

Groupe 1.

Redaction topique, Q AN sont manquantes

Ex 1: D'après les hypothèses: pour 1 opt H

$$|\xi_1| = |\xi_2| \quad \text{où} \quad \xi_1(x, t) = \xi_0 \sin(\omega t - kx)$$

$$\xi_2(x, t) = \xi_0 \sin(2\omega t - kx)$$

On a $\mu_0 \frac{\partial v}{\partial t} = - \frac{\partial p}{\partial x} \Rightarrow \mu_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = - \frac{\partial p}{\partial x}$

D'après l'équation d'Euler linéarisée (c'est une équation linéaire, on peut passer en complexe)

Donc: $\mu_0 (j\omega)^2 \xi = - (jk) p \Rightarrow p = + \frac{\mu_0 j\omega^2}{k} \xi$

Ainsi: $|p| = \mu_0 \omega c \xi$ $\left(k = \frac{\omega}{c} \right)$

$= -\mu_0 j\omega c \xi$

$e^{j(\omega t - kx)}$
 $\Rightarrow$ dériver / $x \equiv$ multiplier par $-jk$

$$\frac{|p_1|}{|p_2|} = \frac{\mu_0 \omega c \xi_0}{\mu_0 2\omega c \xi_0} = \frac{1}{2}$$

$\langle \|\vec{T}\|^2 \rangle = \langle p(x, t) v(x, t) \rangle$

$= \langle \mu_0 \omega c \xi_0 \cos(\omega t - kx + \varphi) \times \xi_0 \omega \cos(\omega t - kx + \varphi) \rangle$

$= \frac{1}{2} \left[\mu_0 \omega^2 c \xi_0^2 \right]$

$$\text{d'où, } \frac{\langle \|\vec{\Pi}_1\| \rangle}{\langle \|\vec{\Pi}_2\| \rangle} = \frac{1}{4} \quad \Rightarrow \quad = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_{dB2} - I_{dB1} &= 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \\ &= 10 \log 4 = +6 \text{ dB (faible l'AN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad I_2 = 3 I_1 &\Rightarrow 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \\ &= 10 \log 3 \\ &= 4,8 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad v_0 &= \sum_0 \omega \\ p_0 &= p_0 \cos \sum_0 \end{aligned} \quad \bar{I} = \frac{\sum_0^2 \omega^2 c \rho_0}{2} = 2 \sum_0^2 \pi^2 f^2 c \rho_0$$

(où f désigne la fréquence du signal sonore)

(FN) on vous demande $I_{dB} = 10 \log \frac{I}{I_0} = 127 \text{ dB}$

$$4. \quad \frac{I}{2} \text{ donc } -3 \text{ dB} \Rightarrow \underline{87 \text{ dB}} \quad ?? \text{ Redigé!!!}$$

$$I_{dB} = 10 \log \left(\frac{2I}{I_0} \right) \quad I'_{dB} = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$I'_{dB} = I_{dB} - 10 \log 2 = 90 - 3 = 87 \text{ dB.}$$

Exercice II : ordre de grandeur en acoustique

on cherche p_{eff} , u_{eff} , φ_{eff} et ΔT_{eff}

Tout d'abord par définition $p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(m,t) dt}$

$$= \sqrt{\frac{p_0^2}{T} \int_0^T \cos^2(\omega t - kx + \varphi) dt}$$

$$= \sqrt{\frac{p_0^2}{T} \int_0^T \frac{1 - 2\cos(2\omega t - 2kx + 2\varphi)}{2} dt}$$

$$= \sqrt{\frac{p_0^2}{2} - \frac{p_0^2}{T} \underbrace{\int_0^T \cos(2\omega t - 2kx + 2\varphi) dt}_{=0}}$$

$$p_{eff} = \frac{p_0}{\sqrt{2}}$$

par le cours : on sait que $I = \langle \Pi \rangle = \langle p(m,t) u(m,t) \rangle = \frac{p_0 u_0}{2}$

Donc $I = \frac{p_0 u_0}{2} = p_{eff} u_{eff}$ car de même on a $u_{eff} = \frac{u_0}{2}$

or pour des ondes se propagent dans le sens x croissant

$$\frac{p(m,t)}{u(m,t)} = Z = \frac{\rho_0 c}{\text{masse volumique de l'air}} = \text{célérité de son dans l'air}$$

ainsi $\frac{p_{eff}}{u_{eff}} = \rho_0 c$

D'où $\begin{cases} \frac{p_{eff}}{u_{eff}} = \rho_0 c \\ I = p_{eff} u_{eff} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} p_{eff} = \rho_0 c u_{eff} \\ I = p_{eff} u_{eff} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p_{eff} = \rho_0 c u_{eff} \\ I = \rho_0 c u_{eff}^2 \end{cases}$

on retient la solution positive : et on rappelle que $I = I_0 10^{\frac{\Delta B}{10}} = 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}$

