comparer $Q_{r,i}$ à K. Si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse ; si $Q_{r,i} = K$, le système est à l'équilibre.

À LA CALCULATRICE



2.4 Justifier que le jus de chou rouge peut être utilisé pour repérer l'équivalence de ce titrage et préciser le changement de couleur du milieu.

Données utiles pH initial : 5,9 ; pH à l'équivalence : 8,3 ; zones de virage (Q1.2) : 5,5 à 6,2 et 7,1 à 8,4

Un indicateur coloré convient si le pH à l'équivalence appartient à sa zone de virage. Ici $\mathrm{pH}_E = 8{,}3$ est compris entre 7,1 et 8,4 : le jus de chou rouge convient.

Au départ (pH = 5,9, première zone de virage), le milieu est violet-bleu. Il devient bleu dès que le pH dépasse 6,2, puis vire au vert en traversant la seconde zone de virage.

$7{,}1 < \mathrm{pH}_E = 8{,}3 < 8{,}4$: l'équivalence est repérée par le passage du bleu au vert (bleu-vert puis vert).

COMPRENDRE
Près de l'équivalence, le pH augmente brutalement : la zone de virage est traversée en une goutte ou deux, ce qui rend le changement de teinte repérable, même entre deux couleurs voisines.

2.5 En détaillant le raisonnement, déterminer si l'acidité Dornic du lait fermenté testé permet la fabrication d'un yaourt.

Données utiles $V = 10{,}0$ mL de lait ; $C_0 = 1{,}11 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_E = 2{,}8$ mL ; $M_{AH} = 90{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; 1,0 °D pour $0{,}10\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$; yaourt : acidité supérieure à 80 °D

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de $\mathrm{AH + HO^- \longrightarrow A^- + H_2O}$:

$$n(\mathrm{AH})_{\text{initial}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_A \times V = C_0 \times V_E$$

La concentration en masse d'acide lactique dans le lait est $c_m = C_A \times M_{AH}$, donc :

$$c_m = \frac{C_0 \times V_E \times M_{AH}}{V} = \frac{1{,}11 \times 10^{-1} \times 2{,}8 \times 90{,}1}{10{,}0} = 2{,}8\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$$

Les deux volumes sont en mL : leur rapport ne dépend pas de l'unité.

Comme 1,0 °D correspond à $0{,}10\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$: acidité $= \frac{2{,}8}{0{,}10} = 28$ °D.

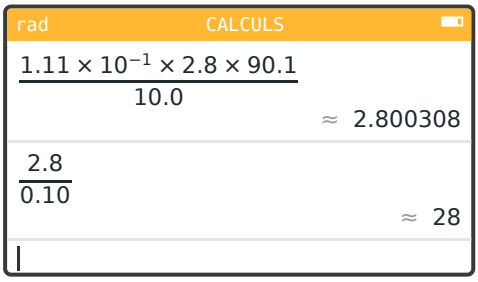
Acidité Dornic : 28 °D < 80 °D. Le lait testé n'est pas assez fermenté pour fabriquer un yaourt.

PIÈGE
Utiliser un volume de lait d'un litre ou oublier M_{AH}. Le degré Dornic repose sur une concentration en masse, en $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$, pas sur une concentration en quantité de matière.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : $V_E = 2{,}8$ mL est la donnée la moins précise. Le résultat ne peut pas être plus précis qu'elle.

MÉTHODE
Titrage : 1) relation à l'équivalence d'après l'équation support ; 2) concentration de l'espèce titrée ; 3) conversion dans la grandeur demandée ; 4) comparaison à la norme et conclusion rédigée.

À LA CALCULATRICE



Une boisson de réhydratation

Bac 2021 Métropole Mars Sujet 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Écrire la formule semi-développée de l'acide tartrique, entourer les groupes caractéristiques et nommer la famille fonctionnelle associée à chacun.

