Sécurité incendie

Bac 2026 Antilles Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q1 Déterminer la fréquence f_2 du son n° 2 et préciser si elle est associée à un son plus grave ou plus aigu que le son n° 1.

Données utiles $f_1 = 544$ Hz ; figure 1

Sur la figure 1, on mesure la durée de 3 périodes pour gagner en précision : le signal passe par zéro en décroissant à $t = 1{,}2402$ s puis, trois périodes plus tard, à $t = 1{,}2471$ s.

$3\,T_2 = 1{,}2471 - 1{,}2402 = 6{,}9 \times 10^{-3}$ s, donc $T_2 = 2{,}3 \times 10^{-3}$ s.

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{2{,}3 \times 10^{-3}} = 4{,}3 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$f_2 < f_1$: plus la fréquence est faible, plus le son est grave.

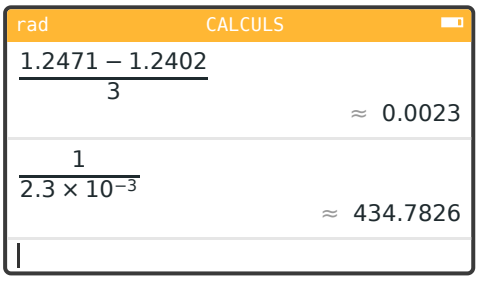
$f_2 \approx 4{,}3 \times 10^{2}$ Hz : le son n° 2 est **plus grave** que le son n° 1.

PIÈGE
Lire l'axe en secondes sans voir que l'écart entre deux graduations est de 1 ms : la période vaut 2,3 ms, pas 2,3 s.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne T_2 avec deux chiffres significatifs : f_2 en garde deux. Toute valeur comprise entre 430 et 440 Hz est cohérente avec la figure.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes entre deux points identiques du signal (ici deux passages par zéro en descendant), puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur toutes les périodes.

À LA CALCULATRICE



Q2 Déterminer la valeur de l'atténuation par absorption A du niveau d'intensité sonore entre les points M et N, en décibels.

Données utiles $L_{\text{M}} = 92$ dB ; $L_{\text{N}} = 67$ dB ; M et N à la même distance $d = 5{,}0$ m de la sirène

M et N sont à la même distance de la sirène : l'atténuation due à la distance (atténuation géométrique) est la même pour les deux points. L'écart entre les deux niveaux est donc dû uniquement à l'absorption par la cloison qui sépare la sirène du point N.

$A = L_{\text{M}} - L_{\text{N}} = 92 - 67$

$A = 25$ dB

COMPRENDRE
Une atténuation est une différence de niveaux, en décibels. On ne divise pas les niveaux et on ne repasse pas par les intensités sonores.

Q3 Calculer le niveau d'intensité sonore L, mesuré à 2,0 m, du son émis par la sirène à installer, puis déterminer sa classe.

Données utiles $L'_{\text{M}} = 104$ dB à $d_1 = 5{,}0$ m ; $d_2 = 2{,}0$ m ; $L_2 = L_1 - 20\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$; tableau de la figure 4

Aucune cloison ne sépare la sirène du point M : seule la distance intervient. On applique la relation donnée avec $L_1 = L'_{\text{M}} = 104$ dB à $d_1 = 5{,}0$ m et $L_2 = L$ à $d_2 = 2{,}0$ m.

$$L = L'_{\text{M}} - 20\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) = 104 - 20\log\left(\frac{2{,}0}{5{,}0}\right) = 112 \text{ dB}$$

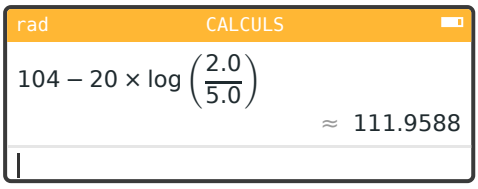
D'après la figure 4, ce niveau est compris entre 105 dB et 115 dB.

