Corrigé

Baccalauréat général — Spécialité Physique-Chimie

Asie – Jour 1 – Session de remplacement 2025

Durée 3 h 30 (25-PYCPE4)

Exercice 1 — Compétition de hobby horse

(11 pts)

Partie 1 — Effet Doppler et vitesse du véhicule

RAPPEL

Source en approche d'un observateur immobile : $f_R = f_E \times v_{\text{son}}/(v_{\text{son}} - v)$, avec $v_{\text{son}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q1. L'effet Doppler.

RÉPONSE

L'effet Doppler est le décalage entre la fréquence de l'onde émise par une source et la fréquence de l'onde perçue par un récepteur, lorsque la source et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. La fréquence perçue est plus élevée quand ils se rapprochent, plus faible quand ils s'éloignent.

Q2. Son perçu plus aigu.

Le véhicule s'approche, donc $v > 0$ et $v_{\text{son}} - v < v_{\text{son}}$: le rapport $\dfrac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v}$ est supérieur à 1, d'où $f_R > f_E$. Si le véhicule était à l'arrêt ($v = 0$), on aurait $f_R = f_E$.

RÉPONSE

$f_R > f_E$: la fréquence perçue est plus grande qu'à l'arrêt, le son entendu est donc plus aigu.

Q3. Vitesse du véhicule.

MÉTHODE

Isoler v dans la relation donnée, puis convertir en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 3{,}6\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$).

$$f_R\,(v_{\text{son}} - v) = v_{\text{son}}\,f_E \iff v = v_{\text{son}}\left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right) = 340 \times \left(1 - \frac{440}{448}\right) \approx 6{,}07\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Soit $v \approx 6{,}07 \times 3{,}6 \approx 21{,}9\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

RÉPONSE

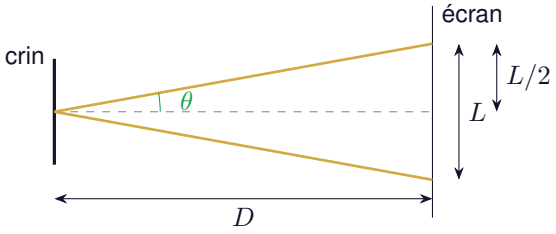
$v \approx 6{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 22\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} < 30\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: la voiture respecte la limitation de vitesse.

Partie 2 — Diamètre d'un crin synthétique

RAPPEL

$\theta = \lambda/a$, $\tan\theta \approx \theta$; $D = 2{,}00$ m ($u(D) = 0{,}01$ m), $\lambda = 650$ nm ($u(\lambda) = 10$ nm), $L = 1{,}80$ cm ($u(L) = 0{,}05$ cm). Diamètre de référence d'un crin de cheval : 140 µm.

Q4. Expression du diamètre a.



Dans le triangle rectangle formé par le crin, le centre de la tache et l'extrémité de la tache centrale : $\tan\theta = \dfrac{L/2}{D} = \dfrac{L}{2D}$. Avec $\tan\theta \approx \theta$ et $\theta = \lambda/a$:

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \iff a = \frac{2\,\lambda\,D}{L}.$$

RÉPONSE

$a = \dfrac{2\,\lambda\,D}{L}$.

Q5. Valeur du diamètre.

$$a = \frac{2 \times 650 \times 10^{-9} \times 2{,}00}{1{,}80 \times 10^{-2}} \approx 1{,}44 \times 10^{-4}\ \text{m}.$$

RÉPONSE

$a \approx 144$ µm (attention aux unités : λ en mètres et L en mètres).

Q6. Incertitude-type et comparaison au crin de cheval.

$$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{10}{650}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{1{,}80}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{2{,}00}\right)^2} \approx 3{,}2 \times 10^{-2} \qquad u(a) \approx 144 \times 3{,}2 \times 10^{-2} \approx 5\ \mu\text{m}.$$

$$\frac{|a - a_{\text{réf}}|}{u(a)} = \frac{|144 - 140|}{4{,}6} \approx 1{,}0.$$

RÉPONSE

$u(a) \approx 5$ µm, l'incertitude relative provenant surtout de la mesure de L. Le quotient vaut environ $1{,}0 < 2$: le diamètre du crin synthétique est compatible avec celui d'un crin de cheval, il convient pour le simuler.