Donc $u_{eff} = \sqrt{\frac{10^{-12} 10^{\frac{60}{10}}}{1 \times 340}} = 5,42 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$

et $p_{eff} = 1 \times 340 \times 5,42 \times 10^{-5} = 0,018 \text{ Pa}$

W.m^{-2}
2CS
suffisant

(n'hésitez pas à faire les AN ultramédecines, sinon c'est boud!)

par définition dans l'exercice I : $u(x,t) = \frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial t}$

ainsi comme $u(x,t) = u_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$

$$\varphi(x,t) = \frac{u_0}{\omega} \sin(\omega t - kx + \varphi) + \text{constante}$$

ainsi $\varphi_{eff} = \frac{u_0}{\omega \sqrt{2}} = \frac{u_0}{2\pi f \sqrt{2}} = \frac{u_{eff}}{2\pi f}$

A.N:

$$p_{\text{eff}} = \frac{5,4 \times 10^{-5}}{2\pi \times 1000} = 8,6 \times 10^{-9} \text{ m}$$

on considère maintenant que l'échauffement provoqué par l'onde suit une transformation isentropique

Donc par loi de Laplace, $PV^\gamma = \text{constante}$

en considérant l'air comme un gaz parfait: $PV = nRT$

$$\text{Donc } V = \frac{nRT}{P} \quad \text{donc } P^{1+\gamma} T^{-\gamma} = \frac{\text{constante}}{(\ln R)^\gamma}$$

Ainsi, en faisant une dérivée logarithmique

$$(1-\gamma) \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dT}{T} = 0$$

$$\text{or } dP = P_1 - P_0 \quad \text{et } dT = T + \Delta T_{\text{eff}} - T$$

$$\text{ainsi: } \frac{(1-\gamma) P_1}{P_0} + \gamma \frac{\Delta T_{\text{eff}}}{T_0} = 0$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{eff}} = \frac{(1-\gamma) P_1 \times T_0}{P_0 \times (-\gamma)}$$

A.N:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \frac{(1-1,4) \times 0,018 \times 293,15 \times \sqrt{2}}{10^5 \times (-1,4)}$$

$$\Delta T_{\text{eff}} = 2,1 \times 10^{-5} \text{ K}$$

Ainsi on a $u_{\text{eff}} \ll c$

$$p_{\text{eff}} \ll P_0$$

$$p_{\text{eff}} \ll \lambda = \frac{c}{f} = 0,34 \text{ m}$$

$$\Delta T_{\text{eff}} \ll T_0$$

Ainsi l'approximation acoustique est validée

Ex III TD20

- 1) Comme la surface est rigide, $u(x=0, t) = 0$
On peut en déduire que l'onde est stationnaire.

Donc $u(x, t) = u_0 \cos(\omega t + \varphi) \cos(kx - \varphi)$

- 2) On utilise l'équation d'Euler: ✓

$$\rho_0 \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = - \frac{\partial p(x, t)}{\partial x}$$

donc

$$\rho_0 u_0 \cos(kx + \varphi) \omega \sin(\omega t + \varphi) = \frac{\partial p(x, t)}{\partial x}$$

d'où $p(x, t) = \frac{\rho_0 u_0 \omega}{k} \sin(\omega t + \varphi) \sin(kx + \varphi)$ ✓

Puis $V(x) = K (\langle p^2(x, t) \rangle)^{1/2}$ rappel $\langle \sin^2(\omega t + \varphi) \rangle = 1/2$

$$V(x) = K \frac{\rho_0 u_0 \omega}{k} |\sin(kx)|$$

- 3) * Pour $f = 300 \text{ Hz}$: entre 2 mini de $V \rightarrow \lambda/2$.

$$\bullet \frac{\lambda}{2} = (89 - 32) \cdot 10^{-2} = 57 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \lambda = 114 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\bullet c = \lambda f = 300 \times 114 \times 10^{-2} = 342 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

