Corrigé complet — Bac S 2019 Polynésie (ancien programme)

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

Ex 1	**Mission Rosetta** Lois de Kepler · Force gravitationnelle · Mouvement circulaire uniforme · Chute libre · Deuxième loi de Newton · Quantité de mouvement	10 pts	1 h 30	13 questions	p. 2
Ex 2	**L'isoprène** Nomenclature des alcènes · Stéréoisomérie Z/E · Spectre de RMN du proton · Catégories de réactions · Rendement d'une synthèse · Quantité de matière et masse volumique	5 pts	50 min	7 questions	p. 9
Ex 3	**Spécialité : Energie thermique des mers** Couleur et absorbance · Dilution · Dosage par étalonnage · Loi de Beer-Lambert · Énergie et puissance · Bilan de matière	5 pts	50 min	4 questions	p. 12
Ex 4	**Composition d'un bonbon** Carbone asymétrique · Acide faible et diacide · Diagramme de prédominance · Spectre d'absorption et couleur · Loi de Beer-Lambert · Dose journalière admissible	5 pts	50 min	8 questions	p. 15

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Mission Rosetta

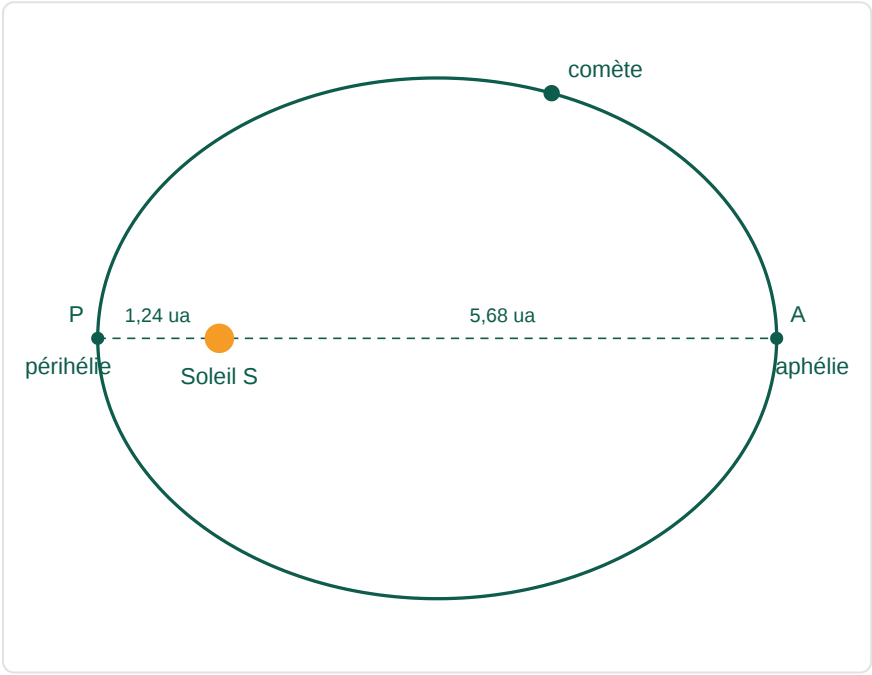
Bac S 2019 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Représenter la trajectoire de la comète autour du Soleil en plaçant le Soleil, l'aphélie et le périhélie.

Dans le référentiel héliocentrique, la comète décrit une ellipse dont l'un des foyers est le Soleil (première loi de Kepler). Le périhélie P et l'aphélie A sont les deux extrémités du grand axe : P du côté du Soleil, A à l'opposé.

Schéma ci-dessous : $SP = 1{,}24$ ua, $SA = 5{,}68$ ua, grand axe $PA = 2a$.

PIÈGE
Placer le Soleil au centre de l'ellipse. Il est sur le grand axe, décalé vers le périhélie, nettement ici puisque SA vaut plus de quatre fois SP.



1.1 · Orbite de la comète 67P autour du Soleil (distances à l'échelle)

1.2 Expliquer, à l'aide d'une loi de Kepler illustrée sur le schéma, pourquoi la vitesse de la comète n'est pas constante. Indiquer, en justifiant, la position où la vitesse est la plus grande.

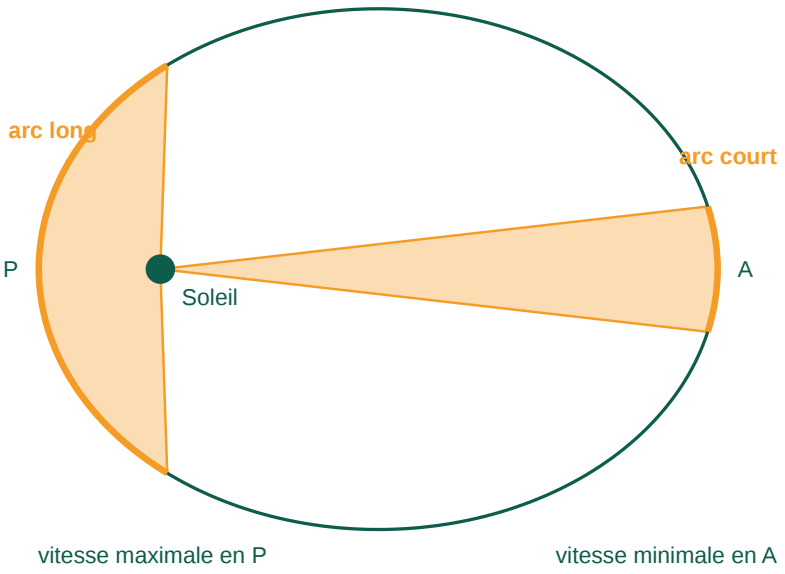
Deuxième loi de Kepler (loi des aires) : le segment [Soleil-comète] balaie des aires égales pendant des durées égales.

Sur le schéma, les deux aires colorées sont égales, donc balayées pendant la même durée Δt. Près du Soleil, le segment est court : l'arc parcouru L_P doit être long. Loin du Soleil, le segment est long : l'arc L_A est court.

Comme $L_P > L_A$ pour la même durée, $\dfrac{L_P}{\Delta t} > \dfrac{L_A}{\Delta t}$: la vitesse change le long de l'orbite.

La vitesse n'est pas constante ; elle est maximale au **périhélie** P (environ $35\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) et minimale à l'aphélie.

COMPRENDRE
Sur une orbite circulaire, le segment garde la même longueur : des aires égales donnent des arcs égaux et le mouvement est uniforme. C'est l'ellipse qui impose une vitesse variable.