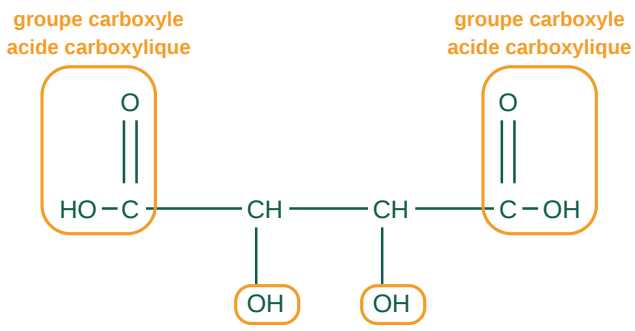
Formule semi-développée : $\mathrm{HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH}$ (voir le schéma).

- deux groupes carboxyle $-\mathrm{COOH}$: famille des **acides carboxyliques** ;
- deux groupes hydroxyle $-\mathrm{OH}$: famille des **alcools**.

Acide tartrique : 2 groupes carboxyle (acide carboxylique) et 2 groupes hydroxyle (alcool).

PIÈGE
Oublier un des quatre groupes, ou donner seulement le nom du groupe (carboxyle, hydroxyle) alors que la question demande la famille (acide carboxylique, alcool).

MÉTHODE
Passer de la formule topologique à la semi-développée : chaque sommet ou extrémité de segment est un carbone, complété par des H jusqu'à quatre liaisons. On vérifie avec la formule brute $\mathrm{C_4H_6O_6}$.



1.1 · Acide tartrique : formule semi-développée et groupes caractéristiques entourés

1.2 Déterminer la forme prédominante dans la solution (B) parmi $\mathrm{H_2T}$, $\mathrm{HT^-}$ et $\mathrm{T^{2-}}$.

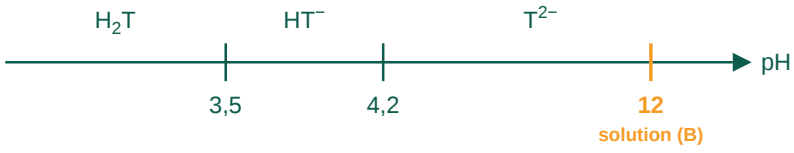
Données utiles $\mathrm{p}K_{A1} = 3{,}5$; $\mathrm{p}K_{A2} = 4{,}2$; $\mathrm{pH} > 12$

Diagramme de prédominance : $\mathrm{H_2T}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 3{,}5$, $\mathrm{HT^-}$ entre $3{,}5$ et $4{,}2$, $\mathrm{T^{2-}}$ pour $\mathrm{pH} > 4{,}2$.

Dans la solution (B), $\mathrm{pH} > 12 > \mathrm{p}K_{A2}$.

L'ion tartrate $\mathrm{T^{2-}}$ prédomine dans la solution (B).

MÉTHODE
Pour un diacide, on place les deux $\mathrm{p}K_A$ sur un axe de pH : la forme la plus acide à gauche, la plus basique à droite. On situe ensuite le pH de la solution.



1.2 · Diagramme de prédominance des formes de l'acide tartrique

1.3 En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors de la préparation de la solution (B).

L'acide $\mathrm{H_2T}$ réagit avec la base $\mathrm{HO^-}$ de la solution d'hydroxyde de sodium. L'espèce obtenue étant $\mathrm{T^{2-}}$ (1.2), chaque molécule $\mathrm{H_2T}$ cède deux ions $\mathrm{H^+}$ à deux ions $\mathrm{HO^-}$.

$$\mathrm{H_2T\,(aq) + 2\,HO^-\,(aq) \longrightarrow T^{2-}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
S'arrêter à $\mathrm{HT^-}$ en n'écrivant qu'un seul transfert d'ion $\mathrm{H^+}$. Vérifier aussi les charges : $2-$ de chaque côté.

COMPRENDRE
L'ion Na^+ est spectateur : il ne figure pas dans l'équation.

