Du bang d'un avion au claquement d'un coup de fouet

Bac S 2012 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Pourquoi peut-on dire que les ondes sonores sont des ondes mécaniques ?

Une onde sonore est la propagation d'une perturbation (compressions et dilatations successives) dans un milieu matériel, ici l'air, sans transport de matière. Elle a besoin de ce milieu matériel pour se propager.

L'onde sonore nécessite un milieu matériel : c'est une onde mécanique.

COMPRENDRE
Une onde électromagnétique, comme la lumière, se propage aussi dans le vide : ce n'est pas une onde mécanique.

1.1.2 Choisir la ou les caractéristiques d'une onde sonore parmi : progressive, tridimensionnelle, transversale, longitudinale, en expliquant leur signification.

a) **Progressive** : la perturbation se déplace de proche en proche à partir de la source, avec une célérité donnée.

b) **Tridimensionnelle** : elle se propage dans toutes les directions de l'espace qui lui sont offertes (figures 1 à 3 : fronts d'onde sphériques).

d) **Longitudinale** : la perturbation (déplacement des tranches d'air) a la même direction que la propagation.

L'onde sonore n'est pas transversale : une onde transversale a une perturbation perpendiculaire à la direction de propagation.

Réponses a), b) et d).

PIÈGE
Oublier de justifier : la question demande la signification de chaque caractéristique retenue, une simple liste de lettres ne rapporte pas tous les points.

1.1.3 Choisir le ou les milieux dans lesquels le son ne se propage pas : acier, béton, vide, eau.

Le son, onde mécanique, se propage dans tous les milieux matériels (solides, liquides, gaz) : acier, béton et eau conviennent. Le vide ne contient pas de matière.

Le son ne se propage pas dans le vide : réponse c).

COMPRENDRE
Le son va même plus vite dans l'eau (environ 1500 m/s) et dans l'acier (environ 5000 m/s) que dans l'air.

1.2.1 Calculer la célérité des ondes sonores à 10 km d'altitude, où la température de l'air vaut -50 °C.

Données utiles $v_{\text{son}}(\theta) = v_{\text{son}}(0\ ^\circ\text{C}) \times \sqrt{1 + \dfrac{\theta}{273}}$; $v_{\text{son}}(0\ ^\circ\text{C}) = 3{,}3 \times 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\theta = -50$ °C

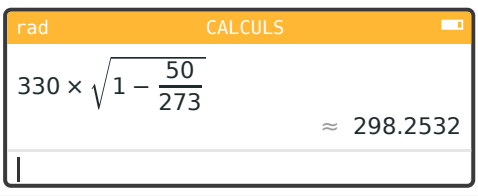
$$v_{\text{son}}(-50\ ^\circ\text{C}) = 3{,}3 \times 10^2 \times \sqrt{1 + \frac{-50}{273}} = 2{,}98 \times 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_{\text{son}}(-50\ ^\circ\text{C}) \approx 3{,}0 \times 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Le signe de θ : avec $+50$ on trouverait $3{,}6 \times 10^2$ m/s. Il fait plus froid, le son est plus lent.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $v_{\text{son}}(0\ ^\circ\text{C})$. On garde toutefois la valeur non arrondie 298 m/s pour la comparaison suivante.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Comparer cette valeur avec la vitesse de l'avion. Celui-ci a-t-il passé le mur du son ?

Données utiles $v_{\text{avion}} = 800\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; $v_{\text{son}} = 3{,}0\times10^{2}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.2.1)

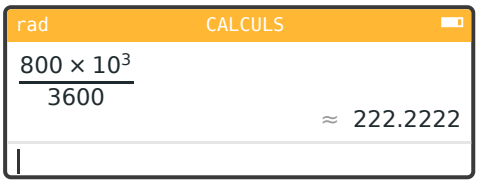
Conversion : $v_{\text{avion}} = \dfrac{800\times10^{3}\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 222\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$v_{\text{avion}} = 222\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} < v_{\text{son}} \approx 298\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: l'avion vole en régime subsonique (situation de la figure 1).

