Calculatrice autorisée

Exercice 1 : Nuisances sonores autour d'un aéroport

8 points

Partie A : Le bruit au décollage

Depuis quelques mois, un aéroport accueille des décollages et des atterrissages d'avions de chasse. Ses gestionnaires confient à un laboratoire d'acoustique l'évaluation de la gêne subie par les riverains.

Données :

- niveau d'intensité sonore : $L = 10\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$, avec l'intensité sonore de référence $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$;
- propriétés du logarithme décimal : $\log(a\times b) = \log a + \log b$; $\log(10^x) = x$; $10^{\log x} = x$; $\log\left(\dfrac{1}{x}\right) = -\log x$; $\log(x^n) = n\log x$.

Les appareils de mesure sont installés près de la maison la plus proche de l'aéroport. Lors du décollage d'un avion de chasse de type A1, l'intensité sonore relevée à cet endroit vaut $I_{\mathrm{A1}} = 5{,}0 \times 10^{-6}\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$.

1) Calculer le niveau d'intensité sonore L_{A1} associé à cette mesure.

La figure 1 donne, pour trois types d'avions A1, A2 et A3, le niveau d'intensité sonore mesuré au décollage en fonction de la distance à l'avion.

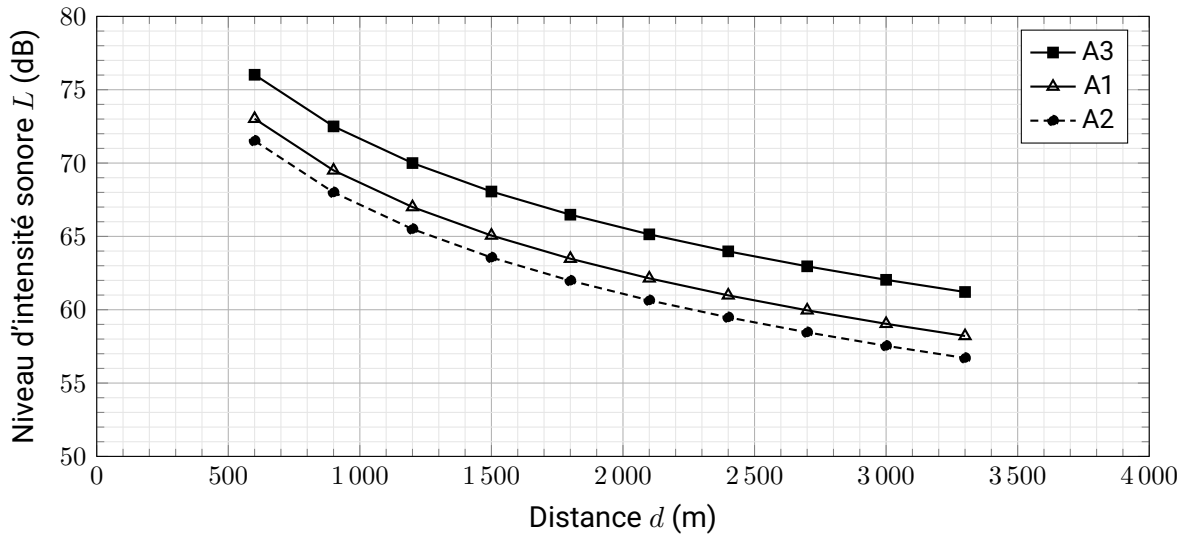


Figure 1 – Niveau d'intensité sonore au décollage selon l'éloignement, pour trois types d'avions *(tracé à faire sur le sujet)*.

2) En utilisant la figure 1, déterminer la distance d qui sépare l'aéroport de la maison la plus proche. Laisser apparents les traits de lecture.

3) Quel type d'atténuation la figure 1 met-elle en évidence ? En donner l'origine physique.

4) Estimer, à l'aide de la figure 1, de combien diminue le niveau d'intensité sonore quand la distance à l'avion double.

Lorsque plusieurs sources sonores émettent en même temps, les intensités sonores qu'elles produisent en un point s'additionnent.

5) Trois avions de type A3 décollent en même temps. Calculer le niveau d'intensité sonore L_{total} perçu par le riverain de la maison la plus proche, située à la distance d trouvée à la question 2).