1.4 Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors du mélange des solutions (A) et (B).

L'ion formé CuT_2^{2-} contient un ion cuivre et deux ions tartrate.

$$Cu^{2+}(aq) + 2\,T^{2-}(aq) \longrightarrow CuT_2^{2-}(aq)$$

COMPRENDRE
Conservation de la charge : $(+2) + 2 \times (-2) = -2$, ce qui est bien la charge de l'ion CuT_2^{2-}.

1.5 Justifier la couleur de la solution de liqueur de Fehling.

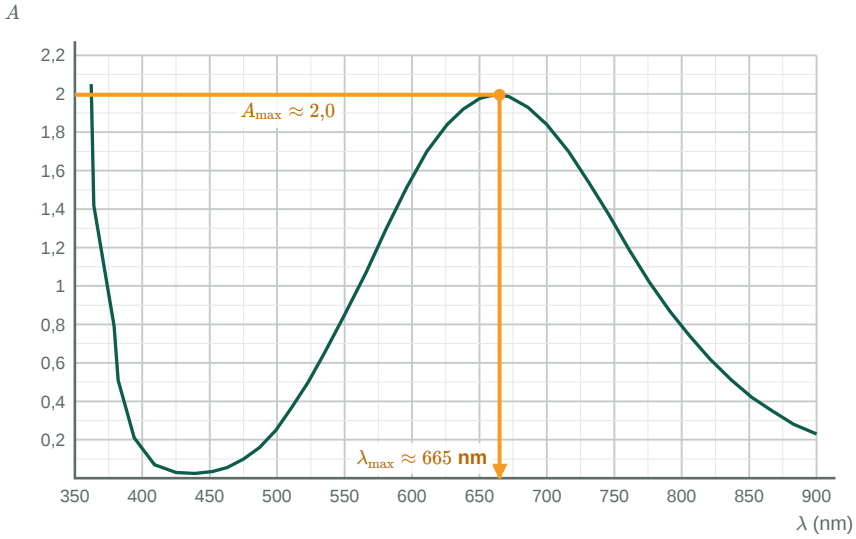
Le spectre (figure 1) présente un maximum d'absorbance vers $\lambda_{max} \approx 665$ nm : la solution absorbe surtout les radiations rouge-orangé (entre 600 nm et 700 nm sur le cercle chromatique).

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, diamétralement opposée sur le cercle : elle se situe entre le bleu et le vert.

La solution absorbe dans le rouge-orangé : elle apparaît bleue (bleu-vert).

PIÈGE
Répondre que la solution « absorbe le bleu ». Une solution a la couleur des radiations qu'elle transmet, pas de celles qu'elle absorbe.

COMPRENDRE
Autre lecture du spectre : l'absorbance est presque nulle vers 440 nm. Les radiations bleues traversent la solution sans être absorbées, c'est donc cette couleur que l'on voit.



1.5 · Allure de la figure 1 du sujet, avec le repérage du maximum d'absorbance

2.1 Justifier le caractère réducteur du glucose dans cette réaction à l'aide d'une demi-équation électronique.

Données utiles couple ion gluconate / glucose : $C_5H_{11}O_5-CO_2^-$ / $C_5H_{11}O_5-CHO$

Demi-équation du couple ion gluconate / glucose :

$$C_5H_{11}O_5-CHO + H_2O = C_5H_{11}O_5-CO_2^- + 3\,H^+ + 2\,e^-$$

Le glucose cède des électrons : il subit une oxydation.

Le glucose cède deux électrons et s'oxyde en ion gluconate : c'est un réducteur.

COMPRENDRE
En milieu basique, on ajoute $3\,HO^-$ de chaque côté. En notant R le groupe $C_5H_{11}O_5$: $R-CHO + 3\,HO^- = R-CO_2^- + 2\,H_2O + 2\,e^-$. Les deux écritures sont acceptées.