$v_{\text{avion}} < v_{\text{son}}$: le mur du son n'est pas franchi par l'avion.

MÉTHODE
Pour passer des km/h aux m/s, on divise par 3,6. Comparer deux vitesses exige la même unité.

À LA CALCULATRICE



2.1 Montrer, par une analyse dimensionnelle, l'homogénéité de la relation $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$.

Force : d'après la deuxième loi de Newton, $F = m\,a$, donc $[F] = \text{M}\cdot\text{L}\cdot\text{T}^{-2}$.

Masse linéique : $\mu = \dfrac{m}{L}$, donc $[\mu] = \text{M}\cdot\text{L}^{-1}$.

$$\left[\frac{F}{\mu}\right] = \frac{\text{M}\cdot\text{L}\cdot\text{T}^{-2}}{\text{M}\cdot\text{L}^{-1}} = \text{L}^{2}\cdot\text{T}^{-2} \qquad \text{donc} \qquad \left[\sqrt{\frac{F}{\mu}}\right] = \text{L}\cdot\text{T}^{-1}$$

$\sqrt{F/\mu}$ a la dimension $\text{L}\cdot\text{T}^{-1}$ d'une vitesse : la relation est homogène.

MÉTHODE
Exprimer chaque grandeur avec les dimensions de base M, L, T à partir d'une relation connue ($F = m\,a$, a en $\text{L}\cdot\text{T}^{-2}$), puis simplifier.

2.2.1 Calculer la durée τ mise par l'onde pour parcourir toute la lanière.

Données utiles figure 4 : l'ébranlement part de A à t_0 et atteint B à t_8 ; $\Delta t = 3{,}5\times10^{-2}$ s

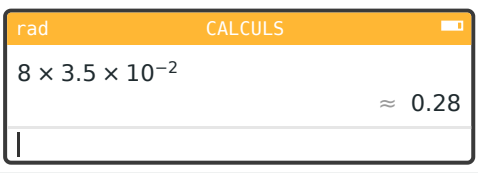
D'après la figure 4, l'ébranlement, parti de A à $t_0 = 0$, atteint l'extrémité B à $t_8 = t_0 + 8\,\Delta t$.

$$\tau = 8\,\Delta t = 8\times3{,}5\times10^{-2} = 0{,}28\ \text{s}$$

$\tau = 0{,}28$ s

PIÈGE
Compter les neuf positions dessinées au lieu des huit intervalles qui les séparent.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 En déduire la valeur de la célérité v de l'onde.

Données utiles $L = 3{,}0$ m ; $\tau = 0{,}28$ s (2.2.1)

$$v = \frac{L}{\tau} = \frac{3{,}0}{0{,}28} = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v = 11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Cette célérité est très inférieure à celle du son dans l'air : c'est la vitesse transversale de la mèche, étudiée en 2.3, qui dépasse le mur du son.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.0}{0.28} \approx 10.71429$

2.2.3 La masse linéique μ diminue de la poignée vers l'extrémité et F est constante : comment évolue la célérité de l'onde le long de la lanière ?

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$: avec F constante, v est d'autant plus grande que μ est petite.

μ diminue de la poignée vers l'extrémité, donc la célérité de l'onde augmente le long de la lanière.

COMPRENDRE
C'est cette accélération de l'onde, jusqu'à la mèche très fine, qui permet à l'extrémité du fouet d'atteindre une vitesse supersonique.

2.3 En déduire la vitesse v' de déplacement de la mèche. Le mur du son a-t-il été passé par la mèche ?

Données utiles 4000 images par seconde ; $d = 11$ cm entre deux images successives ; $v_{son} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 20 °C

Durée entre deux images successives : $\tau' = \frac{1}{4000} = 2{,}5 \times 10^{-4}$ s.

$$v' = \frac{d}{\tau'} = \frac{0{,}11}{2{,}5 \times 10^{-4}} = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v' = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} > v_{son} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$v' = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: la mèche a passé le mur du son, d'où le claquement.