Donnée : une source qui émet de la même façon dans toutes les directions, avec une puissance sonore P (en W), produit à la distance d (en m) une intensité sonore $I = \dfrac{P}{S}$, où $S = 4\pi d^2$ est l'aire d'une sphère centrée sur la source, de rayon d.
Un quatrième avion, de type A4, bien plus bruyant que les trois autres, émet un son de puissance $P = 150\,\text{kW}$.

6) Calculer le niveau d'intensité sonore L_{A4} perçu au décollage de cet avion par le même riverain.

Donnée : échelle des niveaux d'intensité sonore.

Niveau (dB)	0	40	60	80	90	120
Sensation	seuil d'audibilité	fond calme	bruit gênant	bruit très gênant	seuil de danger	seuil de douleur

7) Le bruit de l'avion A4 représente-t-il un réel danger pour ce riverain ? Justifier à l'aide de l'échelle.

Le bruit de l'avion A4 contient un sifflement aigu, de fréquence voisine de $2\,500\,\text{Hz}$, produit par ses réacteurs. Les maisons proches ont aujourd'hui des fenêtres à vitrage simple de $4\,\text{mm}$; une étude propose de les remplacer. La figure 2 donne l'atténuation apportée par trois vitrages en fonction de la fréquence du son.

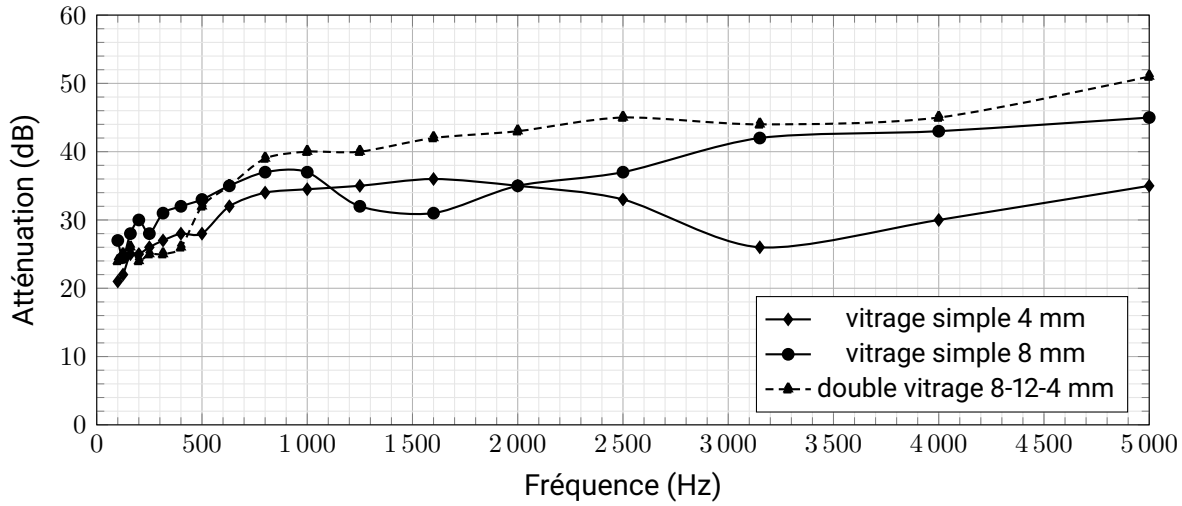


Figure 2 – Atténuation apportée par trois vitrages selon la fréquence du son.

8) Le remplacement des fenêtres actuelles par un double vitrage 8-12-4 mm suffirait-il à faire cesser la gêne causée par le sifflement de l'avion A4 ? Argumenter.

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

Un observateur immobile, situé près de l'aéroport, enregistre le bruit du moteur d'un avion qui passe au-dessus de lui pendant son atterrissage. Il veut en déduire la vitesse de l'avion grâce à l'effet Doppler.

9) Définir l'effet Doppler.

L'analyse de l'enregistrement fait apparaître deux fréquences : $f_A = 2{,}1\,\text{kHz}$ sur une partie du signal et $f_B = 1{,}4\,\text{kHz}$ sur l'autre.

10) La fréquence f_A a-t-elle été enregistrée pendant que l'avion se rapprochait de l'observateur ou pendant qu'il s'en éloignait ? Justifier.