MÉTHODE
Équilibrer dans l'ordre : les atomes autres que O et H, puis O avec H_2O, puis H avec H^+, enfin les charges avec des électrons. Ici : $0 = (-1) + 3 - 2$.

2.2 Le filtrat obtenu après réaction entre une solution étalon de glucose et la liqueur de Fehling est bleu. Identifier le réactif limitant.

Seuls les ions CuT_2^{2-} colorent la solution en bleu. Le filtrat étant bleu, il reste des ions CuT_2^{2-} à la fin de la transformation : ils sont en excès.

La transformation est totale, donc le réactif limitant a entièrement disparu.

Le glucose est le réactif limitant.

COMPRENDRE
C'est la condition pour que le dosage fonctionne : tout le glucose doit réagir pour que la quantité d'ions CuT_2^{2-} restante renseigne sur la quantité de glucose apportée.

2.3 Proposer une longueur d'onde optimale pour régler le spectrophotomètre afin de réaliser les mesures.

On règle le spectrophotomètre sur la longueur d'onde du maximum d'absorbance de l'ion CuT_2^{2-} (figure 1) : les mesures sont alors les plus précises.

$\lambda \approx 665$ nm (toute valeur lue entre 650 nm et 680 nm convient).

PIÈGE
Proposer 450 nm « parce que la solution est bleue » : à cette longueur d'onde l'absorbance est quasi nulle et aucune mesure n'est possible.

2.4 Expliquer pourquoi l'absorbance du filtrat diminue lorsque la concentration en masse de glucose augmente.

D'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance du filtrat est proportionnelle à la concentration des ions CuT_2^{2-} restants, seule espèce colorée.

Le glucose, réactif limitant, consomme des ions CuT_2^{2-}. Le volume de liqueur de Fehling étant toujours le même, plus la solution étalon est concentrée en glucose, plus la quantité d'ions CuT_2^{2-} consommée est grande.

Plus C_m est grande, moins il reste d'ions CuT_2^{2-} dans le filtrat : l'absorbance diminue.

COMPRENDRE
Ce dosage est indirect : on ne mesure pas l'absorbance du glucose (incolore) mais celle du réactif coloré qui reste. L'ordonnée à l'origine, $0{,}88$, est l'absorbance sans glucose.

2.5 Déterminer la masse de glucose contenue dans le sachet de médicament et commenter le résultat obtenu.

Données utiles $A = -0{,}39 \times C_m + 0{,}88$ (C_m en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) ; $A = 0{,}59$ pour (S_2) ; dilution au dixième ; $V_1 = 500{,}0\ \text{mL}$; étiquette : 4 g de glucose par sachet

Concentration en masse de glucose dans (S_2), d'après la droite d'étalonnage :

$$C_{m2} = \frac{0{,}88 - A}{0{,}39} = \frac{0{,}88 - 0{,}59}{0{,}39} = 0{,}74\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

(S_1) est dix fois plus concentrée : $C_{m1} = 10 \times C_{m2} = 7{,}4\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Masse de glucose dissoute dans V_1 : $m = C_{m1} \times V_1 = 7{,}4 \times 0{,}5000 = 3{,}7\ \text{g}$.