PIÈGE
Convertir d en mètres (0,11 m). La fréquence de prise de vue n'est pas une durée : il faut en prendre l'inverse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1}{4000} \approx 2.5 \times 10^{-4}$

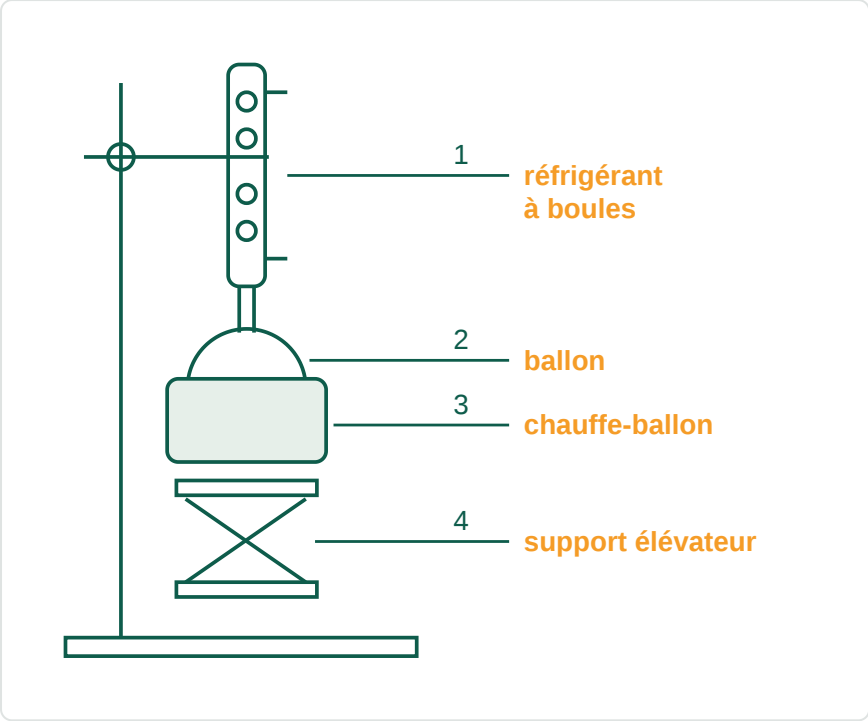
$\frac{0.11}{2.5 \times 10^{-4}} \approx 440$

3.1.1 Légender la figure A1 de l'annexe (éléments 1 à 4 du montage).

1 : réfrigérant à boules (réfrigérant à eau).
2 : ballon contenant le mélange réactionnel.
3 : chauffe-ballon.
4 : support élévateur.

1 réfrigérant à boules ; 2 ballon ; 3 chauffe-ballon ; 4 support élévateur.

COMPRENDRE
Le support élévateur permet de retirer rapidement le chauffe-ballon en cas d'emballement de l'ébullition.



3.1.1 · Annexe A1 complétée

3.1.2 Quel est le nom de ce type de montage ? Quel est le rôle de la partie désignée par la flèche 1 ?

Il s'agit d'un montage de **chauffage à reflux**.

Le réfrigérant à boules (1) condense les vapeurs qui s'échappent du mélange porté à ébullition ; le liquide retombe dans le ballon.

Chauffage à reflux ; le réfrigérant évite les pertes de réactifs et de produits par évaporation.

COMPRENDRE
Le chauffage accélère la réaction ; le reflux permet de chauffer longtemps (ici une heure) sans perte de matière.

3.1.3 a. Donner le nom de ce type de réaction. b. Donner des caractéristiques de cette réaction.

a. L'huile d'olive (un triester du glycérol) réagit avec les ions hydroxyde : c'est une **saponification**, c'est-à-dire l'hydrolyse basique d'un ester. Elle donne du glycérol et des ions carboxylate (le savon).

b. La saponification est une réaction **totale** et **lente** à température ambiante, d'où le chauffage.

a. saponification ; b. réaction totale et lente.