On note f_0 la fréquence du son émis par le moteur (fréquence que l'on percevrait si l'avion était immobile), $c = 340\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ la vitesse du son dans l'air et v la vitesse de l'avion par rapport au sol. Quatre jeux de relations sont proposés :

A	B	C	D
$f_A = \dfrac{c}{c-v}$ $f_B = \dfrac{c}{c+v}$	$f_A = f_0\dfrac{c}{c-v}$ $f_B = f_0\dfrac{c}{c+v}$	$f_A = f_0\dfrac{c}{c+v}$ $f_B = f_0\dfrac{c}{c-v}$	$f_A = f_0\dfrac{c}{c-2v}$ $f_B = f_0\dfrac{c}{c+2v}$

11) Seules les relations B conviennent à la situation étudiée. Donner, pour chacune des propositions A, C et D, une raison de l'écarter.

12) Déterminer la vitesse v de l'avion pendant l'atterrissage, en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, et vérifier que la valeur obtenue est vraisemblable.
Cette question demande de l'initiative : toute démarche, même inaboutie, sera valorisée si elle est clairement présentée.

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

4,5 points

Selon le diamètre de leurs brins, de plus en plus grand, on classe les brosses à dents manuelles en ultra-souples, souples, médium et dures. Les chirurgiens-dentistes déconseillent les deux dernières, qui usent l'émail et irritent les gencives. On se propose ici de mesurer le diamètre d'un brin de brosse à dents grâce à la diffraction de la lumière.

Le montage est schématisé sur la figure 1 : des fils étalons, dont on connaît le diamètre a, sont placés l'un après l'autre sur le trajet du faisceau d'un laser de longueur d'onde λ. Sur un écran situé à la distance D du fil, apparaît une figure de diffraction ; on note L la largeur de sa tache centrale. L'angle caractéristique de diffraction θ, très petit devant un radian, vérifie $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

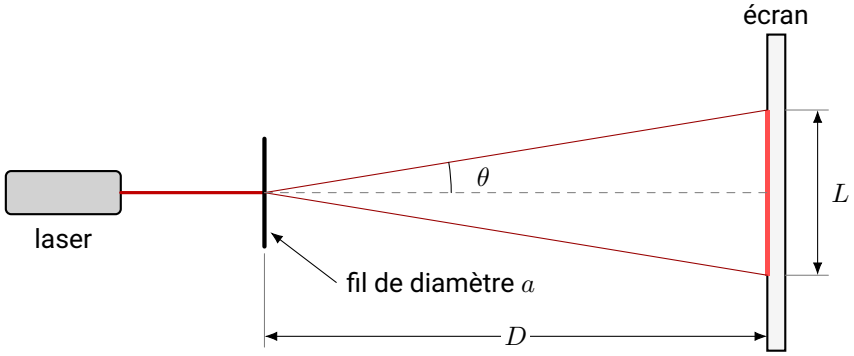


Figure 1 – Diffraction du faisceau d'un laser par un fil (vue de dessus, angles exagérés).

1) En utilisant la figure 1 et l'approximation des petits angles ($\tan\theta \approx \theta$), établir que la largeur de la tache centrale s'écrit $L = \dfrac{k}{a}$ avec $k = 2\lambda D$.

Un logiciel de traitement d'images donne la répartition de l'intensité lumineuse sur l'écran. La figure 2 présente, pour deux des fils calibrés, l'aspect de la figure de diffraction et le profil d'intensité correspondant (le capteur sature au centre de la tache).