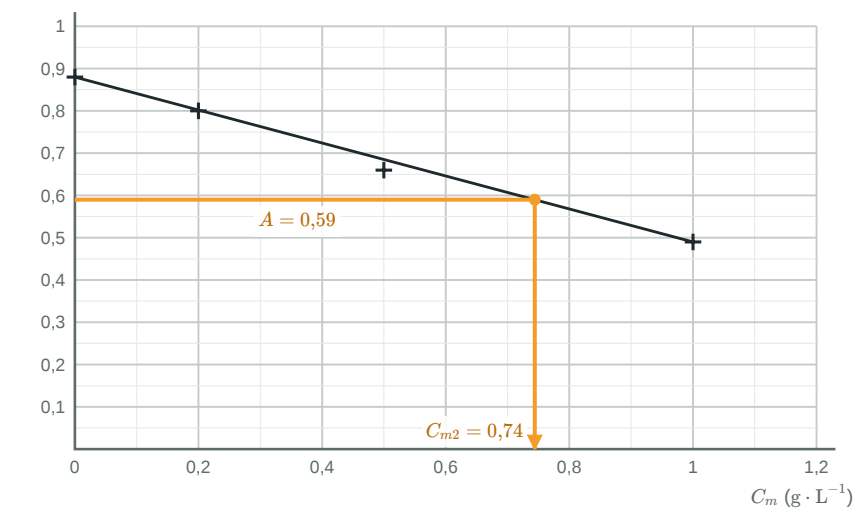
Écart relatif avec l'étiquette : $\frac{4 - 3{,}7}{4} = 7{,}5\ \%$. L'écart est faible, et l'étiquette donne une valeur moyenne avec un seul chiffre significatif.

$m = 3{,}7\ \text{g}$ de glucose par sachet, résultat cohérent avec les 4 g annoncés.

PIÈGE
Oublier la dilution au dixième : $0{,}74\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ est la concentration de (S_2), pas celle de (S_1). Convertir aussi V_1 en litres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme A et les coefficients de la droite. Sans arrondi intermédiaire, on trouve $3{,}72\ \text{g}$: le résultat est le même.

MÉTHODE
Le passage de 10,0 mL à la fiole de 25,0 mL n'intervient pas : il est identique pour les étalons et pour (S_2). C'est tout l'intérêt d'un dosage par étalonnage.



2.5 · Figure 3 du sujet, avec la lecture pour la solution (S_2)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.88 - 0.59}{0.39} \approx 0.7435897$

$0.74 \times 10 \times 0.5000 \approx 3.7$

$\frac{4 - 3.7}{4} \approx 0.075$

Four à micro-ondes pour synthèse organique

Bac 2021 Métropole Mars Sujet 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Recopier la formule topologique de la benzoïne, entourer les groupes caractéristiques et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

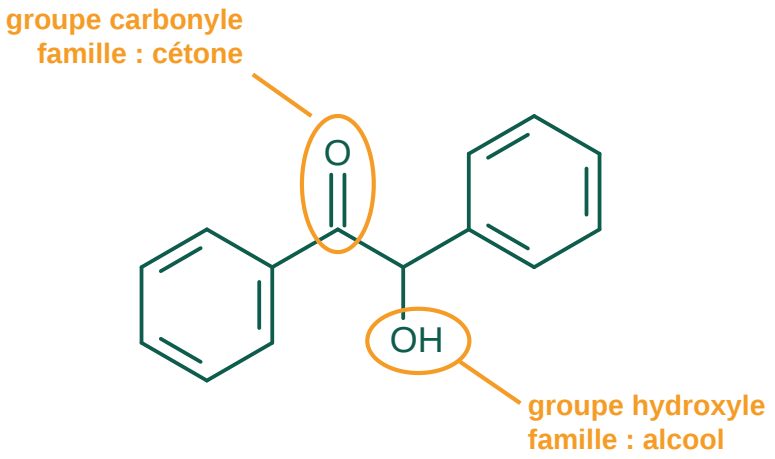
La benzoïne possède deux groupes caractéristiques (voir la formule ci-dessous) :

- le groupe carbonyle $\mathrm{C{=}O}$, porté par un carbone lié à deux autres atomes de carbone : famille des **cétones** ;
- le groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$: famille des **alcools**.

Groupe carbonyle : cétone ; groupe hydroxyle : alcool.

PIÈGE
Confondre avec le benzaldéhyde : dans la benzoïne, le carbone du groupe carbonyle ne porte plus d'atome d'hydrogène, c'est une cétone et non un aldéhyde. Les deux cycles ne sont pas des groupes caractéristiques.