1.2 · Loi des aires : les deux aires orange sont égales et balayées pendant la même durée

1.3 À partir de la troisième loi de Kepler $\frac{T^2}{a^3} = k$, déterminer la période de révolution de la comète autour du Soleil, en années.

Données utiles périhélie : $1{,}24$ ua ; aphélie : $5{,}68$ ua ; Terre : $T_T = 1$ an, $a_T = 1$ ua

Le grand axe est la distance périhélie-aphélie : $2a = 1{,}24 + 5{,}68$, donc $a = 3{,}46$ ua.

La constante k est la même pour la Terre et pour la comète :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{T_T^2}{a_T^3} \quad \text{donc} \quad T = T_T\sqrt{\frac{a^3}{a_T^3}}$$

Avec $T_T = 1$ an et $a_T = 1$ ua (orbite terrestre quasi circulaire) :

$$T = 1 \times \sqrt{\frac{3{,}46^3}{1^3}} = 6{,}44 \text{ ans}$$

$T = 6{,}44$ ans

PIÈGE
Prendre $a = 5{,}68$ ua ou $a = 6{,}92$ ua. Le demi-grand axe est la moitié de la distance périhélie-aphélie.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : les distances sont données avec trois chiffres, le résultat en garde trois.

MÉTHODE
Sans la valeur de k, on compare à un astre connu tournant autour du même centre. En gardant les années et les unités astronomiques, $k = 1\ \text{an}^2 \cdot \text{ua}^{-3}$: aucune conversion n'est nécessaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.24 + 5.68}{2}$ ≈ 3.46

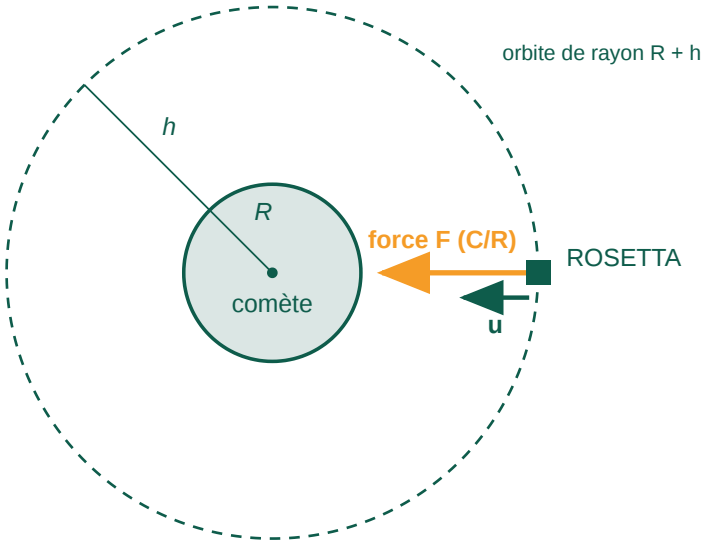
$\sqrt{3.46^3}$ ≈ 6.435972

2.1 Schématiser ROSETTA en orbite autour de la comète avec le vecteur unitaire $\vec{u}$ et la force gravitationnelle exercée par la comète, puis donner l'expression vectorielle de cette force en fonction de G, M, M_C, h, R et $\vec{u}$.

La distance entre le centre de la comète et ROSETTA est $R + h$. La force est attractive : elle est dirigée de ROSETTA vers le centre de la comète, dans le sens de $\vec{u}$.

$$\boxed{\overrightarrow{F}_{C/R} = G\,\frac{M\,M_C}{(R+h)^2}\,\vec{u}}$$

PIÈGE
Écrire h^2 au dénominateur : la distance se compte depuis le centre de la comète. Aucun signe « $-$ » ici, puisque $\vec{u}$ pointe déjà vers la comète.



2.1 · ROSETTA en orbite circulaire autour de la comète (schéma sans échelle)

2.2.1 En identifiant le poids de ROSETTA à la force gravitationnelle, donner l'expression vectorielle de l'intensité de la pesanteur $\vec{g}$ au voisinage de la comète.

Le poids s'écrit $\overrightarrow{P} = M\,\vec{g}$. L'égalité $\overrightarrow{P} = \overrightarrow{F}_{C/R}$ donne :

$$M\,\vec{g} = G\,\frac{M\,M_C}{(R+h)^2}\,\vec{u}$$

On simplifie par M :

$$\boxed{\vec{g} = G\,\frac{M_C}{(R+h)^2}\,\vec{u}}$$

COMPRENDRE
$\vec{g}$ ne dépend pas de la masse de l'objet, seulement de l'astre attracteur et de la distance à son centre. Il diminue quand l'altitude augmente.

2.2.2 ROSETTA n'étant soumise qu'à l'attraction de la comète, établir l'expression vectorielle de son accélération $\vec{a}_R$.

Système {ROSETTA}, de masse M constante ; référentiel centré sur la comète, supposé galiléen ; seule force : $\overrightarrow{F}_{C/R}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = M\,\vec{a}_R$, soit

$$G\,\frac{M\,M_C}{(R+h)^2}\,\vec{u} = M\,\vec{a}_R$$

$$\boxed{\vec{a}_R = G\,\frac{M_C}{(R+h)^2}\,\vec{u}}$$

COMPRENDRE
On retrouve $\vec{a}_R = \vec{g}$: un objet soumis à la seule gravitation a pour accélération le champ de pesanteur local.

MÉTHODE
Toujours annoncer système, référentiel et bilan des forces avant d'écrire la deuxième loi de Newton : ces trois éléments sont notés.

2.3.1 Montrer que, pour un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse de ROSETTA est $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_C}{R+h}}$.

D'après 2.2.2, $\vec{a}_R$ est dirigée selon $\vec{u}$, vers le centre de la trajectoire : l'accélération n'a pas de composante tangentielle, donc $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$ et le mouvement circulaire est uniforme.

Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon $R+h$, l'accélération est centripète et vaut $a_R = \dfrac{v^2}{R+h}$.

En égalant les deux expressions de a_R :

$$\frac{v^2}{R+h} = \frac{G\,M_C}{(R+h)^2} \quad \text{donc} \quad v^2 = \frac{G\,M_C}{R+h}$$

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_C}{R+h}}$, expression attendue.

PIÈGE
Utiliser $a = \dfrac{v^2}{r}$ sans dire d'où vient cette relation. Il faut citer le caractère centripète de l'accélération dans un mouvement circulaire uniforme.

2.3.2 Calculer la valeur v de la vitesse.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$; $M_C = 1{,}0 \times 10^{13}$ kg ; $R = 2{,}0$ km ; $h = 20$ km

$R + h = 2{,}0 \times 10^3 + 20 \times 10^3 = 22 \times 10^3$ m.