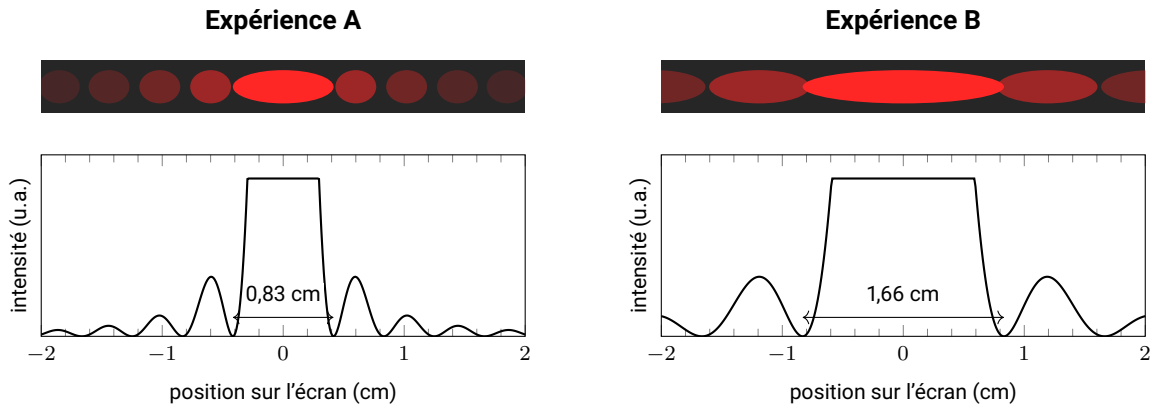


Figure 2 – Aspect de la figure de diffraction (en haut, la lumière est rouge) et profil d'intensité lumineuse (en bas) pour deux fils calibrés.

2) Les deux fils utilisés ont pour diamètres $a_1 = 125\,\mu\text{m}$ et $a_2 = 250\,\mu\text{m}$. Associer, en justifiant, chaque diamètre à l'une des expériences A et B.

On remplace le fil par un brin d'une brosse à dents ultra-souple, sans modifier le reste du montage.

Données :

- largeur mesurée de la tache centrale : $L = 2{,}20\,\text{cm}$, d'incertitude-type $u(L) = 1{,}0\,\text{mm}$;
- constante du montage, déterminée avec les fils calibrés : $k = 2{,}08 \times 10^{-6}\,\text{m}^2$, d'incertitude-type $u(k) = 0{,}04 \times 10^{-6}\,\text{m}^2$.

3) Montrer que le diamètre du brin mesuré par cette expérience vaut $a_{\text{brin}} = 9{,}45 \times 10^{-5}\,\text{m}$.

4) Calculer l'incertitude-type $u(a_{\text{brin}})$ sur ce diamètre, donnée par :

$$u(a_{\text{brin}}) = a_{\text{brin}} \times \sqrt{\left(\frac{u(k)}{k}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

Les brosses ultra-souples (gencives fragiles) ont des brins de diamètre de référence $a_{\text{réf}} = 100\,\mu\text{m}$.

Donnée : une mesure x d'incertitude-type $u(x)$ est jugée compatible avec une valeur de référence $x_{\text{réf}}$ lorsque $\dfrac{|x - x_{\text{réf}}|}{u(x)} \leqslant 2$.

5) Le diamètre mesuré est-il compatible avec la valeur de référence ? Justifier.

6) À partir de la couleur de la lumière (figure 2) et d'ordres de grandeur, justifier que la diffraction par le brin est observable. *(Initiative attendue.)*

Exercice 3 : Les nitrites dans l'alimentation

7,5 points

Certaines charcuteries (jambon cru, saucisson…) reçoivent des nitrites qui améliorent leur conservation. Ces additifs sont reconnus par les autorités sanitaires comme un facteur de risque du cancer colorectal. Il est recommandé d'en limiter l'usage, sans pour autant les interdire.

Partie A : L'ion nitrite, une base

L'ion nitrite $\mathrm{NO_2^-}$ est une base au sens de Brønsted.

1) Rappeler la définition d'une base selon Brønsted.

2) L'ion nitrite réagit avec l'eau ; cette réaction n'est pas totale. Écrire son équation.

3) Établir le schéma de Lewis de l'ion nitrite (l'atome d'azote est l'atome central).
Données : numéros atomiques $Z(\mathrm{N}) = 7$ *et* $Z(\mathrm{O}) = 8$.

L'estomac produit de l'acide chlorhydrique $(\mathrm{H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)})$; dans ce milieu acide, les nitrites apportés par la charcuterie conduisent à la formation d'espèces cancérogènes. Le pH du contenu de l'estomac est compris entre 1,5 et 3,0.

4) Quelle grandeur la mesure du pH permet-elle de connaître ? Encadrer la valeur de cette grandeur dans l'estomac.

Dans l'estomac, l'ion nitrite réagit avec l'acide chlorhydrique selon l'équation :

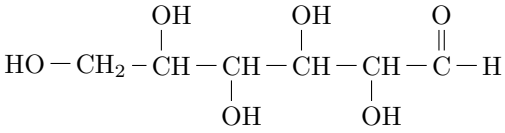
$$\mathrm{NO_2^-(aq) + H_3O^+(aq) \longrightarrow HNO_2(aq) + H_2O\,(l)}$$

5) Justifier qu'il s'agit d'une réaction acide-base et préciser les deux couples qui interviennent.