$L = 112$ dB : la nouvelle sirène est de **classe C**.

PIÈGE
Inverser d_1 et d_2 donne 96 dB. Contrôle : en se rapprochant de la source, le niveau doit augmenter, donc $L > 104$ dB.

COMPRENDRE
On part du point M et non du point N : la relation ne décrit que l'effet de la distance, elle ne tient pas compte de l'absorption par une cloison.

À LA CALCULATRICE



Q4 Indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique entre l'ampoule du sprinkler et l'air extérieur dans l'expérience réalisée au laboratoire. Justifier.

Données utiles $\theta_0 = 22\,^\circ\text{C}$; $\theta_{\text{ext}} = 54\,^\circ\text{C}$; figure 6

Un transfert thermique s'effectue spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

Ici $\theta_{\text{ext}} = 54\,^\circ\text{C} > \theta_0 = 22\,^\circ\text{C}$, et la température de l'ampoule reste inférieure à θ_{ext} pendant toute l'expérience (figure 6).

Le transfert thermique s'effectue **de l'air extérieur vers l'ampoule** : l'ampoule reçoit de l'énergie et sa température augmente.

COMPRENDRE
La figure 6 le confirme : $\theta(t)$ augmente et tend vers θ_{ext}. Plus l'écart de température se réduit, plus le transfert est lent.

Q5 En appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'ampoule pendant une durée Δt, montrer que $\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{\epsilon\, S\, \sqrt{v}}{C}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$.

Données utiles $\phi = \epsilon\, S\, \sqrt{v}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$; $\Delta U = C\,\Delta\theta$

Système {ampoule}, au repos, incompressible.

Premier principe : $\Delta U = W + Q$. L'ampoule n'échange pas de travail ($W = 0$) et le seul transfert thermique est celui échangé avec l'air extérieur, donc $\Delta U = Q$.

Pendant la durée Δt, l'ampoule reçoit de l'air l'énergie $Q = \phi\,\Delta t$, avec $\phi = \epsilon\, S\, \sqrt{v}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$.

Comme $\Delta U = C\,\Delta\theta$:

$$C\,\Delta\theta = \epsilon\, S\, \sqrt{v}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))\,\Delta t$$

En divisant par $C\,\Delta t$:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\epsilon\, S\, \sqrt{v}}{C}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$$

PIÈGE
Le signe du flux. Tel qu'il est écrit, ϕ est positif quand $\theta_{\text{ext}} > \theta$: c'est l'énergie reçue par l'ampoule, il n'y a pas de signe « $-$ » à ajouter.

MÉTHODE
Bilan thermique : 1) définir le système ; 2) premier principe avec $W = 0$; 3) $Q = \phi\,\Delta t$; 4) $\Delta U = C\,\Delta\theta$; 5) isoler $\Delta\theta/\Delta t$.

Q6 Résoudre l'équation différentielle pour établir que $\theta(t) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\,\text{e}^{-t/\tau}$.

Données utiles $\dfrac{\text{d}\theta(t)}{\text{d}t} = -\dfrac{1}{\tau}\,\theta(t) + \dfrac{\theta_{\text{ext}}}{\tau}$; $\theta(0) = \theta_0$

L'équation est de la forme $y' = a\,y + b$ avec $a = -\dfrac{1}{\tau}$ et $b = \dfrac{\theta_{\text{ext}}}{\tau}$. Ses solutions sont $y(t) = K\,\text{e}^{at} - \dfrac{b}{a}$, où K est une constante.

Ici $-\dfrac{b}{a} = \theta_{\text{ext}}$, donc :

$$\theta(t) = K\,\text{e}^{-t/\tau} + \theta_{\text{ext}}$$

Condition initiale : $\theta(0) = \theta_0$, soit $K + \theta_{\text{ext}} = \theta_0$, d'où $K = \theta_0 - \theta_{\text{ext}}$.

$$\theta(t) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\,\text{e}^{-t/\tau}$$

PIÈGE
Déterminer K avant d'avoir ajouté la solution constante θ_{ext} : on trouverait $K = \theta_0$, ce qui est faux.

