Exercice 1 : Nuisances sonores autour d'un aéroport

8 points

Partie A : Le bruit au décollage

1) Par définition du niveau d'intensité sonore :

$$L_{A1} = 10\log\left(\frac{I_{A1}}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{5{,}0\times10^{-6}\,\text{W·m}^{-2}}{1{,}0\times10^{-12}\,\text{W·m}^{-2}}\right) \quad\Longrightarrow\quad \boxed{L_{A1} = 67\,\text{dB}}$$

(la calculatrice affiche 66,99 ; deux chiffres significatifs comme I_{A1}).

2) La mesure a été faite pour un avion A1 : on repère $67\,\text{dB}$ sur l'axe vertical, on rejoint horizontalement la courbe A1 (triangles) et on descend jusqu'à l'axe des distances. On lit :

$$\boxed{d \approx 1\,200\,\text{m}}$$

(lecture acceptée entre $1\,150$ et $1\,250\,\text{m}$). Attention à ne pas lire sur A2 ou A3, qui donneraient une autre distance.

3) Le niveau sonore baisse quand on s'éloigne de la source alors que rien n'absorbe le son : c'est l'**atténuation géométrique**. La puissance émise par l'avion se répartit sur des sphères de plus en plus grandes à mesure que l'onde progresse ; la puissance reçue par mètre carré, c'est-à-dire l'intensité sonore, diminue donc avec la distance.

4) Sur la courbe A1 : à $600\,\text{m}$, $L \approx 73\,\text{dB}$; à $1\,200\,\text{m}$ (distance doublée), $L \approx 67\,\text{dB}$. Le même calcul sur une autre courbe, ou entre $1\,500$ et $3\,000\,\text{m}$, donne le même écart :

$$\Delta L \approx 73 - 67 \quad\Longrightarrow\quad \boxed{\text{le niveau baisse d'environ } 6\,\text{dB}}$$

Ce résultat est général : I varie comme $\dfrac{1}{d^2}$; doubler d divise I par 4, donc retire $10\log 4 \approx 6\,\text{dB}$.

5) À la distance $d = 1\,200\,\text{m}$, on lit sur la courbe A3 : $L_{A3} = 70\,\text{dB}$ (si la distance trouvée en 2) est un peu différente, le report de cette valeur est accepté). On revient à l'intensité (les niveaux ne s'additionnent pas) :

$$I_{A3} = I_0 \times 10^{L_{A3}/10} = 1{,}0\times10^{-12}\,\text{W·m}^{-2}\times10^{7{,}0} = 1{,}0\times10^{-5}\,\text{W·m}^{-2}$$

Les intensités des trois avions s'ajoutent : $I_{\text{total}} = 3\,I_{A3} = 3{,}0\times10^{-5}\,\text{W·m}^{-2}$, d'où

$$L_{\text{total}} = 10\log\left(\frac{I_{\text{total}}}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{3{,}0\times10^{-5}\,\text{W·m}^{-2}}{1{,}0\times10^{-12}\,\text{W·m}^{-2}}\right) \quad\Longrightarrow\quad \boxed{L_{\text{total}} \approx 75\,\text{dB}}$$

Tripler l'intensité n'ajoute que $10\log 3 \approx 4{,}8\,\text{dB}$ au niveau d'un seul avion.

6) On calcule d'abord l'intensité reçue à la distance $d = 1\,200\,\text{m}$ trouvée en 2) (report de la valeur trouvée en 2) accepté), avec $P = 150\,\text{kW} = 1{,}50\times10^{5}\,\text{W}$:

$$I_{A4} = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{1{,}50\times10^{5}\,\text{W}}{4\pi\times(1\,200\,\text{m})^2} = 8{,}29\times10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}$$

puis le niveau (valeur non arrondie gardée en mémoire) :

$$L_{A4} = 10\log\left(\frac{I_{A4}}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{8{,}29\times10^{-3}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}}{1{,}0\times10^{-12}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}}\right) \quad\Longrightarrow\quad \boxed{L_{A4}\approx 99\,\mathrm{dB}}$$

7) $90\,\mathrm{dB} < L_{A4} \approx 99\,\mathrm{dB} < 120\,\mathrm{dB}$: le niveau perçu se situe au-delà du seuil de danger (mais en deçà du seuil de douleur). Ce bruit est donc **réellement dangereux** pour l'audition du riverain, et pas seulement gênant.