PIÈGE
Confondre avec l'hydrolyse d'un ester par l'eau, qui est lente et limitée. Avec les ions hydroxyde, la réaction est totale.

3.2.1 Calculer la quantité de matière n_S de savon correspondant à $m_S = 100$ g.

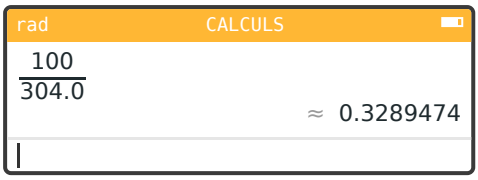
Données utiles $m_S = 100$ g ; $M_S = 304{,}0$ g · mol^{-1}

$$n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{100}{304{,}0} = 0{,}329 \text{ mol}$$

$n_S = 0{,}329$ mol

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, ceux de $m_S = 100$ g.
On garde la valeur non arrondie en mémoire pour la suite.

À LA CALCULATRICE



3.2.2 Calculer la quantité de matière minimale n_h d'huile d'olive nécessaire.

Données utiles $n_S = 0{,}329$ mol (3.2.1)

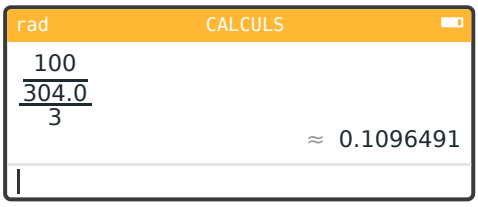
D'après l'équation, 1 mol d'huile donne 3 mol de savon. Au minimum (huile entièrement consommée, réaction totale) :

$$n_h = \frac{n_S}{3} = \frac{0{,}3289}{3} = 0{,}110 \text{ mol}$$

$n_h = 0{,}110$ mol

PIÈGE
Multiplier par 3 au lieu de diviser : le coefficient 3 est du côté du savon.

À LA CALCULATRICE



3.2.3 En déduire la masse m_h d'huile d'olive correspondante.

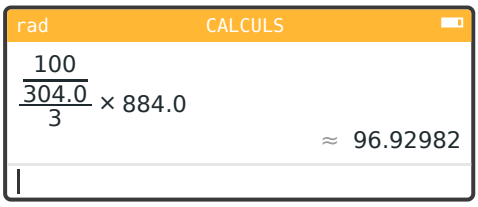
Données utiles $n_h = 0{,}110$ mol (3.2.2) ; $M_h = 884{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$m_h = n_h \times M_h = \frac{0{,}3289}{3} \times 884{,}0 = 96{,}9 \text{ g}$$

$m_h = 96{,}9$ g

PIÈGE
Avec la valeur arrondie $0{,}110$ mol on trouve $97{,}2$ g : il faut calculer avec la valeur non arrondie.

À LA CALCULATRICE



3.2.4 Le Destop® doit être en excès. Quel volume minimal V_D de Destop® faut-il utiliser ?

Données utiles $c = 6{,}15\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $n_S = 0{,}329$ mol (3.2.1)

D'après l'équation, 3 mol d'ions HO^- donnent 3 mol de savon : il faut au moins autant d'ions hydroxyde que de savon formé, $n_{\text{HO}^-} \geq n_S$.

$$V_D = \frac{n_S}{c} = \frac{0{,}3289}{6{,}15} = 5{,}35 \times 10^{-2}\ \text{L}$$

$V_D = 53{,}5$ mL au minimum ; on en verse davantage pour que la soude soit en excès.

MÉTHODE
Pour l'excès d'un réactif, on calcule d'abord la quantité qui correspond aux proportions stœchiométriques ; c'est le volume minimal à dépasser.

À LA CALCULATRICE