Partie 3 — Étude du saut d'obstacle

RAPPEL

Système {hobbyhorseur}, assimilé à son centre de masse M, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, action de l'air négligée ; $g = 9{,}81\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$. À $t = 0$: $x_0 = 0$, $y_0 = h = 1{,}19\ \mathrm{m}$, vitesse $\vec{v_0}$ inclinée de α. Barre de hauteur $H = 1{,}00\ \mathrm{m}$ à $D = 50{,}0\ \mathrm{cm}$; jambes repliées sur $30\ \mathrm{cm}$ sous M.

Q7. Coordonnées du vecteur accélération.

MÉTHODE

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$. L'action de l'air étant négligée, le système n'est soumis qu'à son poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$, avec $\vec{g} = -g\,\vec{j}$.

$m\,\vec{a} = m\,\vec{g} \iff \vec{a} = \vec{g}$.

RÉPONSE

$$\vec{a}\begin{pmatrix} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -g \end{pmatrix}$$

Q8. Équations horaires.

MÉTHODE

Primitives successives : $\vec{a} = \mathrm{d}\vec{v}/\mathrm{d}t$ avec $\vec{v}(0)$ de coordonnées $v_0\cos\alpha$ et $v_0\sin\alpha$, puis $\vec{v} = \mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}/\mathrm{d}t$ avec $x(0) = 0$ et $y(0) = h$.

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

RÉPONSE

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}}(t)\begin{pmatrix} x(t) = v_0\cos\alpha\ t \\ y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0\sin\alpha\ t + h \end{pmatrix}$$

Q9. Équation de la trajectoire.

$x = v_0\cos\alpha\ t \iff t = \dfrac{x}{v_0\cos\alpha}$, que l'on reporte dans $y(t)$:

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

RÉPONSE

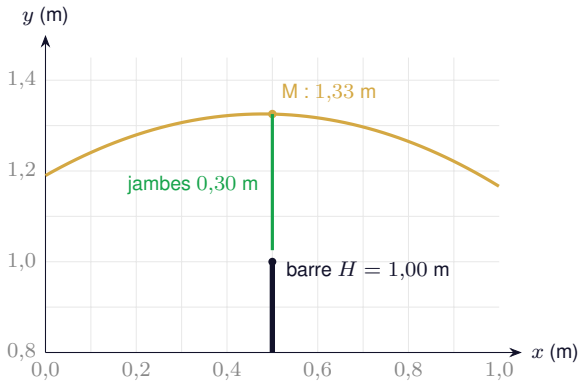
$$y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2(\alpha)}\,x^2 + \tan(\alpha)\,x + h.$$

Q10. Franchissement de la barre.

MÉTHODE

Calculer l'altitude de M à l'aplomb de la barre ($x = D$), puis retrancher les $30\ \mathrm{cm}$ occupés par les jambes : c'est le point le plus bas du hobbyhorseur qui doit passer au-dessus de la barre.

$$y(0{,}500) = -0{,}590 \times 0{,}500^2 + 0{,}566 \times 0{,}500 + 1{,}19 \approx 1{,}33 \text{ m} \qquad y_{\text{jambes}} = 1{,}33 - 0{,}30 \approx 1{,}03 \text{ m}.$$



Axe des ordonnées tronqué : il débute à $0{,}8$ m (le sol est en $y = 0$).

RÉPONSE

À l'aplomb de la barre, le centre de masse est à $1{,}33$ m et le bas des jambes à $1{,}03 \text{ m} > H = 1{,}00$ m : le hobbyhorseur **franchit** la barre, avec une marge d'environ 3 cm seulement.

Q11. Angle et vitesse initiale (résolution de problème).

MÉTHODE

Identifier, terme à terme, l'équation modélisée $y(x) = -0{,}590\,x^2 + 0{,}566\,x + 1{,}19$ avec l'équation littérale de Q9 : le coefficient de x donne $\tan\alpha$, celui de x^2 donne ensuite v_0.

Angle. $\tan\alpha = 0{,}566 \iff \alpha = \arctan(0{,}566) \approx 29{,}5\ °$.

Vitesse.

$$\frac{g}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} = 0{,}590 \iff v_0 = \sqrt{\frac{g}{2 \times 0{,}590 \times \cos^2\alpha}} = \sqrt{\frac{9{,}81}{2 \times 0{,}590 \times \cos^2(29{,}5\ °)}} \approx 3{,}31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

soit environ $11{,}9$ km $\cdot$ h^{-1}.