8) Sur la figure 2, à $2\,500\,\mathrm{Hz}$, le double vitrage 8-12-4 mm apporte une atténuation d'environ $45\,\mathrm{dB}$ (lecture : $45\,\mathrm{dB}\pm1\,\mathrm{dB}$). Le sifflement serait alors perçu dans la maison avec un niveau

$$L = L_{A4} - \text{atténuation} \approx 99-45 \quad\Longrightarrow\quad \boxed{L\approx 54\,\mathrm{dB}}$$

(à $\pm1\,\mathrm{dB}$ près selon la lecture). Ce niveau reste au-dessus du « fond calme » ($40\,\mathrm{dB}$) mais passe sous le seuil du « bruit gênant » ($60\,\mathrm{dB}$) : le double vitrage **règle le problème** posé par le sifflement, même si le bruit reste audible. À titre de comparaison, avec le vitrage actuel de $4\,\mathrm{mm}$ (environ $33\,\mathrm{dB}$ d'atténuation à cette fréquence), il resterait plus de $60\,\mathrm{dB}$, un bruit gênant. Une conclusion nuancée, si elle est argumentée, est acceptée : par exemple « nette amélioration, la gêne disparaît pour le sifflement mais l'avion reste audible, et le bruit est dangereux à l'extérieur ».

Partie B : La vitesse d'un avion à l'atterrissage

9) L'effet Doppler est le décalage entre la fréquence d'une onde perçue par un récepteur et la fréquence de l'onde émise par la source, lorsque la source et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre (leur distance varie au cours du temps).

10) Quand la source se rapproche, les fronts d'onde successifs sont émis de plus en plus près de l'observateur : ils lui parviennent plus serrés, et la fréquence perçue est plus grande que la fréquence émise. Quand la source s'éloigne, c'est l'inverse. On a donc $f_{\text{approche}} > f_0 > f_{\text{éloignement}}$. Comme $f_A = 2{,}1\,\mathrm{kHz} > f_B = 1{,}4\,\mathrm{kHz}$:

$\boxed{f_A \text{ a été enregistrée pendant que l'avion se rapprochait de l'observateur.}}$

11)

- **A** : un quotient de vitesses comme $\dfrac{c}{c-v}$ est sans dimension, alors que f_A se mesure en hertz ($\mathrm{s^{-1}}$) : les deux membres n'ont pas la même unité, les relations sont fausses.
- **C** : le dénominateur de f_A étant plus grand que celui de f_B, on aurait $f_A < f_0 < f_B$, donc une fréquence plus basse pendant l'approche, ce qui contredit la question précédente et les mesures ($f_A > f_B$).
- **D** : homogènes et de sens correct, mais le facteur 2 n'a pas de justification ici. L'avion émet lui-même le son qu'on enregistre ; un tel facteur n'apparaît (en première approximation) que lorsque l'onde est réfléchie par l'objet en mouvement, comme pour un radar. Autre défaut : le dénominateur de f_A s'annulerait pour $v = \dfrac{c}{2} = 170\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ (environ $610\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$), vitesse courante pour un avion de ligne en vol, pour laquelle aucune fréquence infinie n'est évidemment observée.

12) La fréquence émise f_0 n'est pas connue : on l'élimine en faisant le quotient des deux relations B.

$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{f_0 \dfrac{c}{c-v}}{f_0 \dfrac{c}{c+v}} = \frac{c+v}{c-v}$$

On en déduit $f_A\,(c-v) = f_B\,(c+v)$, puis $c\,(f_A - f_B) = v\,(f_A + f_B)$:

$$v = c \times \frac{f_A - f_B}{f_A + f_B} = 340\,\text{m·s}^{-1} \times \frac{2{,}1\,\text{kHz} - 1{,}4\,\text{kHz}}{2{,}1\,\text{kHz} + 1{,}4\,\text{kHz}} = 68\,\text{m·s}^{-1}$$

(inutile de convertir les kHz en Hz : l'unité se simplifie dans le quotient). Conversion : $1\,\text{m·s}^{-1} = 3{,}6\,\text{km·h}^{-1}$, donc

$$v = 68 \times 3{,}6\,\text{km·h}^{-1} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v \approx 2{,}4 \times 10^2\,\text{km·h}^{-1}}$$

(environ $245\,\text{km·h}^{-1}$). C'est bien moins que la vitesse d'un avion en vol de croisière (de l'ordre de $900\,\text{km·h}^{-1}$) et du même ordre que les vitesses d'approche des avions : la valeur est vraisemblable.