MÉTHODE
Vérification rapide : à $t = 0$ l'expression donne θ_0 ; quand t devient très grand l'exponentielle tend vers 0 et θ tend vers θ_{ext}, ce que montre la figure 6.

Q7 À la date $t = \tau$, calculer la valeur $\theta(\tau)$ de la température de l'ampoule.

Données utiles $\theta_0 = 22\ °\text{C}$; $\theta_{\text{ext}} = 54\ °\text{C}$

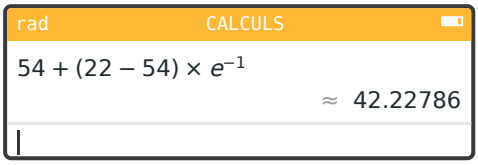
$$\theta(\tau) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\,\text{e}^{-\tau/\tau} = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\,\text{e}^{-1}$$

$$\theta(\tau) = 54 + (22 - 54) \times \text{e}^{-1} = 42\ °\text{C}$$

$\theta(\tau) = 42\ °\text{C}$

COMPRENDRE
À $t = \tau$, l'ampoule a parcouru 63 % de l'écart initial : $22 + 0{,}63 \times 32 \approx 42\ °\text{C}$.

À LA CALCULATRICE



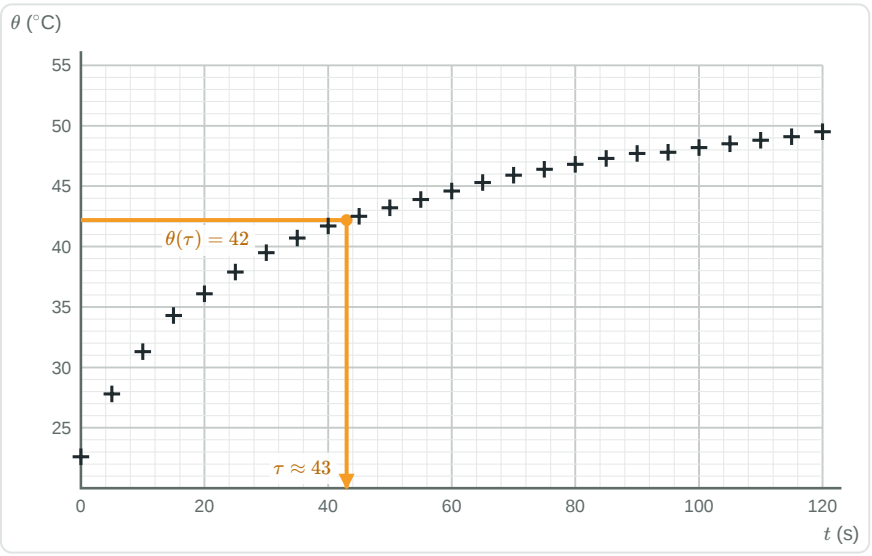
Q8 En déduire, à partir d'une lecture graphique sur la courbe de la figure 6, la valeur du temps caractéristique τ.

Données utiles $\theta(\tau) = 42\ °\text{C}$ (Q7) ; figure 6

Sur la figure 6, on trace l'horizontale d'ordonnée $\theta = 42\ °\text{C}$ jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection : il se situe entre les mesures faites à 40 s et à 45 s.

$\tau \approx 43\ \text{s}$

COMPRENDRE
Les mesures sont espacées de 5 s et la courbe est peu pentue à cet endroit : une lecture entre 40 s et 45 s est acceptable.



Q8 · Figure 6 du sujet (début de la courbe), avec la lecture de τ

Q9 Calculer la valeur de l'indice de temps de réponse R_{TI} du sprinkler étudié.