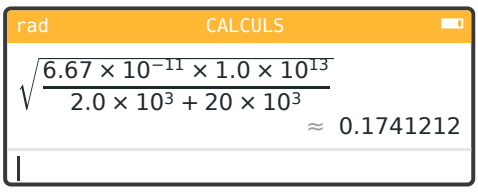
$$v = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}0 \times 10^{13}}{22 \times 10^3}} = 0{,}17\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$v = 0{,}17\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

PIÈGE
Laisser R et h en kilomètres. Avec G en unités SI, les distances sont en mètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme M_C, R et h. Cette vitesse, environ $0{,}6\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$, est celle que l'énoncé redonne à la question 3.2.

À LA CALCULATRICE



2.3.3 Combien de temps ROSETTA met-elle pour faire un tour complet de la comète ?

Données utiles $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_C}{R+h}}$ (2.3.1) ; $R + h = 22 \times 10^3$ m

Le mouvement est uniforme : en une période T, ROSETTA parcourt le périmètre $2\pi(R+h)$ de l'orbite à la vitesse v.

$$T = \frac{2\pi\,(R+h)}{v}$$

$$T = \frac{2\pi \times 22 \times 10^3}{0{,}174} = 7{,}9 \times 10^5\ \mathrm{s}$$

$T = 7{,}9 \times 10^5$ s, soit environ $9{,}2$ jours.

PIÈGE
Reprendre la valeur arrondie $0{,}17$: on obtient $8{,}1 \times 10^5$ s. Un calcul enchaîné utilise la valeur non arrondie gardée en mémoire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2\times\pi\times 22\times 10^{3}}{\sqrt{\frac{6.67\times 10^{-11}\times 1.0\times 10^{13}}{22\times 10^{3}}}} \approx 793872.9$$

$$\frac{793\,872.8922}{86\,400} \approx 9.188344$$

3.1.1 Déterminer la durée de la descente de PHILAE et sa vitesse à l'atterrissage.

Données utiles $g = 1{,}5\times 10^{-5}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; hauteur de chute $h = 20$ km ; vitesse initiale nulle

Système {PHILAE}, de masse M_P ; référentiel lié à la comète, supposé galiléen ; seule force : le poids $\vec{P} = M_P\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $M_P\,\vec{g} = M_P\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. Sur l'axe (Oy) dirigé vers le haut : $a_y = -g$.

Par intégration, avec $v_y(0) = 0$: $\quad v_y(t) = -g\,t$

Nouvelle intégration, avec $y(0) = h$: $\quad y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + h$

Durée. PHILAE touche le sol à la date t_f telle que $y(t_f) = 0$:

$$t_f = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2\times 20\times 10^{3}}{1{,}5\times 10^{-5}}} = 5{,}2\times 10^{4}\ \text{s}$$

Vitesse. $v_f = |v_y(t_f)| = g\,t_f = \sqrt{2\,g\,h}$

$$v_f = \sqrt{2\times 1{,}5\times 10^{-5}\times 20\times 10^{3}} = 0{,}77\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$t_f = 5{,}2\times 10^{4}$ s, soit environ 14 h ; $v_f = 0{,}77\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier les conditions initiales : chaque intégration fait apparaître une constante, ici 0 pour la vitesse et h pour la position. Sans elles, l'équation horaire est fausse.

COMPRENDRE
La coordonnée v_y est négative puisque PHILAE descend alors que l'axe monte. La « vitesse » demandée est la valeur positive $|v_y|$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\sqrt{\frac{2\times 20\times 10^{3}}{1.5\times 10^{-5}}} \approx 51639.78$$

$$\frac{51\,639.77795}{3600} \approx 14.34438$$

$$\sqrt{2\times 1.5\times 10^{-5}\times 20\times 10^{3}} \approx 0.7745967$$

3.1.2 Quelle hauteur de chute donnerait, sur Terre, la même vitesse d'impact ? Comment expliquer la différence ?

Données utiles $g_T = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_f = \sqrt{2\,g\,h}$ (3.1.1)

La relation $v_f = \sqrt{2\,g\,h}$ reste valable sur Terre pour une chute libre sans vitesse initiale : $v_f^2 = 2\,g_T\,h_T$. Même vitesse d'impact : $2\,g_T\,h_T = 2\,g\,h$.

$$h_T = \frac{g\,h}{g_T} = \frac{1{,}5\times10^{-5}\times20\times10^{3}}{9{,}8} = 3{,}1\times10^{-2}\ \text{m}$$

L'intensité de la pesanteur est bien plus grande sur Terre : $\frac{g_T}{g} = \frac{9{,}8}{1{,}5\times10^{-5}} \approx 6{,}5\times10^{5}$. À vitesse d'impact égale, la hauteur de chute est divisée par ce même facteur.

$h_T = 3{,}1$ cm au lieu de 20 km : la pesanteur terrestre est environ 650 000 fois plus intense que celle de la comète.

COMPRENDRE
La comète est très peu massive (10^{13} kg contre 6×10^{24} kg pour la Terre) : son attraction est minuscule. PHILAE arrive au sol à la vitesse d'un objet lâché de trois centimètres.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.5\times10^{-5}\times20\times10^{3}}{9.8}$ ≈ 0.03061224

$\frac{9.8}{1.5\times10^{-5}}$ ≈ 653333.3

3.1.3 La chute dure en réalité 7 h. Quelles hypothèses du modèle peut-on discuter ? Justifier.

Données utiles $t_f \approx 14$ h et $v_f = 0{,}77\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (3.1.1) ; $g = G\,\frac{M_C}{(R+h)^2}$ (2.2.1)

Le modèle prévoit 14 h, le double de la durée réelle : il n'est pas satisfaisant.

Champ de pesanteur uniforme. D'après 2.2.1, g dépend de la distance au centre : $g = 1{,}4\times10^{-6}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ à 20 km d'altitude, contre $1{,}7\times10^{-4}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ au sol. Il varie d'un facteur supérieur à 100 pendant la chute : le champ n'est pas uniforme.

Vitesse initiale nulle. Parcourir 20 km en 7 h correspond à une vitesse moyenne de $0{,}79\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, supérieure à la vitesse finale du modèle. PHILAE a donc été lâché avec une vitesse dirigée vers la comète.

Chute libre dans un référentiel galiléen. La comète n'est pas une sphère, elle tourne sur elle-même et l'attraction du Soleil est négligée.

Hypothèses discutables : champ uniforme, vitesse initiale nulle, PHILAE soumis à son seul poids dans un référentiel galiléen.