Vérification de cohérence : $f_0 = f_A \dfrac{c-v}{c} = 2{,}1\,\text{kHz} \times \dfrac{272}{340} = 1{,}68\,\text{kHz}$, et l'on retrouve bien $f_0 \dfrac{c}{c+v} = 1{,}68\,\text{kHz} \times \dfrac{340}{408} = 1{,}4\,\text{kHz} = f_B$.

Exercice 2 : Le diamètre d'un brin de brosse à dents

4,5 points

1) On considère le triangle rectangle dont les sommets sont le fil, le centre de la tache et l'un de ses bords. Le côté opposé à l'angle θ vaut la moitié de la tache, $\dfrac{L}{2}$, et le côté adjacent vaut D :

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

L'angle est petit, donc $\tan\theta \approx \theta$, soit $\theta = \dfrac{L}{2D}$. En égalant avec $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$:

$$\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \quad \Longrightarrow \quad L = \frac{2\lambda D}{a} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{L = \frac{k}{a} \text{ avec } k = 2\lambda D}$$

2) Pour un même laser et une même distance D, k est fixé : la largeur L de la tache centrale est inversement proportionnelle au diamètre a. Le fil le plus fin donne la tache la plus large.

- Expérience B : tache la plus large ($1{,}66\,\text{cm}$) $\Rightarrow$ **fil le plus fin, $a_1 = 125\,\mu\text{m}$** ;
- Expérience A : tache la plus étroite ($0{,}83\,\text{cm}$) $\Rightarrow$ **fil le plus épais, $a_2 = 250\,\mu\text{m}$**.

Contrôle : le diamètre double et la largeur est divisée par 2 ; le produit $L \times a$ vaut $2{,}08 \times 10^{-6}\,\text{m}^2$ dans les deux cas.

3) D'après la question 1), $a_{\text{brin}} = \dfrac{k}{L}$, avec $L = 2{,}20\,\text{cm} = 2{,}20 \times 10^{-2}\,\text{m}$ (même unité de longueur que k) :

$$a_{\text{brin}} = \frac{2{,}08 \times 10^{-6}\,\text{m}^2}{2{,}20 \times 10^{-2}\,\text{m}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{a_{\text{brin}} = 9{,}45 \times 10^{-5}\,\text{m}}$$

soit $94{,}5\,\mu\text{m}$, la valeur annoncée.

4) Les deux quotients doivent être formés avec des grandeurs de même unité : $u(L) = 1{,}0\,\text{mm} = 0{,}10\,\text{cm}$.

$$\frac{u(k)}{k} = \frac{0{,}04}{2{,}08} = 0{,}0192 \qquad \frac{u(L)}{L} = \frac{0{,}10\,\text{cm}}{2{,}20\,\text{cm}} = 0{,}0455$$

$$u(a_{\text{brin}}) = 9{,}45 \times 10^{-5}\,\text{m} \times \sqrt{0{,}0192^2 + 0{,}0455^2} = 4{,}7 \times 10^{-6}\,\text{m}$$

Une incertitude-type s'écrit avec un chiffre significatif, arrondi par excès :

$$\boxed{u(a_{\text{brin}}) \approx 5 \times 10^{-6}\,\text{m} = 5\,\mu\text{m}}$$

Le terme lié à la largeur de la tache pèse plus de deux fois plus que celui lié à k : améliorer la mesure de L serait le moyen le plus efficace de réduire l'incertitude.

5) On calcule le quotient proposé (avec la valeur non arrondie $u = 4{,}7\,\mu\text{m}$) :

$$\frac{|a_{\text{brin}} - a_{\text{réf}}|}{u(a_{\text{brin}})} = \frac{|94{,}5\,\mu\text{m} - 100\,\mu\text{m}|}{4{,}7\,\mu\text{m}} \approx 1{,}2$$

($1{,}1$ avec u arrondie à $5\,\mu\text{m}$). Dans les deux cas le quotient est inférieur ou égal à 2 : **le diamètre mesuré est compatible avec la valeur de référence**, l'écart de $5{,}5\,\mu\text{m}$ s'expliquant par l'incertitude de la mesure.