Pour sauter plus haut. L'altitude maximale du centre de masse vaut $y_{\max} = h + \dfrac{v_0^2\sin^2\alpha}{2\,g}$ (sommet de la parabole, où $v_y = 0$) ; ici $y_{\max} \approx 1{,}33$ m. Elle augmente avec v_0 et avec α.

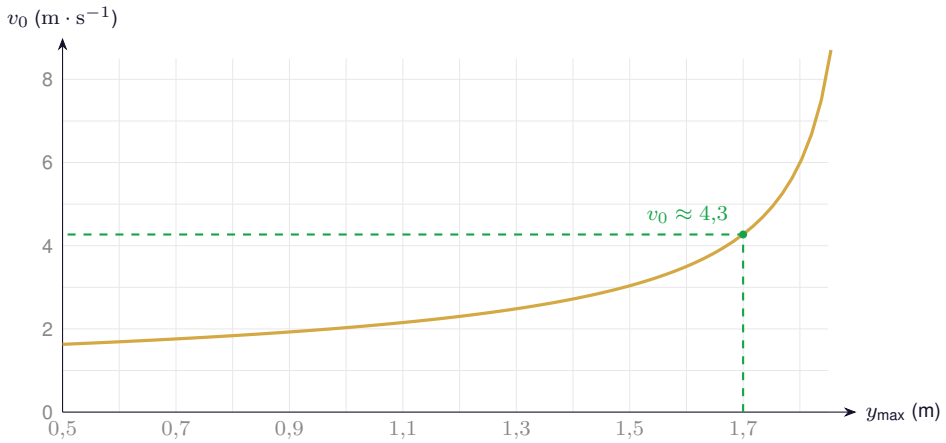
RÉPONSE

$\alpha \approx 29{,}5\ °$ et $v_0 \approx 3{,}3$ m $\cdot$ s^{-1} (≈ 12 km $\cdot$ h^{-1}). Pour franchir une barre plus haute, le hobbyhorseur doit augmenter sa vitesse d'impulsion v_0 et/ou sauter sous un angle α plus grand (en restant à la bonne distance de l'obstacle pour que le sommet de la trajectoire se situe au voisinage de la barre).

Q12. Vitesse nécessaire pour égaler le record.

MÉTHODE

Comme en Q10, les jambes occupent $30\ \text{cm}$ sous M : pour passer une barre de $1{,}40\ \text{m}$, le centre de masse doit atteindre au moins $1{,}40 + 0{,}30 = 1{,}70\ \text{m}$. On lit v_0 correspondant sur la figure 3, puis on convertit en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.



Courbe de la figure 3 retracée à partir de l'équation de la trajectoire ($\alpha' = 55\ °$, $D = 50{,}0\ \text{cm}$, $h = 1{,}19\ \text{m}$).

Pour $y_{\text{max}} = 1{,}70\ \text{m}$, on lit $v_0 \approx 4{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $4{,}3 \times 3{,}6 \approx 15\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

RÉPONSE

Il faudrait aborder l'obstacle à $v_0 \approx 4{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ $15\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, au-delà des $11{,}5$ à $13{,}5\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ habituels de ce hobbyhorseur : égaler le record n'est **pas réalisable** sans progresser en vitesse d'impulsion.

Remarque : si l'on ne tient pas compte des jambes (centre de masse à $1{,}40\ \text{m}$), la lecture donne $v_0 \approx 2{,}7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\approx 10\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), mais le bas du corps heurterait alors la barre.

Exercice 2 — Césium-137 à Fukushima

(5 pts)

RAPPEL

$h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$, $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$; demi-vie du césium-137 : $t_{1/2} = 30{,}1$ ans. Sol non cultivable si $A_{\text{surf}} > 10{,}0\ \text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$; à Litate, un an après l'accident (mars 2011), $A_{\text{surf}} = 1{,}00 \times 10^{3}\ \text{kBq} \cdot \text{m}^{-2}$.

Q1. Noyau radioactif.

RÉPONSE

Un noyau radioactif est un noyau instable qui se désintègre spontanément en un autre noyau, en émettant une particule (et souvent un rayonnement γ).

Q2. Équation de fission.

MÉTHODE

Lois de conservation de Soddy : conservation du nombre de charge Z et du nombre de masse A.

Charge : $92 + 0 = 55 + Z \iff Z = 37$. Masse : $235 + 1 = 137 + 93 + x \iff x = 6$.

RÉPONSE

$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{137}_{55}\mathrm{Cs} + {}^{93}_{37}\mathrm{Rb} + 6\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

Q3. Désintégration du césium-137.