MÉTHODE
Critiquer un modèle : relire l'énoncé et relever chaque mot qui simplifie (uniforme, libre, galiléen, sans vitesse initiale), puis appuyer la critique sur un ordre de grandeur calculé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{6.67\times10^{-11}\times1.0\times10^{13}}{(22\times10^{3})^2}$ ≈ 1.378099×10^{-6}

$\frac{6.67\times10^{-11}\times1.0\times10^{13}}{(2.0\times10^{3})^2}$ ≈ 1.6675×10^{-4}

$\frac{20\times10^{3}}{7\times3600}$ ≈ 0.7936508

3.2 Le système {ROSETTA + PHILAE}, isolé pendant le largage, a une vitesse de $0{,}17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. PHILAE est largué avec une vitesse nulle par rapport à la comète. Déterminer la vitesse v_R de ROSETTA après le largage.

Données utiles $M = 3{,}0 \times 10^3$ kg (ROSETTA + PHILAE) ; $M_P = 1{,}0 \times 10^2$ kg ; $v = 0{,}17\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Le système {ROSETTA + PHILAE} est isolé : sa quantité de mouvement $\vec{p}$ se conserve pendant le largage, $\vec{p}_{\text{avant}} = \vec{p}_{\text{après}}$.

Avant : $\vec{p}_{\text{avant}} = M\,\vec{v}$.

Après : ROSETTA seule a pour masse $M - M_P$ et PHILAE a une vitesse nulle, donc $\vec{p}_{\text{après}} = (M - M_P)\,\vec{v}_R + M_P \times \vec{0}$.

Ainsi $M\,\vec{v} = (M - M_P)\,\vec{v}_R$: $\vec{v}_R$ garde la direction et le sens de $\vec{v}$, et en valeur

$$v_R = \frac{M\,v}{M - M_P} = \frac{3{,}0 \times 10^3 \times 0{,}17}{3{,}0 \times 10^3 - 1{,}0 \times 10^2} = 0{,}18\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\boxed{v_R = 0{,}18\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

PIÈGE

Prendre M pour la masse de ROSETTA seule. L'énoncé donne la masse de l'ensemble : après le largage, la masse de ROSETTA n'est plus que $M - M_P = 2{,}9 \times 10^3$ kg.

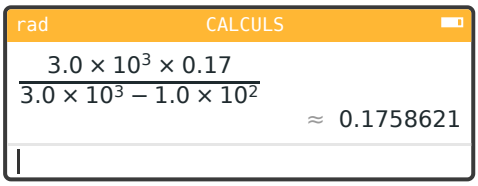
COMPRENDRE

La conservation de la quantité de mouvement $\vec{p} = m\,\vec{v}$ d'un système isolé appartient à l'ancien programme de Terminale S. Elle n'est plus exigible dans le programme actuel de spécialité.

COMPRENDRE

Pour que PHILAE reparte immobile, ROSETTA l'éjecte vers l'arrière ; par réaction, elle est légèrement accélérée vers l'avant.

À LA CALCULATRICE



L'isoprène

Bac S 2019 Polynésie (ancien programme) · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Justifier le nom de l'isoprène en nomenclature officielle (2-méthylbuta-1,3-diène) et donner sa formule semi-développée.

- La chaîne carbonée la plus longue contenant les deux doubles liaisons compte 4 atomes de carbone : racine « buta ».
- Elle porte deux doubles liaisons $C{=}C$, qui partent des carbones n° 1 et n° 3 : terminaison « 1,3-diène ».
- Un groupe méthyle $-CH_3$ est fixé sur le carbone n° 2 : préfixe « 2-méthyl ».

D'où le nom 2-méthylbuta-1,3-diène.

Formule semi-développée : $CH_2{=}C(CH_3){-}CH{=}CH_2$

PIÈGE
Dans une formule topologique, chaque sommet et chaque extrémité est un carbone, complété par des hydrogènes jusqu'à quatre liaisons. Le carbone n° 2 ne porte donc aucun hydrogène.

MÉTHODE
Pour justifier un nom : 1) chaîne principale (racine) ; 2) fonction ou insaturation et sa position (terminaison) ; 3) ramifications et leurs positions (préfixe). On numérote pour que les indices soient les plus petits possibles.

1.2 Représenter, en les identifiant, les formules topologiques des deux stéréoisomères Z et E du penta-1,3-diène.

Seule la double liaison $C_3{=}C_4$ donne lieu à une isomérie Z/E : chacun de ses deux carbones porte un atome d'hydrogène et un groupe carboné différent ($-CH{=}CH_2$ sur C3, $-CH_3$ sur C4). Le carbone C1 porte deux atomes d'hydrogène : pas d'isomérie Z/E pour $C_1{=}C_2$.

- Isomère Z : les deux atomes d'hydrogène (donc aussi les deux groupes carbonés) sont du même côté de la double liaison.
- Isomère E : ils sont de part et d'autre de la double liaison.

Les deux formules topologiques sont tracées sur la figure : chaîne « repliée » pour le Z, chaîne en zigzag régulier pour le E.

PIÈGE
Dessiner une différence autour de $C_1{=}C_2$: un carbone portant deux groupes identiques (ici deux H) ne crée aucune isomérie Z/E. Penser aussi à écrire Z ou E sous chaque formule.

COMPRENDRE
Z vient de l'allemand « zusammen » (ensemble), E de « entgegen » (opposé). L'isomérie Z/E, exigible au bac S, ne figure plus explicitement au programme actuel de spécialité de terminale.



stéréoisomère Z
C2 et C5 du même côté de C3=C4

stéréoisomère E
C2 et C5 de part et d'autre de C3=C4

1.2 · Formules topologiques des deux stéréoisomères du penta-1,3-diène (carbones numérotés en orange)

1.3.1 Écrire la formule semi-développée du 2-méthylbutane.

Chaîne principale de 4 carbones (butane), sans double liaison, avec un groupe méthyle sur le carbone n° 2 :

$CH_3{-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3$

COMPRENDRE
L'hydrogénation ajoute une molécule H_2 sur chaque double liaison : $C_5H_8 + 2\,H_2 \longrightarrow C_5H_{12}$. Le squelette carboné de l'isoprène est conservé.

1.3.2 Indiquer, en le justifiant, le nombre de signaux attendus sur le spectre de RMN du proton du 2-méthylbutane et la multiplicité de chaque signal.

Dans $(CH_3)_2CH-CH_2-CH_3$, on compte 4 groupes de protons équivalents, donc 4 signaux. Un groupe de protons ayant n protons voisins (portés par les carbones adjacents) donne un signal de $n+1$ pics.