Données utiles $\tau = \dfrac{R_{\text{TI}}}{\sqrt{v}}$; $\tau = 43\ \text{s}$ (Q8) ; $v = 5{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

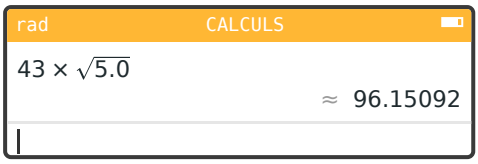
$\tau = \dfrac{R_{\text{TI}}}{\sqrt{v}}$ donc $R_{\text{TI}} = \tau\sqrt{v}$.

$$R_{\text{TI}} = 43 \times \sqrt{5{,}0} = 96\ \text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{1/2}$$

$R_{\text{TI}} \approx 96\ \text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{1/2}$

COMPRENDRE
Valeur proche de celle annoncée ensuite par le sujet (90) : la lecture de τ est cohérente.

À LA CALCULATRICE



Q10 Déterminer l'expression de la durée t_{rupt} nécessaire pour que le sprinkler se déclenche à partir de l'arrivée des fumées, en fonction de θ_{rupt}, θ_0, θ_{ext} et τ. Calculer sa valeur.

Données utiles $\theta_0 = 15\ °\text{C}$; $\theta_{\text{ext}} = 200\ °\text{C}$; $\theta_{\text{rupt}} = 68\ °\text{C}$; $R_{\text{TI}} = 90\ \text{m}^{1/2}\cdot\text{s}^{1/2}$; $v_{\text{fumée}} = 3{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Dans l'entrepôt, l'ampoule est initialement à $\theta_0 = 15\ °\text{C}$ et les fumées jouent le rôle de l'air extérieur : $\theta_{\text{ext}} = 200\ °\text{C}$.

Expression. Le sprinkler se déclenche à la date t_{rupt} telle que $\theta(t_{\text{rupt}}) = \theta_{\text{rupt}}$:

$$\theta_{\text{rupt}} = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\,\text{e}^{-t_{\text{rupt}}/\tau} \quad \text{donc} \quad \text{e}^{-t_{\text{rupt}}/\tau} = \frac{\theta_{\text{rupt}} - \theta_{\text{ext}}}{\theta_0 - \theta_{\text{ext}}}$$

En prenant le logarithme népérien : $-\dfrac{t_{\text{rupt}}}{\tau} = \ln\left(\dfrac{\theta_{\text{rupt}} - \theta_{\text{ext}}}{\theta_0 - \theta_{\text{ext}}}\right)$, soit

$$t_{\text{rupt}} = \tau\,\ln\left(\frac{\theta_0 - \theta_{\text{ext}}}{\theta_{\text{rupt}} - \theta_{\text{ext}}}\right)$$

Temps caractéristique dans les fumées. τ dépend de la vitesse de l'écoulement : il faut le recalculer.

$$\tau = \frac{R_{\text{TI}}}{\sqrt{v_{\text{fumée}}}} = \frac{90}{\sqrt{3{,}0}} = 52\ \text{s}$$

Application numérique.

$$t_{\text{rupt}} = 52 \times \ln\left(\frac{15 - 200}{68 - 200}\right) = 18\ \text{s}$$

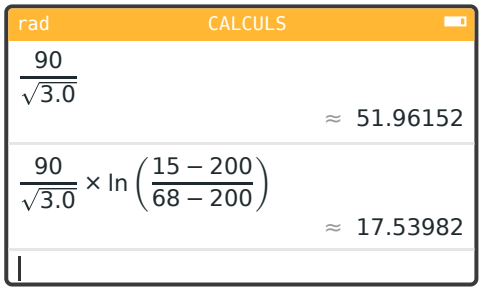
$$\boxed{t_{\text{rupt}} = \tau\,\ln\left(\frac{\theta_0 - \theta_{\text{ext}}}{\theta_{\text{rupt}} - \theta_{\text{ext}}}\right) \approx 18\ \text{s}}$$

PIÈGE
Reprendre le τ du laboratoire (43 s), ou les températures 22 °C et 54 °C. Ici tout change : $\theta_0 = 15\ °\text{C}$, $\theta_{\text{ext}} = 200\ °\text{C}$, $v = 3{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE
Les deux différences sont négatives, leur quotient est positif et supérieur à 1 : le logarithme est positif, la durée aussi. Un résultat négatif signale une fraction inversée.