6) La lumière du laser est rouge : sa longueur d'onde est de l'ordre de $\lambda \approx 650\,\text{nm}$, soit $\lambda \approx 6{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m}$ (ordre de grandeur : $10^{-6}\,\text{m}$, puisque $6{,}5 > \sqrt{10}$). Le brin a un diamètre de l'ordre de $10^{-4}\,\text{m}$.

- L'écart angulaire vaut alors $\theta = \dfrac{\lambda}{a} \approx \dfrac{6{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m}}{9{,}5 \times 10^{-5}\,\text{m}} \approx 7 \times 10^{-3}\,\text{rad}$, soit environ $10^{-2}\,\text{rad}$: petit (l'approximation des petits angles est justifiée), mais pas négligeable.
- La distance fil-écran se déduit de $k = 2\lambda D$: $D = \dfrac{k}{2\lambda} \approx \dfrac{2{,}08 \times 10^{-6}\,\text{m}^2}{2 \times 6{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m}} \approx 1{,}6\,\text{m}$. Sur l'écran, la demi-tache mesure $D\theta \approx 1{,}1\,\text{cm}$: la tache, d'environ $2\,\text{cm}$, se voit et se mesure facilement à la règle (on mesure d'ailleurs $L = 2{,}20\,\text{cm}$).

La diffraction est d'autant plus marquée que la taille de l'obstacle est proche de la longueur d'onde. Ici $\dfrac{a}{\lambda} = \dfrac{9{,}45 \times 10^{-5}\,\text{m}}{6{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m}} \approx 1{,}5 \times 10^2$: a est de l'ordre de $10^2\,\lambda$, on reste dans le domaine où la diffraction de la lumière est visible (au-delà de quelques milliers de λ, l'étalement deviendrait imperceptible). Les deux raisonnements (calcul de θ et de la tache, ou comparaison de a à λ) sont acceptés. La diffraction par le brin est observable.

Exercice 3 : Les nitrites dans l'alimentation

7,5 points

Partie A : L'ion nitrite, une base

1) Selon Brønsted, une base est une espèce chimique capable de **capter un ion hydrogène** H^+.

2) L'ion nitrite capte un ion $\mathrm{H^+}$ cédé par l'eau, qui joue le rôle d'acide (couple $\mathrm{H_2O/HO^-}$). La réaction n'étant pas totale, on l'écrit avec une double flèche :

$$\boxed{\mathrm{NO_2^-(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HNO_2(aq) + HO^-(aq)}}$$

3) Électrons de valence : N ($1s^2\,2s^2\,2p^3$) en a 5, chaque O ($1s^2\,2s^2\,2p^4$) en a 6, et la charge $-$ en apporte un de plus : $5+2\times6+1 = 18$ électrons, soit 9 doublets. Avec l'azote au centre, une liaison double, une liaison simple et des doublets non liants qui assurent l'octet de chaque atome :

$$\overline{\mathrm{O}}=\overline{\mathrm{N}}-\overline{\underline{\mathrm{O}}}\,^{\ominus}$$

La charge négative est portée par l'atome d'oxygène lié par une liaison simple (il possède trois doublets non liants). Autour de l'azote : trois doublets liants (la liaison double en compte deux, la liaison simple un) et un doublet non liant, soit 4 doublets : octet vérifié.

4) Le pH permet de connaître la **concentration en ions oxonium** : $[\mathrm{H_3O^+}] = c^\circ \times 10^{-\mathrm{pH}}$, avec $c^\circ = 1\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

- pH $= 1{,}5$: $[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-1{,}5} = 3{,}2\times10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$;
- pH $= 3{,}0$: $[\mathrm{H_3O^+}] = 10^{-3{,}0} = 1{,}0\times10^{-3}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

Plus le pH est petit, plus la solution est riche en ions oxonium :

$$\boxed{1{,}0\times10^{-3}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}} \leqslant [\mathrm{H_3O^+}] \leqslant 3{,}2\times10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}}$$