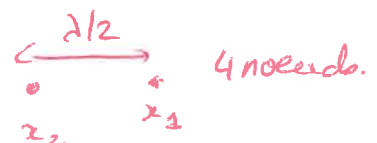
$$\bullet \text{ or } c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \text{ donc } \gamma = \frac{c^2 M}{R T} = \frac{342^2 \times 29 \times 10^{-3}}{8,314 \times (18 + 273)}$$

$$\gamma = 1,402$$

- * Pour $f = 500 \text{ Hz}$:

$$\bullet \frac{\lambda}{2} = \left(\frac{120 - 17,7}{2} \right) \times 10^{-2} = 51,15 \times 10^{-2} \text{ m}$$

donc $\lambda = 0,682 \text{ m}$ ✓



$$c = 0,682 \times 500 = \boxed{170,5 \text{ m.s}^{-1}}$$

$$\gamma = \frac{(170,5)^2 \times 29 \times 10^{-3}}{8,314 (18 + 273)} = \boxed{0,34}$$

⚠ c ne dépend que du milieu, idem pour γ vous devez trouver la même valeur pour les 3 fréquences!!!

* pour $f = 988 \text{ Hz}$:

$$\frac{\lambda}{2} = \left(\frac{112,0 - 8,0}{6} \right) \times 10^{-2} = \boxed{1,7 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

d'où $\lambda = \boxed{0,35 \text{ m}}$

$x_7 \quad x_6 \quad x_5 \quad x_4 \quad x_3 \quad x_2 \quad x_1$

$$c = 0,35 \times 988 = \boxed{345,8 \text{ m.s}^{-1}}$$

$$\gamma = \frac{345,8^2 \times 29 \times 10^{-3}}{8,314 (18 + 273)} = \boxed{14,3}$$

4) les valeurs maximales sont plus importantes pour les fréquences de résonance, ~~mod~~ fréquences propres du tuyau. B

Non, il n'y a pas contradiction

→ en $x=0$ noeud de vitesse DONC ventre de press. m.

en $x=L$ position de la membrane $u(x=L, t) = 0$ membrane.

à la résonance l'amplitude des ventres est "négligeable" devant $u_{\text{membrane}} \Rightarrow u_{\text{membrane}} = u(x=L, t) = 0$

à la résonance on a un noeud de vitesse en $x=L \Rightarrow p(x=L, t)$ est un ventre de press. m.

le mode fondamental f_1 est obtenu pour

$$\frac{\lambda_1}{2} = L = \frac{c}{2f_1}$$

$$f_1 = \frac{c}{2L} = \frac{340}{2 \times 1,45} = 118 \text{ Hz} \quad \text{et } f_n = n f_1$$

$$\frac{355}{118} = 3 \Rightarrow f_3 = 355 \text{ Hz} \quad \frac{472}{118} = 4 \Rightarrow f_4 = 472 \text{ Hz}$$

$$\frac{590}{118} = 5 \Rightarrow f_5 = 590 \text{ Hz}$$

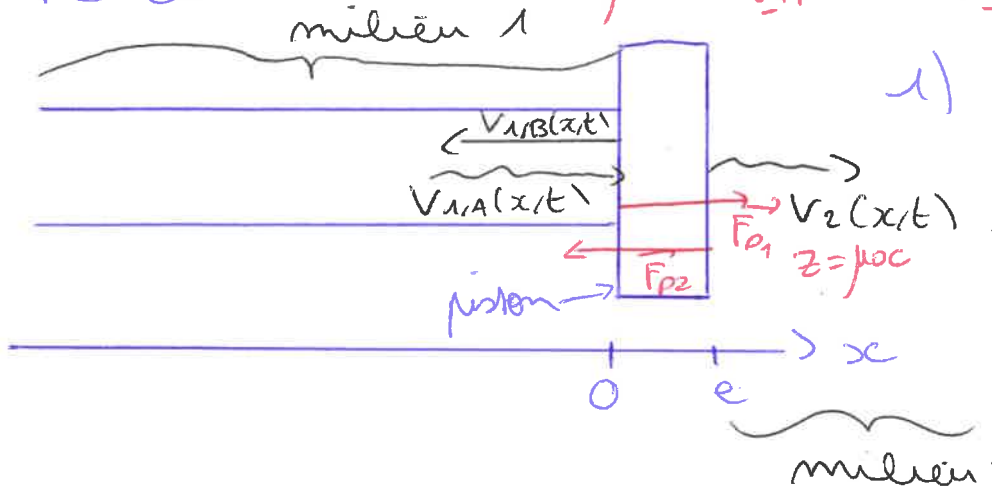
→ les fréquences de résonance sont bien des multiples entiers de la fréquence fondamentale

Exercice 4: ~~rediger~~ rédiger et mener correctement tous les raisonnements.