Conservation de Z : $55 = 56 + Z' \iff Z' = -1$; conservation de A : $137 = 137 + A' \iff A' = 0$. La particule émise est un électron.

RÉPONSE

$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \longrightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba}^{*} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$: désintégration de type β^{-}.

Q4. Longueur d'onde du photon émis.

MÉTHODE

$\Delta E = h\,c/\lambda_p \iff \lambda_p = h\,c/\Delta E$, avec ΔE converti en joules ($1\ \mathrm{keV} = 10^{3}\ \mathrm{eV}$).

$\Delta E = 662 \times 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19} \approx 1{,}06 \times 10^{-13}$ J.

$$\lambda_p = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}06 \times 10^{-13}} \approx 1{,}88 \times 10^{-12}\ \mathrm{m}.$$

RÉPONSE

$\lambda_p \approx 1{,}88 \times 10^{-12}\ \mathrm{m} < 10^{-11}\ \mathrm{m}$: le photon appartient au domaine des **rayons gamma**.

Q5. Équation différentielle.

$A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$ et $A(t) = \lambda\,N(t)$, donc $-\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = \lambda\,N(t)$.

RÉPONSE

$$\frac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t} + \lambda\,N(t) = 0.$$

Q6. Demi-vie et constante radioactive.

La demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

$$N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \iff \mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2} \iff \lambda\,t_{1/2} = \ln 2 \iff \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30{,}1} \approx 2{,}30 \times 10^{-2}\ \text{an}^{-1}.$$

RÉPONSE

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \approx 2{,}30 \times 10^{-2}\ \text{an}^{-1}.$$

Q7. Activité surfacique initiale à Litate.

$$A_{\text{surf}}(1\text{ an}) = A^i_{\text{surf}}\,\mathrm{e}^{-\lambda\times 1} \iff A^i_{\text{surf}} = A_{\text{surf}}(1\text{ an})\,\mathrm{e}^{\lambda\times 1} = 1{,}00\times10^3\times\mathrm{e}^{2{,}30\times10^{-2}} \approx 1{,}02\times10^3\ \text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}.$$

RÉPONSE

$A^i_{\text{surf}} \approx 1{,}02\times10^3\ \text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$.

Q8. Année où les sols redeviennent cultivables.

MÉTHODE

Résoudre $A_{\text{surf}}(t) = 10{,}0\ \text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ en isolant l'exponentielle, puis en prenant le logarithme népérien.

$$A^i_{\text{surf}}\,\mathrm{e}^{-\lambda t} = 10{,}0 \iff \mathrm{e}^{-\lambda t} = \frac{10{,}0}{A^i_{\text{surf}}} \iff t = \frac{1}{\lambda}\ln\frac{A^i_{\text{surf}}}{10{,}0} = \frac{1}{2{,}30\times10^{-2}}\ln\frac{1{,}02\times10^3}{10{,}0} \approx 201\text{ ans}.$$

RÉPONSE

Il faut environ 201 ans après l'accident de 2011 : sans décontamination, les sols de Litate ne redeviendront cultivables qu'à partir de l'année **2212** environ (soit près de 7 demi-vies).

Exercice 3 — Phosphore dans une eau de piscine

(4 pts)

RAPPEL

Couples : $\mathrm{H_3PO_4/H_2PO_4^-}$ ($\mathrm{p}K_{\mathrm{a}1} = 2{,}1$), $\mathrm{H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}}$ ($\mathrm{p}K_{\mathrm{a}2}$), $\mathrm{HPO_4^{2-}/PO_4^{3-}}$ ($\mathrm{p}K_{\mathrm{a}3}$). $M(\mathrm{KH_2PO_4}) = 136\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $C(\mathrm{S_0}) = 3{,}67\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Q1. Lecture des $\mathrm{p}K_{\mathrm{a}}$.

MÉTHODE

Pour un couple, $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_{\mathrm{a}}$ lorsque l'acide et sa base conjuguée sont en proportions égales : on lit l'abscisse du point d'intersection de leurs deux courbes (ordonnée $0{,}5$).

Les courbes de $\mathrm{H_2PO_4^-}$ et $\mathrm{HPO_4^{2-}}$ se croisent à $\mathrm{pH} \approx 7{,}2$; celles de $\mathrm{HPO_4^{2-}}$ et $\mathrm{PO_4^{3-}}$ à $\mathrm{pH} \approx 12{,}4$.