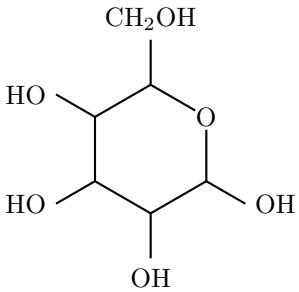
6) Expliquer pourquoi les ions chlorure ne figurent pas dans cette équation.

Partie B : Le glucose vu par spectroscopie infrarouge

Le suc gastrique est constitué d'eau à 99 %. L'acide chlorhydrique qu'il contient abaisse son pH jusqu'à environ 1,5 ; il participe à la digestion des protéines et à la coupure de certains glucides, par exemple celle du saccharose en glucose et fructose. La molécule de glucose existe sous deux formes :



glucose, forme linéaire (chaîne ouverte)



glucose, forme cyclique

Document 1 – Bandes d'absorption caractéristiques en infrarouge

Liaison	Nombre d'onde ($\mathrm{cm^{-1}}$)	Intensité
O–H (alcool)	3200 à 3700	forte, large
C–H	2800 à 3000	moyenne
C=O	1650 à 1750	forte

7) La spectroscopie infrarouge permet-elle de distinguer les deux formes du glucose ? Argumenter.

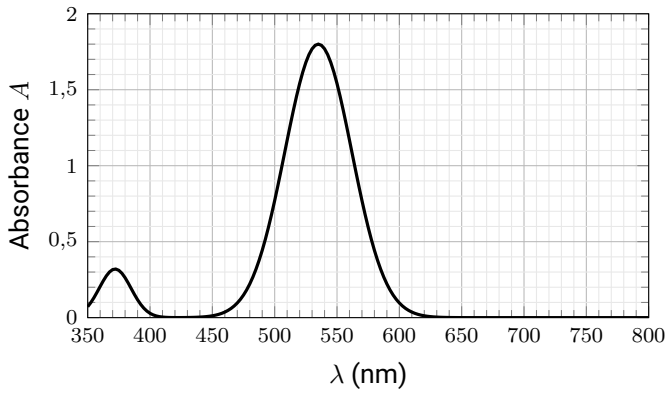
Partie C : Combien de tranches par jour ?

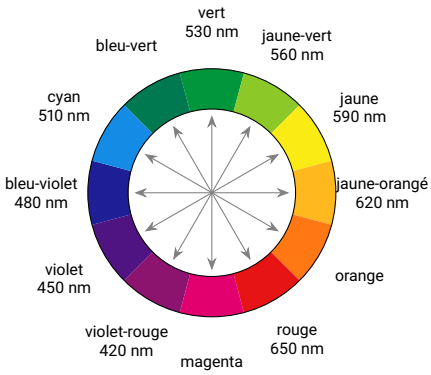
La dose journalière admissible (DJA) d'une espèce chimique est la masse maximale de cette espèce qu'une personne peut ingérer quotidiennement durant toute son existence sans effet nocif ; elle s'exprime en milligrammes par kilogramme de masse corporelle. Pour les ions nitrite, l'autorité européenne de sécurité des aliments a fixé la DJA à $0{,}07\,\mathrm{mg}$ par kilogramme de masse corporelle.

On veut doser les ions nitrite contenus dans une tranche de jambon cru, puis estimer le nombre de tranches qu'une personne de $60\,\mathrm{kg}$ peut consommer chaque jour sans dépasser la DJA.

Principe du dosage. Les ions nitrite de la tranche sont d'abord extraits et mis en solution (étape non détaillée). Ces ions étant incolores, on ajoute à la solution le réactif de Griess, qui réagit totalement avec eux en formant une espèce colorée, puis on mesure l'absorbance. Le document 2 donne le spectre d'absorption de l'espèce colorée et un cercle chromatique.

Document 2 – Spectre de l'espèce colorée formée et cercle chromatique





8) Quelle est la couleur de la solution après ajout du réactif de Griess ? Justifier.

9) À quelle longueur d'onde faut-il régler le spectrophotomètre pour les mesures d'absorbance ? Justifier.

10) Pourquoi le réactif de Griess doit-il être ajouté en excès ?