MÉTHODE
Pour isoler t dans une exponentielle : isoler d'abord $\text{e}^{-t/\tau}$, puis appliquer $\ln$. Le signe « $-$ » disparaît en inversant la fraction : $-\ln(a/b) = \ln(b/a)$.

À LA CALCULATRICE



Q11 En utilisant l'expression du débit volumique, montrer que la vitesse de l'eau dans le tuyau au point A est $v_{\text{A}} = 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ lorsque le débit volumique de la lance est maximal.

Données utiles $D_{\text{V}} = 500\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$; $S_{\text{A}} = 1{,}6\times10^{-3}\ \text{m}^2$; $D_{\text{V}} = S\,v$

Conversion du débit : $D_{\text{V}} = 500\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1} = \dfrac{500\times10^{-3}}{60} = 8{,}33\times10^{-3}\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

$D_{\text{V}} = S_{\text{A}}\,v_{\text{A}}$ donc $v_{\text{A}} = \dfrac{D_{\text{V}}}{S_{\text{A}}}$.

$$v_{\text{A}} = \frac{8{,}33\times10^{-3}}{1{,}6\times10^{-3}} = 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$\boxed{v_{\text{A}} = 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
La double conversion : $1\ \text{L} = 10^{-3}\ \text{m}^3$ et $1\ \text{min} = 60\ \text{s}$. Oublier l'une des deux donne une vitesse 1000 fois ou 60 fois trop grande.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{500 \times 10^{-3}}{60}$ ≈ 0.008333333

$\dfrac{\frac{500 \times 10^{-3}}{60}}{1.6 \times 10^{-3}}$ ≈ 5.208333

Q12 En utilisant la relation de Bernoulli et les pressions de la figure 8, montrer que la vitesse de l'eau à la sortie de la lance au point B est $v_B = 38\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $P_A = 8{,}0$ bar ; $P_B = 1{,}0$ bar ; $1\ \text{bar} = 10^5$ Pa ; $v_A = 5{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Q11) ; $\rho_{eau} = 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Sur la figure 8, A et B sont à la même altitude : $z_A = z_B$, les termes $\rho\, g\, z$ se simplifient.

$$\frac{1}{2}\rho v_A^2 + P_A = \frac{1}{2}\rho v_B^2 + P_B$$

donc $v_B^2 = v_A^2 + \dfrac{2(P_A - P_B)}{\rho}$, soit $v_B = \sqrt{v_A^2 + \dfrac{2(P_A - P_B)}{\rho}}$.

Avec $P_A = 8{,}0 \times 10^5$ Pa et $P_B = 1{,}0 \times 10^5$ Pa :

$$v_B = \sqrt{5{,}2^2 + \frac{2 \times (8{,}0 \times 10^5 - 1{,}0 \times 10^5)}{1\,000}} = 37{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_B = 37{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 38\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser les pressions en bar : la relation de Bernoulli exige des pascals. Avec 8,0 et 1,0 on trouverait une vitesse presque égale à v_A.

COMPRENDRE
La pression chute de 7,0 bar entre A et B : cette énergie est convertie en énergie cinétique. La lance, plus étroite que le tuyau, accélère l'eau.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{5.2^2 + \dfrac{2 \times (8.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^5)}{1000}}$ ≈ 37.77618

Q13 En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_z(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}$ du point M.

Système {goutte d'eau}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ uniquement (frottements de l'air négligés).

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

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical et dirigé vers le bas, alors que $\vec{k}$ est dirigé vers le haut : $\vec{g} = -g\,\vec{k}$.