RÉPONSE

$\mathrm{p}K_{\mathrm{a}2} \approx 7{,}2$ et $\mathrm{p}K_{\mathrm{a}3} \approx 12{,}4$.

Q2. Diagramme de prédominance.



RÉPONSE

À $\mathrm{pH} = 7{,}0 < \mathrm{p}K_{\mathrm{a}2} = 7{,}2$, l'espèce phosphorée majoritaire est l'ion dihydrogénophosphate $\mathrm{H_2PO_4^-}$ (le pH étant proche du $\mathrm{p}K_{\mathrm{a}2}$, l'ion $\mathrm{HPO_4^{2-}}$ est également présent en quantité notable, environ 40 %).

Q3. Longueur d'onde de travail et couleur du composé.

MÉTHODE

Pour un dosage spectrophotométrique, on se place au maximum d'absorbance : la sensibilité est la meilleure et l'incertitude sur la lecture de λ a le moins d'effet. La couleur perçue est la couleur complémentaire de celle qui est la plus absorbée (diamétralement opposée sur le cercle chromatique).

Le spectre présente un maximum d'absorbance ($A \approx 0{,}39$) vers $700\ \text{nm}$, dans le rouge. Sur le cercle chromatique, la couleur opposée au rouge ($700\ \text{nm}$) est le cyan ($500\ \text{nm}$).

RÉPONSE

On règle le spectrophotomètre à $\lambda \approx 700\ \text{nm}$. Le composé absorbe principalement le rouge : il apparaît de la couleur complémentaire, **cyan** (bleu-vert).

Q4. Masse de KH_2PO_4 à peser.

$$m = n \times M = C(\text{S}_0)\, V\, M = 3{,}67 \times 10^{-3} \times 0{,}200 \times 136 \approx 9{,}98 \times 10^{-2}\ \text{g}.$$

RÉPONSE

$m \approx 99{,}8\ \text{mg}$, voisine de $100\ \text{mg}$.

Q5. Protocole de dilution au centième.

MÉTHODE

Facteur de dilution $F = V_{\text{fille}}/V_{\text{mère}} = 100$: choisir un couple pipette jaugée / fiole jaugée dont les volumes sont dans ce rapport.

RÉPONSE

Verser un peu de solution S_0 dans un bécher propre et sec. Prélever $1{,}00\ \text{mL}$ de S_0 à l'aide d'une **pipette jaugée de** $1{,}00\ \text{mL}$ munie d'une propipette, l'introduire dans une **fiole jaugée de** $100{,}0\ \text{mL}$, ajouter de l'eau distillée jusqu'aux trois quarts, boucher et agiter, puis compléter jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser. (Un prélèvement de $2{,}00\ \text{mL}$ dans une fiole de $200{,}0\ \text{mL}$ convient aussi.)

Q6. Modélisation $A = k\,C$.

Les points expérimentaux sont alignés sur une droite passant par l'origine : l'absorbance est proportionnelle à la concentration en masse, conformément à la loi de Beer-Lambert. Pour le vérifier et calculer k, on forme le rapport A/C pour chaque solution :

Solution	S_{F1}	S_{F2}	S_{F3}	S_{F4}
C ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,50	1,00	1,50	2,00
A	0,080	0,162	0,231	0,311
A/C ($\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$)	0,160	0,162	0,154	0,156

RÉPONSE

Le rapport A/C est quasi constant : $A = k\,C$, avec $k \approx 0{,}156\ \text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ (moyenne des rapports, ou coefficient directeur de la droite passant par l'origine et par le point $(2{,}00\,;0{,}311)$: $0{,}311/2{,}00 \approx 0{,}156$).

Q7. Qualité de l'eau de piscine.

MÉTHODE

La courbe d'étalonnage donne la concentration dans la fiole de $25{,}0\ \text{mL}$. L'eau de piscine y a été diluée $25{,}0/5{,}00 = 5$ fois : multiplier par 5.

$$C_{\text{fiole}} = \frac{A_{\text{eau}}}{k} = \frac{0{,}075}{0{,}156} \approx 0{,}48\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \qquad C_{\text{eau}} = 5 \times C_{\text{fiole}} \approx 2{,}4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}.$$

RÉPONSE

La concentration en masse en espèces phosphorées de l'eau de piscine vaut environ $2{,}4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1} > 1{,}0\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: l'eau est de **très mauvaise** qualité, avec un risque de prolifération d'algues.

© Pierre Carrée – pierre-carree.fr