- Les 6 H des deux CH_3 portés par le carbone n° 2 (équivalents) : 1 voisin (H de CH), soit un doublet.
- Le H de CH : $6+2=8$ voisins, soit un signal de 9 pics (nonuplet).
- Les 2 H de CH_2 : $1+3=4$ voisins, soit un quintuplet.
- Les 3 H du CH_3 en bout de chaîne : 2 voisins (H de CH_2), soit un triplet.

4 signaux : un doublet (6 H), un nonuplet (1 H), un quintuplet (2 H) et un triplet (3 H).

PIÈGE
Compter 5 signaux. Les deux groupes méthyle liés au même carbone ont le même environnement chimique : leurs 6 protons sont équivalents et donnent un seul signal.

COMPRENDRE
La multiplicité des signaux de RMN, au programme du bac S, n'est plus exigible dans le programme actuel de spécialité de terminale.

MÉTHODE
Entourer chaque groupe de protons équivalents, puis, pour chacun, additionner les H portés par tous les carbones directement voisins : la multiplicité vaut ce nombre plus un.

2.1.1 Indiquer, pour les étapes 2 et 3, la catégorie de la réaction.

- Étape 2 : les atomes de la molécule H_2 se fixent sur la triple liaison, qui devient une double liaison ; deux réactifs donnent un seul produit. C'est une addition.
- Étape 3 : la molécule perd le groupe $-OH$ et un atome H d'un carbone voisin ; une petite molécule (H_2O) se détache et une double liaison se forme. C'est une élimination.

Étape 2 : addition ; étape 3 : élimination.

MÉTHODE
Addition : des atomes s'ajoutent sur une liaison multiple, un seul produit. Élimination : départ d'une petite molécule, création d'une liaison multiple. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre.

2.1.2 Déduire de l'ensemble des étapes l'équation de la réaction de synthèse de l'isoprène.

En formules brutes, les trois étapes s'écrivent :

- étape 1 : $C_2H_2 + C_3H_6O \longrightarrow C_5H_8O$
- étape 2 : $C_5H_8O + H_2 \longrightarrow C_5H_{10}O$
- étape 3 : $C_5H_{10}O \longrightarrow C_5H_8 + H_2O$

On additionne membre à membre : les intermédiaires C_5H_8O et $C_5H_{10}O$, formés puis consommés, se simplifient.

$C_2H_2 + C_3H_6O + H_2 \longrightarrow C_5H_8 + H_2O$ (éthyne + propanone + dihydrogène donnent isoprène + eau)

PIÈGE
Faire figurer NH_3, KOH ou Al_2O_3 dans l'équation : solvant et catalyseurs ne sont pas des réactifs. Vérifier la conservation des éléments : 5 C, 10 H et 1 O de chaque côté.

2.2 Déterminer le volume de propanone nécessaire à la production annuelle d'isoprène, la propanone étant le réactif limitant.

Données utiles $m_{\text{iso}} = 30\,000$ t par an ; rendement $\eta = 85\ \%$; $\rho = 790\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $M(\text{C}) = 12{,}0$, $M(\text{H}) = 1{,}0$, $M(\text{O}) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; équation de la synthèse (2.1.2)

Masses molaires : $M(\text{C}_5\text{H}_8) = 5 \times 12{,}0 + 8 \times 1{,}0 = 68{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 3 \times 12{,}0 + 6 \times 1{,}0 + 16{,}0 = 58{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Quantité d'isoprène produite, avec $m_{\text{iso}} = 30\,000\ \text{t} = 3{,}0 \times 10^{10}\ \text{g}$:

$$n_{\text{iso}} = \frac{m_{\text{iso}}}{M(\text{C}_5\text{H}_8)} = \frac{3{,}0 \times 10^{10}}{68{,}0} = 4{,}41 \times 10^{8}\ \text{mol}$$

D'après l'équation, 1 mol de propanone (réactif limitant) donnerait au maximum 1 mol d'isoprène : $n_{\text{max}} = n_{\text{prop}}$. Le rendement est $\eta = \dfrac{n_{\text{iso}}}{n_{\text{max}}}$, donc

$$n_{\text{prop}} = \frac{n_{\text{iso}}}{\eta} = \frac{4{,}41 \times 10^{8}}{0{,}85} = 5{,}19 \times 10^{8}\ \text{mol}$$

Masse de propanone : $m_{\text{prop}} = n_{\text{prop}} \times M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 5{,}19 \times 10^{8} \times 58{,}0 = 3{,}01 \times 10^{10}\ \text{g} = 3{,}01 \times 10^{7}\ \text{kg}$.

Volume :

$$V = \frac{m_{\text{prop}}}{\rho} = \frac{m_{\text{iso}} \times M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})}{\eta \times M(\text{C}_5\text{H}_8) \times \rho} = \frac{3{,}01 \times 10^{7}}{790}$$

$V = 3{,}8 \times 10^{4}\ \text{m}^3$ de propanone par an

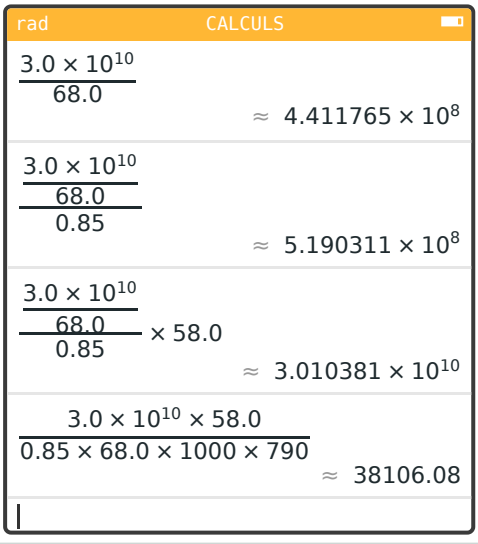
PIÈGE

Multiplier par 0,85 au lieu de diviser : avec un rendement inférieur à 100 %, il faut plus de réactif que la quantité théorique. Attention aussi aux unités : ρ est en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, la masse doit être en kg.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme le rendement (85 %), donnée la moins précise. On garde les valeurs intermédiaires non arrondies dans la calculatrice et on n'arrondit qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Energie thermique des mers

Bac S 2019 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Justifier le réglage du spectrophotomètre à 415 nm pour ce dosage.

Les solutions à doser sont jaunes : elles absorbent surtout la couleur complémentaire du jaune, diamétralement opposée sur le cercle chromatique, c'est-à-dire le violet.

La longueur d'onde 415 nm se situe dans le violet (entre 400 nm et 460 nm sur le cercle).