5) Au cours de cette réaction, un ion $\mathrm{H^+}$ passe de l'ion oxonium $\mathrm{H_3O^+}$ (qui devient $\mathrm{H_2O}$) à l'ion nitrite $\mathrm{NO_2^-}$ (qui devient $\mathrm{HNO_2}$) : il y a transfert d'un ion hydrogène d'un acide vers une base, c'est la signature d'une réaction acide-base. Couples mis en jeu :

$$\boxed{\mathrm{H_3O^+/H_2O} \quad \text{et} \quad \mathrm{HNO_2/NO_2^-}}$$

6) Les ions chlorure ne gagnent ni ne perdent d'ion $\mathrm{H^+}$: ils ne sont pas modifiés par la transformation (ions spectateurs). Seules les espèces qui réagissent figurent dans l'équation.

Partie B : Le glucose vu par spectroscopie infrarouge

7) Les deux formes possèdent des liaisons O–H (groupes hydroxyle) et C–H : elles présentent toutes deux une bande forte et large entre 3200 et $3\,700\,\mathrm{cm^{-1}}$ et une bande moyenne vers 2800–$3\,000\,\mathrm{cm^{-1}}$. En revanche, seule la forme linéaire porte un groupe carbonyle (fonction aldéhyde en bout de chaîne), donc une liaison C=O ; dans la forme cyclique, cet atome de carbone est relié à l'oxygène du cycle et à un groupe OH, sans double liaison.

Le spectre de la forme linéaire présente une bande forte entre 1650 et $1\,750\,\mathrm{cm^{-1}}$, absente du spectre de la forme cyclique : l'infrarouge permet de distinguer les deux formes.

Partie C : Combien de tranches par jour ?

8) Le spectre montre un maximum d'absorption vers $535\,\mathrm{nm}$, dans le vert ($530\,\mathrm{nm}$) du cercle chromatique. On voit la lumière non absorbée : la teinte perçue est la complémentaire de

la teinte absorbée, située en face sur le cercle : à l'opposé du vert se trouve le magenta. Couleur perçue : magenta, c'est-à-dire rose-pourpre.

9) On règle l'appareil au sommet du pic, $\lambda \approx 535\,\text{nm}$: c'est là que l'espèce absorbe le plus, ce qui rend la mesure la plus sensible aux variations de concentration et la plus précise ; de plus, autour du sommet, un petit décalage de réglage modifie peu l'absorbance. (Lecture acceptée : $535\,\text{nm} \pm 5\,\text{nm}$.)

10) L'absorbance mesurée doit refléter la quantité d'ions nitrite. Il faut donc que **tous** les ions nitrite soient transformés en espèce colorée : avec le réactif de Griess en excès, les ions nitrite sont entièrement consommés, et la quantité d'espèce colorée formée est égale à la quantité initiale d'ions nitrite.

11) Il s'agit d'une dilution. La quantité d'ions nitrite prélevée se retrouve dans la solution fille : $c_0\,V_0 = c_1\,V_1$. Facteur de dilution :

$$F = \frac{c_0}{c_1} = \frac{2{,}0 \times 10^{-3}\,\text{mol·L}^{-1}}{100 \times 10^{-6}\,\text{mol·L}^{-1}} = 20 = \frac{V_1}{V_0}$$

On cherche une fiole dont le volume, divisé par 20, est celui d'une pipette jaugée disponible : seule la fiole de $200{,}0\,\text{mL}$ convient, avec la pipette de $10{,}0\,\text{mL}$ (50,0/20 et 100,0/20 ne correspondent à aucune pipette). Protocole :

- verser un peu de solution S_0 dans un bécher de $50\,\text{mL}$;
- à l'aide d'un pipeteur et de la pipette jaugée de $10{,}0\,\text{mL}$, prélever $V_0 = 10{,}0\,\text{mL}$ de S_0 ;
- les verser dans la fiole jaugée de $200{,}0\,\text{mL}$;
- ajouter de l'eau distillée jusqu'aux trois quarts environ, boucher et agiter ;
- ajuster le niveau au trait de jauge avec de l'eau distillée, puis boucher et retourner plusieurs fois la fiole.

Les éprouvettes et les béchers ne sont pas assez précis pour mesurer les volumes d'une dilution.