MÉTHODE
On entoure seulement les atomes du groupe ($\mathrm{C{=}O}$ ou OH), puis on écrit à côté le nom du groupe et celui de la famille : la question demande les deux.



1.1 · Formule topologique de la benzoïne, groupes caractéristiques entourés

1.2 Déterminer la masse d'hydroxyde de potassium solide à prélever pour préparer les 100,0 mL de solution aqueuse d'hydroxyde de potassium utilisée dans l'étape a.

Données utiles $c = 1{,}1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V = 100{,}0\ \mathrm{mL}$; $M(\mathrm{KOH}) = 56{,}1\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Quantité de matière à dissoudre : $n = c \times V$. Masse correspondante : $m = n \times M(\mathrm{KOH})$, donc

$$m = c \times V \times M(\mathrm{KOH})$$

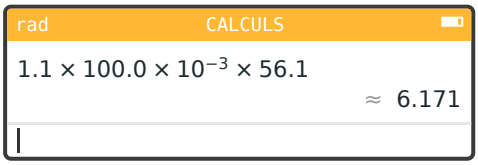
$$m = 1{,}1 \times 100{,}0 \times 10^{-3} \times 56{,}1 = 6{,}2\ \mathrm{g}$$

$m = 6{,}2\ \mathrm{g}$ d'hydroxyde de potassium solide

PIÈGE
Utiliser les 7,0 mL versés dans l'erlenmeyer : la question porte sur la fiole de 100,0 mL que l'on prépare. Le volume se convertit en litres.

COMPRENDRE
La concentration $1{,}1\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ n'a que deux chiffres significatifs : c'est la donnée la moins précise, le résultat s'écrit donc avec deux chiffres.

À LA CALCULATRICE



1.3 Donner l'état physique du produit obtenu à la fin de l'étape c du protocole expérimental.

À l'étape c, on laisse le mélange cristalliser puis on le refroidit dans un bain eau-glace ; à l'étape d, on récupère des cristaux par filtration.

Le produit obtenu à la fin de l'étape c est à l'état **solide**.

COMPRENDRE
Le bain eau-glace diminue la solubilité de la benzoïne dans le mélange eau-éthanol : davantage de solide se forme, ce qui limite les pertes à la filtration.

1.4 Indiquer la plaque qui correspond à la CCM effectuée avant la purification. Justifier.

Sur la plaque 1, le dépôt P donne une seule tache, à la même hauteur que celle de la benzoïne commerciale (C) : le produit ne contient que de la benzoïne, il est pur.

Sur la plaque 2, le dépôt P donne deux taches : l'une à la hauteur de C (benzoïne), l'autre, plus petite, à la hauteur de B. Le produit contient encore un peu de benzaldéhyde : il est impur.

La plaque 2 correspond à la CCM réalisée **avant** la purification.

PIÈGE
Répondre sans nommer l'impureté. La justification complète compare les hauteurs : la seconde tache de P est au niveau de B, c'est du benzaldéhyde qui n'a pas réagi.

MÉTHODE
Lecture d'une CCM : une tache par espèce révélée (lecture verticale) ; deux taches à la même hauteur, dans le même éluant, correspondent à la même espèce (lecture horizontale).

1.5 Proposer une autre méthode d'identification du produit obtenu en fin de synthèse.

Le produit est un solide : on peut mesurer sa température de fusion (au banc Kofler) et la comparer à la valeur tabulée pour la benzoïne.

Autre possibilité : réaliser le spectre infrarouge du produit et y repérer les bandes des liaisons $\mathrm{O{-}H}$ et $\mathrm{C{=}O}$.

Mesure de la température de fusion (ou spectroscopie infrarouge).

COMPRENDRE
La température de fusion renseigne aussi sur la pureté : un solide impur fond à une température plus basse que celle de l'espèce pure.

2.1 Donner la formule brute de la benzoïne.

Chaque cycle compte 6 atomes de carbone et 5 atomes d'hydrogène. La chaîne qui les relie apporte 2 atomes de carbone, 2 atomes d'oxygène et 2 atomes d'hydrogène (celui du carbone lié à OH et celui du groupe hydroxyle).