À 415 nm, l'absorbance de l'espèce jaune est proche de son maximum : les mesures sont les plus sensibles et les plus précises.

PIÈGE
Dire que la solution « absorbe le jaune ». Elle paraît jaune parce qu'elle laisse passer le jaune et absorbe le violet.

1.2 Quel est l'intérêt du chauffage de l'échantillon d'eau de mer ?

Le chauffage évapore une partie de l'eau : le volume est divisé par 10 alors que la quantité d'ions nitrate ne change pas. La concentration en ions nitrate est donc multipliée par 10.

L'échantillon concentré a une absorbance assez grande (0,37) pour être mesurée avec précision et pour se placer dans le domaine de la gamme d'étalonnage.

COMPRENDRE
Avec environ $10^{-5}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, l'eau de mer non concentrée aurait une absorbance voisine de 0,04, plus faible que celle de S_1 : la lecture serait très imprécise.

1.3 Calculer la concentration de la solution mère et des solutions filles, compléter l'annexe, puis expliquer comment le technicien détermine la concentration en ions nitrate des eaux profondes et vérifier l'ordre de grandeur annoncé.

Données utiles $m = 160$ mg ; $M(NH_4NO_3) = 80{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $V = 1{,}00$ L ; $V_{fille} = 100$ mL ; $A = 0{,}37$ pour l'échantillon concentré 10 fois

Solution mère. D'après l'équation de dissolution, une mole de NH_4NO_3 donne une mole d'ions NO_3^- :

$$C = \frac{m}{M \times V} = \frac{160 \times 10^{-3}}{80{,}0 \times 1{,}00} = 2{,}00 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$$

Solutions filles. La quantité de matière se conserve lors d'une dilution : $C \times V_{prélevé} = C_i \times V_{fille}$, donc $C_i = C \times \frac{V_{prélevé}}{V_{fille}}$.

Pour S_1 : $C_1 = 2{,}00 \times 10^{-3} \times \frac{5{,}0}{100} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$. De même pour les autres :

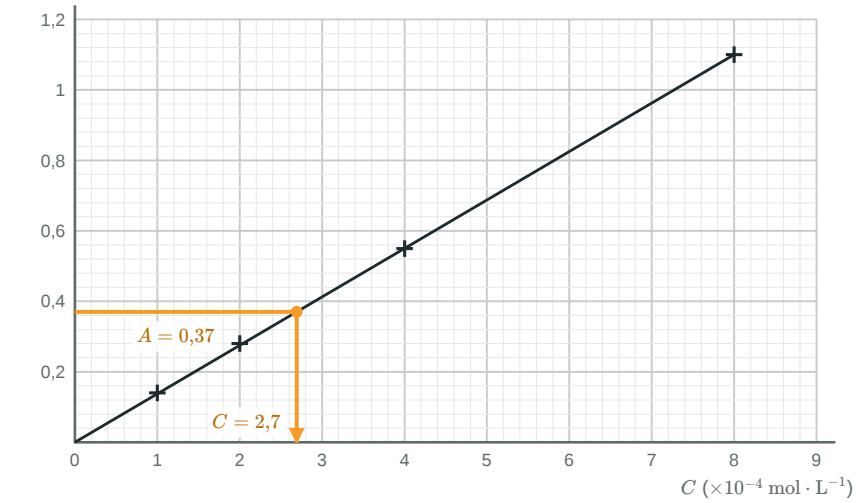
Solution	S_1	S_2	S_3	S_4
C_i ($mol \cdot L^{-1}$)	$1{,}0 \times 10^{-4}$	$2{,}0 \times 10^{-4}$	$4{,}0 \times 10^{-4}$	$8{,}0 \times 10^{-4}$
A	0,14	0,28	0,55	1,1

Échelle du graphique. Les points sont placés aux graduations 1, 2, 4 et 8 : une graduation principale représente $1{,}0 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$.

Méthode. C'est un dosage par étalonnage. La courbe $A = f(C)$ est une droite passant par l'origine : l'absorbance est proportionnelle à la concentration (loi de Beer-Lambert). On reporte $A = 0{,}37$ sur la droite et on lit en abscisse $C_{concentrée} = 2{,}7 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$.

L'échantillon a été concentré 10 fois : $C_{eau} = \frac{C_{concentrée}}{10}$.

$C_{eau} = 2{,}7 \times 10^{-5}\ mol \cdot L^{-1}$: l'ordre de grandeur est bien $10^{-5}\ mol \cdot L^{-1}$, comme annoncé.



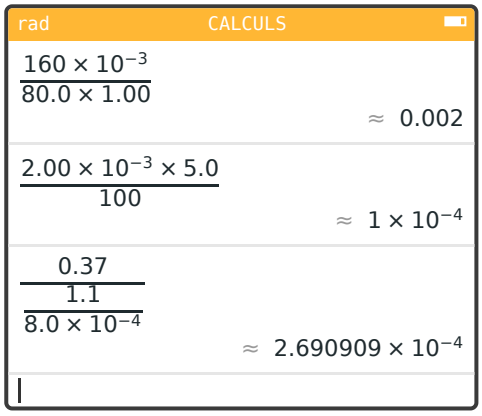
1.3 · Annexe complétée : échelle des abscisses et lecture de la concentration pour $A = 0{,}37$

PIÈGE
Oublier de diviser par 10 la concentration lue : la droite donne celle de l'échantillon chauffé, pas celle de l'eau de mer.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : les volumes prélevés et les absorbances en ont deux, les concentrations des solutions filles et la lecture graphique s'écrivent donc avec deux chiffres.

MÉTHODE
Vérifier la lecture par le calcul : la droite passe par S_4, donc $k = 1{,}1 \div (8{,}0 \times 10^{-4})$ et $C = A \div k$.

À LA CALCULATRICE



2 Quelle masse de CO_2 le projet NEMO permettrait-il d'éviter de rejeter par an en remplaçant une centrale au fuel de même puissance ? Commenter.

Données utiles $P = 10{,}7$ MW ; 890 g de CO_2 par kWh ; $D = 33\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; excès de CO_2 dissous : $202 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 6,8 mol de CO_2 par mole de NO_3^- ; $C_{\text{eau}} = 2{,}7 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (1.3) ; $M(CO_2) = 44{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Centrale au fuel. En un an, $\Delta t = 365 \times 24 = 8\,760$ h. Énergie produite :

$$E = P \times \Delta t = 10{,}7 \times 10^3\ \text{kW} \times 8\,760\ \text{h} = 9{,}37 \times 10^7\ \text{kWh}$$

$m_{\text{fuel}} = 890 \times 9{,}37 \times 10^7 = 8{,}34 \times 10^{10}$ g, soit $8{,}34 \times 10^4$ tonnes.