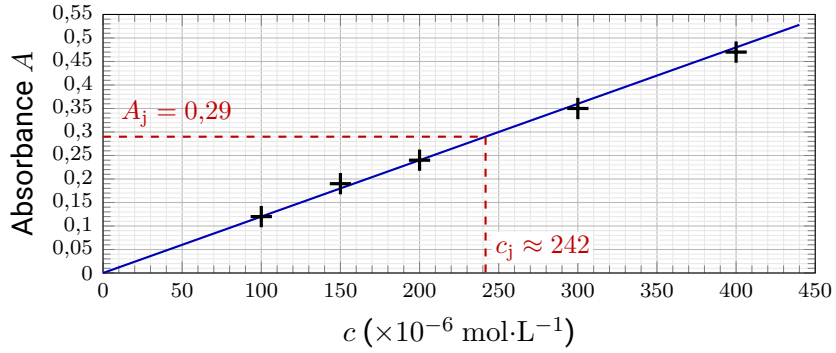
12) La loi de Beer-Lambert prévoit une absorbance proportionnelle à la concentration : $A = k \times c$. Sur le document 3, les cinq points se placent pratiquement sur une même droite qui passe par l'origine du repère, ce qui traduit une proportionnalité. Les quotients $\dfrac{A}{c}$ sont voisins :

$$\frac{0{,}12}{100 \times 10^{-6}\,\text{mol·L}^{-1}} = 1{,}2 \times 10^{3}\,\text{L·mol}^{-1} \qquad \frac{0{,}24}{200 \times 10^{-6}\,\text{mol·L}^{-1}} = 1{,}2 \times 10^{3}\,\text{L·mol}^{-1}$$

$$\frac{0{,}47}{400 \times 10^{-6}\,\text{mol·L}^{-1}} \approx 1{,}2 \times 10^{3}\,\text{L·mol}^{-1}$$

(les deux autres points s'en écartent de quelques pour cent, dispersion normale des mesures). Les mesures vérifient la loi de Beer-Lambert, avec $k \approx 1{,}20 \times 10^{3}\,\text{L·mol}^{-1}$.

13) La solution S_j est mesurée dans les mêmes conditions et son absorbance est comprise entre celles des étalons : on peut utiliser la droite d'étalonnage. Par lecture graphique sur la droite moyenne (tracé ci-dessous) ou par le calcul :



$$c_j = \frac{A_j}{k} = \frac{0{,}29}{1{,}20 \times 10^3\ \text{L·mol}^{-1}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{c_j \approx 2{,}42 \times 10^{-4}\ \text{mol·L}^{-1}}$$

Selon la droite tracée par l'élève, une lecture entre $2{,}35 \times 10^{-4}$ et $2{,}50 \times 10^{-4}\ \text{mol·L}^{-1}$ est acceptée.

14) Étape 1 : nitrites apportés par une tranche. L'extraction a fait passer la totalité des ions nitrite dans les $100{,}0\ \text{mL}$ de S_j :

$$m_{\text{tranche}} = c_j\, V_j\, M(NO_2^-)$$

$$m_{\text{tranche}} = 2{,}42 \times 10^{-4}\ \text{mol·L}^{-1} \times 0{,}1000\ \text{L} \times 46\ \text{g·mol}^{-1} = 1{,}1 \times 10^{-3}\ \text{g}$$

soit environ $1{,}1\ \text{mg}$ par tranche (valeur gardée pour la suite : $1{,}11\ \text{mg}$).

Étape 2 : masse maximale autorisée par jour pour une personne de $60\ \text{kg}$:

$$m_{\max} = \text{DJA} \times m = 0{,}07\ \text{mg·kg}^{-1} \times 60\ \text{kg} = 4{,}2\ \text{mg}$$

Étape 3 : conclusion.

$$\frac{m_{\max}}{m_{\text{tranche}}} = \frac{4{,}2\ \text{mg}}{1{,}11\ \text{mg}} \approx 3{,}8$$

Une 4e tranche ferait dépasser la DJA : on arrondit à l'entier inférieur. **La personne peut manger au plus 3 tranches de ce jambon par jour.**

Avec une lecture de c_j entre $2{,}35 \times 10^{-4}$ et $2{,}50 \times 10^{-4}\ \text{mol·L}^{-1}$, ce quotient varie de $3{,}9$ à $3{,}7$: la conclusion (3 tranches) ne change pas.