Carbone : $2 \times 6 + 2 = 14$; hydrogène : $2 \times 5 + 2 = 12$; oxygène : 2.

Benzoïne : $\mathrm{C_{14}H_{12}O_2}$

PIÈGE
Oublier l'atome d'hydrogène porté par le carbone lié au groupe hydroxyle : il n'est pas dessiné en formule topologique.

MÉTHODE
Vérification rapide : le benzile $\mathrm{C_{14}H_{10}O_2}$ (données) s'obtient à partir de la benzoïne en retirant deux atomes d'hydrogène, sans toucher aux atomes de carbone ni d'oxygène.

2.2 Justifier, à partir de la demi-équation électronique du couple benzile / benzoïne, que l'étape 2 correspond bien à une oxydation de la benzoïne.

Données utiles benzile $\mathrm{C_{14}H_{10}O_2}$; benzoïne $\mathrm{C_{14}H_{12}O_2}$ (2.1)

Demi-équation du couple $\mathrm{C_{14}H_{10}O_2}$ / $\mathrm{C_{14}H_{12}O_2}$:

$$\mathrm{C_{14}H_{10}O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^- = C_{14}H_{12}O_2}$$

Lors de l'étape 2, elle se déroule dans le sens $\mathrm{C_{14}H_{12}O_2 \longrightarrow C_{14}H_{10}O_2 + 2\,H^+ + 2\,e^-}$: la benzoïne cède deux électrons, elle joue le rôle de réducteur.

La benzoïne perd des électrons : elle est **oxydée** en benzile.

PIÈGE
Écrire la demi-équation sans conclure. Il faut rappeler qu'une oxydation est une perte d'électrons et l'appliquer à la benzoïne.

MÉTHODE
Équilibrer une demi-équation en milieu acide : les éléments autres que O et H, puis O avec $\mathrm{H_2O}$, puis H avec $\mathrm{H^+}$, enfin les charges avec des électrons. Vérifier que la charge est la même des deux côtés.

3 Calculer le rendement de l'étape 3 de la synthèse de la phénytoïne.

Données utiles $m_b = 1{,}00$ g de benzile, $M_b = 210{,}2$ g · mol^{-1} ; $m_u = 0{,}450$ g d'urée, $M_u = 60{,}1$ g · mol^{-1} ; $m_{\text{exp}} = 1{,}11$ g de phénytoïne, $M_p = 252{,}3$ g · mol^{-1}

Quantités de matière initiales :

$$n_b = \frac{m_b}{M_b} = \frac{1{,}00}{210{,}2} = 4{,}76 \times 10^{-3} \text{ mol} \qquad n_u = \frac{m_u}{M_u} = \frac{0{,}450}{60{,}1} = 7{,}49 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

L'équation indique qu'une mole de benzile réagit avec une mole d'urée. Comme $n_b < n_u$, le benzile est le réactif limitant.

Une mole de benzile donne une mole de phénytoïne : si la transformation était totale, $n_{\text{max}} = n_b$, soit

$$m_{\text{max}} = \frac{m_b}{M_b} \times M_p = \frac{1{,}00}{210{,}2} \times 252{,}3 = 1{,}20 \text{ g}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{1{,}11}{1{,}20} = 0{,}925$$

$\eta = 0{,}925$, soit un rendement de $92{,}5\ \%$

PIÈGE

Calculer la masse maximale sans avoir cherché le réactif limitant, ou comparer les masses des réactifs : ce sont les quantités de matière, rapportées aux nombres stœchiométriques, que l'on compare.

COMPRENDRE

Un rendement inférieur à 1 s'explique par une transformation non totale ou par des pertes lors des filtrations et des transferts. Le sujet écrit une fois « phénythoïne » : simple coquille pour phénytoïne.

À LA CALCULATRICE