Station NEMO. Volume d'eau profonde pompé en un an :

$V = D \times \Delta t = 33 \times 365 \times 24 \times 3\,600 = 1{,}04 \times 10^9\ \text{m}^3 = 1{,}04 \times 10^{12}\ \text{L}$

On considère que $202 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ est l'excès de CO_2 de l'eau profonde par rapport à l'eau de surface. Par litre d'eau rejetée :

- CO_2 consommé par la matière vivante : $6{,}8 \times 2{,}7 \times 10^{-5} = 1{,}84 \times 10^{-4}$ mol ;
- CO_2 libéré dans l'atmosphère : $202 \times 10^{-6} - 1{,}84 \times 10^{-4} = 1{,}8 \times 10^{-5}$ mol.

$m_{\text{NEMO}} = n \times M = 1{,}84 \times 10^{-5} \times 1{,}04 \times 10^{12} \times 44{,}0 = 8{,}4 \times 10^8$ g, soit environ 840 tonnes.

Masse évitée. $m_{\text{fuel}} - m_{\text{NEMO}} = 8{,}34 \times 10^{10} - 0{,}08 \times 10^{10}$

> NEMO éviterait le rejet d'environ $8{,}3 \times 10^{10}$ g de CO_2 par an, soit $8{,}3 \times 10^4$ tonnes.

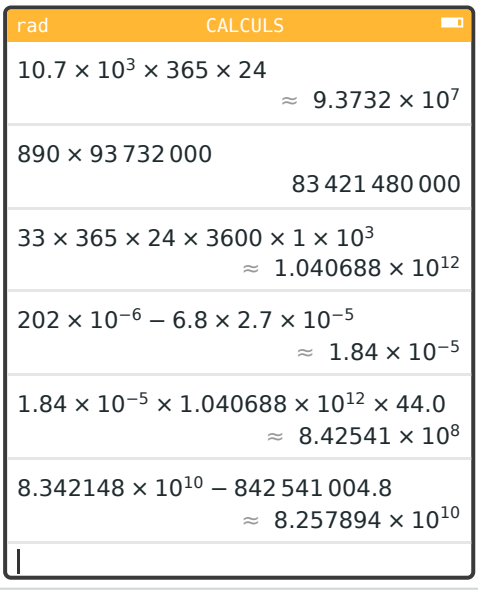
Commentaire. NEMO rejette environ 100 fois moins de CO_2 qu'une centrale au fuel de même puissance : près de 99 % des émissions sont évitées, l'intérêt environnemental est net.

PIÈGE
Croire qu'une station ETM ne rejette rien. L'eau profonde remontée libère du CO_2 : il faut retrancher ce rejet à celui de la centrale au fuel.

COMPRENDRE
Le rejet de NEMO vient d'une différence de deux nombres voisins (202 et 184) : il dépend fortement de la lecture graphique de 1.3. La masse évitée, elle, y est presque insensible.

MÉTHODE
Problème ouvert : annoncer le plan (rejet du fuel, rejet de NEMO, différence), travailler en kWh pour utiliser directement « 890 g par kWh », garder un chiffre de plus dans les calculs intermédiaires.

À LA CALCULATRICE



Composition d'un bonbon

Bac S 2019 Polynésie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 L'acide malique présente-t-il des stéréoisomères de configuration ? Justifier.

L'atome de carbone qui porte le groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ est lié à quatre groupes tous différents : $-\mathrm{H}$, $-\mathrm{OH}$, $-\mathrm{COOH}$ et $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{COOH}$. C'est un atome de carbone asymétrique, et c'est le seul de la molécule.

Oui : l'acide malique existe sous la forme de deux stéréoisomères de configuration, qui sont deux énantiomères.

PIÈGE
Le carbone du groupe $\mathrm{CH_2}$ porte deux atomes H identiques, et ceux des groupes carboxyle n'ont que trois voisins : aucun n'est asymétrique.

COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et les énantiomères ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Cette question relève de l'ancien programme de Terminale S.

1.2 Définir l'expression « acide faible ».

Un acide, au sens de Brönsted, est une espèce capable de céder un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$.

Un acide est faible si sa réaction avec l'eau n'est pas totale : elle conduit à un équilibre dans lequel l'acide et sa base conjuguée coexistent.

COMPRENDRE
Pour un acide faible AH : $\mathrm{AH + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+}$. La double flèche traduit la réaction limitée ; son taux d'avancement final est inférieur à 1.

1.3 Pourquoi l'acide malique est-il un « diacide » ?

La molécule possède deux groupes carboxyle $-\mathrm{COOH}$, un à chaque extrémité de la chaîne.

Elle peut céder deux ions $\mathrm{H^+}$: c'est un diacide, d'où les deux couples et les deux $\mathrm{p}K_a$.

PIÈGE
Le groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ porté par le carbone central est celui d'un alcool : il n'a pas de caractère acide dans l'eau et ne compte pas.

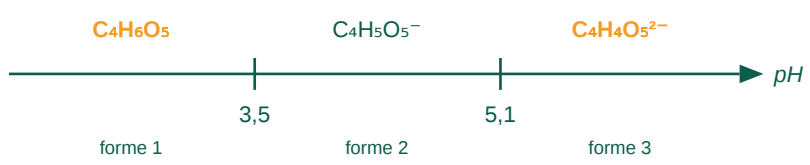
1.4 Indiquer les formules brutes des formes 1 et 3 du diagramme de prédominance.

Données utiles forme 2 : $\mathrm{C_4H_5O_5^-}$; $\mathrm{p}K_{a1} = 3{,}5$; $\mathrm{p}K_{a2} = 5{,}1$

La forme la plus acide prédomine aux pH les plus faibles. La forme 1 est donc l'acide conjugué de la forme 2 (un $\mathrm{H^+}$ en plus) et la forme 3 sa base conjuguée (un $\mathrm{H^+}$ en moins).

Forme 1 : $\mathrm{C_4H_6O_5}$; forme 3 : $\mathrm{C_4H_4O_5^{2-}}$

MÉTHODE
Passer d'une forme à la suivante vers les pH croissants, c'est retirer un $\mathrm{H^+}$: un atome H en moins et une charge négative en plus. Vérifier que la charge évolue de 0 à -2.



1.4 · Diagramme de prédominance complété

1.5 Indiquer la forme prédominante de l'acide malique dans la bouche et proposer une interprétation de la sensation acide éprouvée.