Pour établir la droite d'étalonnage, on prépare cinq solutions étalons à partir d'une solution mère $\mathrm{S_0}$ d'ions nitrite de concentration $c_0 = 2{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$:

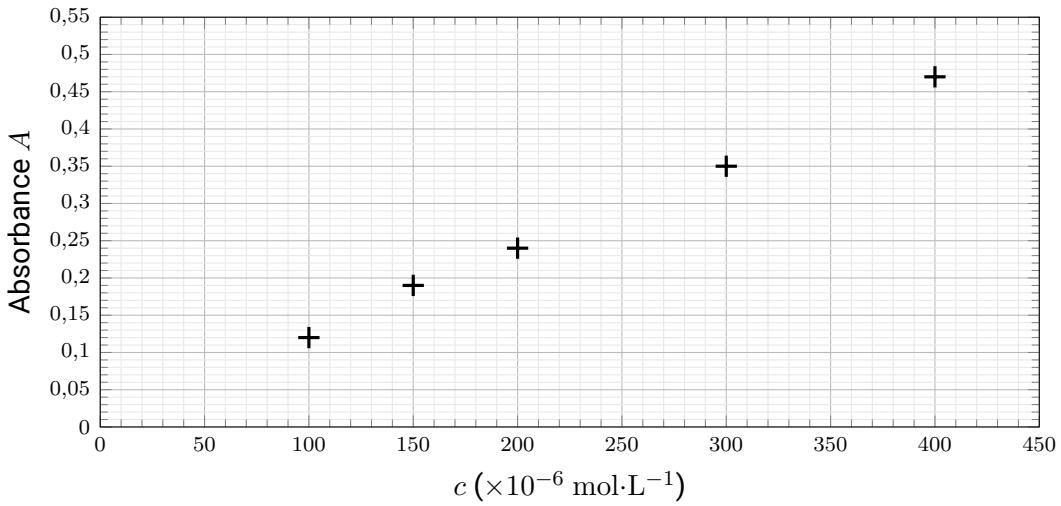
Solution	$\mathrm{S_1}$	$\mathrm{S_2}$	$\mathrm{S_3}$	$\mathrm{S_4}$	$\mathrm{S_5}$
$c\,(\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}})$	100×10^{-6}	150×10^{-6}	200×10^{-6}	300×10^{-6}	400×10^{-6}

Verrerie disponible : béchers de 50, 100 et $250\,\mathrm{mL}$; éprouvettes graduées de 25, 50 et $100\,\mathrm{mL}$; fioles jaugées de $50{,}0$, $100{,}0$ et $200{,}0\,\mathrm{mL}$; pipettes jaugées de $2{,}0$, $10{,}0$ et $25{,}0\,\mathrm{mL}$.

11) Décrire le protocole de préparation de la solution étalon $\mathrm{S_1}$, en choisissant la verrerie dans la liste ci-dessus.

Chaque étalon est additionné de réactif de Griess et agité une dizaine de minutes ; son absorbance est ensuite lue à la longueur d'onde choisie à la question 9). Les résultats figurent sur le document 3.

Document 3 – Courbe d'étalonnage : absorbance mesurée pour chaque étalon *(tracé à faire sur le sujet)*



12) Montrer que ces mesures vérifient la loi de Beer-Lambert.

Après extraction, les ions nitrite contenus dans la tranche se retrouvent dans une solution $\mathrm{S_j}$ de volume $V_\mathrm{j} = 100{,}0\,\mathrm{mL}$. Traitée par le réactif de Griess puis mesurée comme les étalons, elle présente une absorbance $A_\mathrm{j} = 0{,}29$.

13) En déduire la concentration c_j des ions nitrite dans $\mathrm{S_j}$.

Hypothèses et données :

- toutes les tranches ont à peu près la même masse et la même teneur en ions nitrite que la tranche analysée ;
- masse molaire de l'ion nitrite : $M(\mathrm{NO_2^-}) = 46\,\mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$;
- DJA des ions nitrite : $0{,}07\,\mathrm{mg{\cdot}kg^{-1}}$; masse de la personne : $m = 60\,\mathrm{kg}$.

14) Combien de tranches de ce jambon la personne peut-elle manger par jour sans dépasser la DJA ?
Cette question demande de l'initiative : toute démarche, même inaboutie, sera valorisée si elle est clairement présentée.