$a_x(t) = 0$ et $a_z(t) = -g$

PIÈGE
Écrire $a_z = +g$: l'axe (Oz) est orienté vers le haut, la coordonnée verticale de $\vec{g}$ est donc négative.

Q14 Montrer que les équations horaires sont $x(t) = v_{\text{B}}\cos(\alpha)\,t$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_{\text{B}}\sin(\alpha)\,t + z_{\text{B}}$.

Données utiles $a_x = 0$; $a_z = -g$ (Q13) ; à $t = 0$, M est en B $(0\ ;\ z_{\text{B}})$ avec la vitesse $\vec{v}_{\text{B}}$ d'angle α avec l'horizontale

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

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

À $t = 0$, $\vec{v}(0) = \vec{v}_{\text{B}}$ de coordonnées $v_{\text{B}}\cos(\alpha)$ et $v_{\text{B}}\sin(\alpha)$, donc $C_1 = v_{\text{B}}\cos(\alpha)$ et $C_2 = v_{\text{B}}\sin(\alpha)$.

$$v_x(t) = v_{\text{B}}\cos(\alpha) \qquad v_z(t) = -g\,t + v_{\text{B}}\sin(\alpha)$$

Position. $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$: on cherche les primitives de v_x et v_z.

$x(t) = v_{\text{B}}\cos(\alpha)\,t + C_3$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_{\text{B}}\sin(\alpha)\,t + C_4$

À $t = 0$, M est en B : $x(0) = 0$ et $z(0) = z_{\text{B}}$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = z_{\text{B}}$.

$$\boxed{x(t) = v_{\text{B}}\cos(\alpha)\,t \text{ et } z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_{\text{B}}\sin(\alpha)\,t + z_{\text{B}}}$$

PIÈGE
Oublier z_{B} : à $t = 0$ la goutte est en B, à 1,30 m du sol, et non à l'origine O du repère.

MÉTHODE
Deux intégrations successives, et après chacune une constante à déterminer avec les conditions initiales : la vitesse initiale d'abord, la position initiale ensuite.

Q15 Déterminer la valeur de la portée maximale $x_{\max}$. Interpréter l'écart observé avec la valeur fournie dans la documentation de la figure 7.

Données utiles $z(x) = -6{,}72 \times 10^{-3}\,x^2 + 0{,}990\,x + 1{,}30$; portée annoncée : 40 m (figure 7)

Le jet touche le sol au point P, d'altitude nulle : $z(x_{\max}) = 0$.

$$-6{,}72 \times 10^{-3}\,x^2 + 0{,}990\,x + 1{,}30 = 0$$

Discriminant : $\Delta = 0{,}990^2 - 4 \times (-6{,}72 \times 10^{-3}) \times 1{,}30 = 1{,}015 > 0$.

Deux solutions : $x_1 = \dfrac{-0{,}990 + \sqrt{\Delta}}{2 \times (-6{,}72 \times 10^{-3})} = -1{,}30$ m et $x_2 = \dfrac{-0{,}990 - \sqrt{\Delta}}{2 \times (-6{,}72 \times 10^{-3})} = 149$ m.

Le point P est à droite de O : on retient la solution positive.

$$\boxed{x_{\max} = 149 \text{ m}}$$

Interprétation. La documentation annonce une portée maximale de 40 m : la valeur calculée est près de 4 fois plus grande. Le modèle de la chute libre n'est donc pas adapté : à $38\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, les frottements de l'air sur l'eau ne sont pas négligeables. Ils freinent fortement le jet, qui se disperse en gouttelettes, et réduisent la portée réelle.

PIÈGE
S'arrêter à la valeur numérique. La question a deux parties : il faut comparer à 40 m et nommer l'hypothèse en cause, les frottements de l'air négligés.

COMPRENDRE
La solution négative correspond au point où la parabole, prolongée en arrière de la lance, couperait le sol : elle n'a pas de sens physique ici.

À LA CALCULATRICE