Données utiles pH de la salive compris entre 6,5 et 7,4 ; $\mathrm{p}K_{a2} = 5{,}1$

Le pH de la salive est supérieur à $\mathrm{p}K_{a2} = 5{,}1$: on se trouve dans le domaine de la forme 3.

Le bonbon apporte l'acide malique sous sa forme acide $\mathrm{C_4H_6O_5}$. Dans la salive, celle-ci se transforme en forme 3 en cédant ses deux ions $\mathrm{H^+}$ à l'eau : $\mathrm{C_4H_6O_5 + 2\,H_2O \longrightarrow C_4H_4O_5^{2-} + 2\,H_3O^+}$.

Dans la bouche, la forme prédominante est $\mathrm{C_4H_4O_5^{2-}}$; les ions $\mathrm{H_3O^+}$ libérés lors de sa formation sont responsables de la sensation acide.

COMPRENDRE
Il n'y a pas de contradiction : c'est précisément parce que l'acide malique ne peut pas rester sous sa forme acide à ce pH qu'il libère ses ions $\mathrm{H^+}$ dans la salive.

2.1 Le spectre de la solution S est-il cohérent avec la couleur du bonbon ? Justifier.

Données utiles spectre de la solution S ; cercle chromatique

Le spectre de S présente un maximum d'absorbance ($A_{\max} \approx 2{,}0$) pour $\lambda_{\max} \approx 640\ \mathrm{nm}$.

Sur le cercle chromatique, $640\ \mathrm{nm}$ se situe entre l'orange ($600\ \mathrm{nm}$) et le rouge ($680\ \mathrm{nm}$). La solution absorbe donc surtout les radiations orange-rouge.

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

Oui : la solution S absorbe dans l'orange-rouge, elle apparaît bleue, ce qui est cohérent avec la couleur du bonbon.

PIÈGE
La couleur d'une solution n'est pas celle qu'elle absorbe. Répondre « S absorbe à 640 nm donc elle est rouge » fait perdre la question.

2.2 Déterminer le nom et la concentration molaire du colorant présent dans la solution S. Justifier.

Données utiles $C_{\text{colorant}} = 1{,}00 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; spectres : $A_S \approx 2{,}0$ et $A_{E131} \approx 1{,}0$ à $640\ \mathrm{nm}$

Identification : un colorant se reconnaît à la longueur d'onde de son maximum d'absorption et à l'allure de son spectre. Les maximums se lisent vers $610\ \mathrm{nm}$ pour E132, $630\ \mathrm{nm}$ pour E133 et $640\ \mathrm{nm}$ pour E131. Seul le spectre de E131 a son maximum à la même longueur d'onde que S, avec la même allure : le colorant du bonbon est le bleu patenté E131.

Concentration : à $640\ \mathrm{nm}$, la loi de Beer-Lambert donne $A_S = k\,C$ et $A_{E131} = k\,C_{\text{colorant}}$, avec le même coefficient k (même espèce, même longueur d'onde, même cuve). Donc

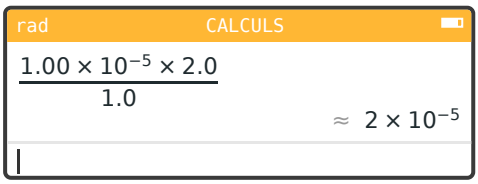
$$C = C_{\text{colorant}} \times \frac{A_S}{A_{E131}} = 1{,}00 \times 10^{-5} \times \frac{2{,}0}{1{,}0}$$

Le colorant est le bleu patenté E131 et $C = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

PIÈGE
Comparer les hauteurs des pics pour identifier le colorant. La hauteur dépend de la concentration ; c'est la position du maximum qui caractérise l'espèce.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : les absorbances sont lues sur le graphique à deux chiffres, ce qui limite la précision du résultat malgré les trois chiffres de C_{colorant}.

À LA CALCULATRICE



2.3 Déterminer le nombre maximal de bonbons qu'un enfant de 30 kg peut ingérer chaque jour sans dépasser la DJA du colorant. Commenter le résultat.

Données utiles $C = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.2) ; $V = 25{,}0\ \text{mL}$; E131 : $M = 560\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\text{DJA} = 2{,}5\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$

Masse de colorant dans un bonbon : tout le colorant d'un bonbon se retrouve dans les $25{,}0\ \text{mL}$ de solution S.

$m_{\text{bonbon}} = C \times V \times M$

$$m_{\text{bonbon}} = 2{,}0 \times 10^{-5} \times 25{,}0 \times 10^{-3} \times 560 = 2{,}8 \times 10^{-4}\ \text{g}$$

soit $m_{\text{bonbon}} = 0{,}28\ \text{mg}$.

Masse maximale de colorant par jour pour l'enfant :

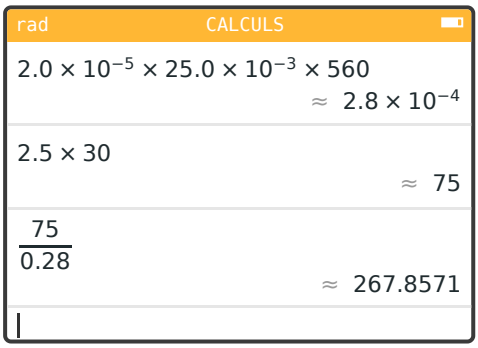
$$m_{\max} = \text{DJA} \times m_{\text{enfant}} = 2{,}5 \times 30 = 75\ \text{mg}$$

Nombre de bonbons : $N = \dfrac{m_{\max}}{m_{\text{bonbon}}} = \dfrac{75}{0{,}28} \approx 267{,}9$. Pour ne pas dépasser la DJA, on arrondit à l'entier inférieur.

Commentaire : aucun enfant ne mange autant de bonbons en une journée. La DJA du bleu patenté ne peut pas être atteinte avec ces seuls bonbons ; le colorant ne présente pas de risque ici.

$N_{\max} = 267$ bonbons par jour, soit environ $2{,}7 \times 10^2$: la DJA est loin d'être atteinte.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Oublier de convertir $25{,}0\ \text{mL}$ en litres, ou mélanger grammes et milligrammes dans le quotient. Prendre la DJA et la masse molaire d'un autre colorant du tableau fausse aussi le résultat.

COMPRENDRE

« Sans dépasser » impose d'arrondir par défaut : avec 268 bonbons la dose serait franchie. Vu la précision des lectures, l'ordre de grandeur (environ 270) est ce qui compte.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer le plan. 1) masse de colorant dans un bonbon ($n = CV$ puis $m = nM$) ; 2) masse autorisée par jour ; 3) quotient des deux ; 4) commentaire.