Gon 11

TD 20:

$$Z = \mu_0 c = \frac{A_{1+}}{V_{1+}} = - \frac{A_{1-}}{V_{1-}} = \frac{A_2}{V_2}$$



1) On a des OPPH:

$$V_1(x < 0, t) = A_1 e^{j(\omega t - kx)} + B_1 e^{j(\omega t + kx)}$$

onde réfléchie

De plus, $V_2(x > e, t)$ est l'onde transmise.

D'autre part, $p_1(x, t) = P_1 e^{j(\omega t - kx)} + P_1' e^{j(\omega t + kx)}$

$$p_2(x, t) = P_2 e^{j(\omega t - kx + ke)}$$

avec $P_1 = Z A_1$, $P_1' = -Z B_1$

$$P_2 = Z A_2$$

→ à partir de l'équation d'Euler.

2) D'après la condition à l'interface $V_1(x=0, t) = V_p(t) = V_2(x=e, t)$

d'où $(A_1 + B_1) e^{j\omega t} = V_p = A_2 e^{j\omega t}$

3) Système = {piston} $\Rightarrow \boxed{A_2 = A_1 + B_1}$

Bilan des forces: $\vec{F}_{p1} = p_1(0, t) S \vec{u}_x$

$\vec{F}_{p2} = -p_2(e, t) S \vec{u}_x$

} représente les

En projetant sur $\vec{x}$:

$$\frac{dV_p}{dt} \underbrace{\mu S e}_{\text{masse du piston}} = S(p_1 - p_2) = S(P_1 e^{j\omega t} + P_1' e^{j\omega t} - P_2 e^{j\omega t})$$

$$j\omega \underline{A_2} \mu e = Z(A_1 - B_1 - A_2)$$

et $B_1 = A_2 - A_1$ $Z = \mu_0 c$

$$\left(j\omega \frac{\mu e}{\mu_0 c} + 2 \right) \underline{A_2} = 2 \underline{A_1}$$

↪ q.f.d.

En continuant, on n'arrive pas à trouver la relation mais on va l'admettre pour la suite.

4) On a $\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{\mu e}{2\mu_0 c}}$ ✓

Cela ressemble à une fonction de transfert d'un filtre passe bas : $\underline{H} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$ avec $\omega_c = \frac{2\mu_0 c}{\mu e}$ ✓

5) le facteur de transmission en puissance

T du mur est ici : *un peu rapide!* $T = \frac{\langle ||\vec{A}_2(x,t) \cdot \vec{v}_2(x,t)|| \rangle}{\langle ||\vec{A}_1(x,t) \cdot \vec{v}_1(x,t)|| \rangle}$ (OK)

$T = \left| \frac{A_2}{A_1} \right|^2 = \frac{1}{1 + \frac{\mu^2 e^2 \omega^2}{4\mu_0^2 c^2}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$

6) On souhaite une atténuation en puissance d'au moins -40 dB pour $f = 10^3$ Hz $\Rightarrow T = 10^{-4}$
 fréquence 1 facteur de transmission en puissance.

On veut au moins -40 dB $\Rightarrow T < 10^{-4}$ ~~X/c'~~

Ainsi, on obtient $e > 7 \times 10^{-3}$ m pour 10^3 Hz 1 kHz.

et $e > 7 \times 10^{-2}$ m = 7 cm à 100 Hz.

Bien rapide!

atténuation de -40 dB

$\Rightarrow \left(\frac{\mu e \omega}{2\mu_0 c}\right)^2 \gg 1$

on est en haute fréquence. $T \sim \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2$

$\left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2 \approx 10^{-4} \Rightarrow \omega_c \approx 0,01 \omega$

$\frac{2\mu_0 c}{\mu e} \approx 0,01 \times 2\pi f$

$e = \frac{2\mu_0 c}{\mu \times (0,01 \times 2\pi f)}$

AN OK
 mais n'est pas
 suffisante

groupe 3:

TD 20

~~Ex V~~

1) Longueur d'onde λ_0 et étendue spatiale Δx

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{1500}{75 \cdot 10^3} = 0,02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$$

$$\lambda_0 = 2 \text{ cm}$$

$\Delta x =$ longueur du train d'onde

$\lambda_0 =$ longueur d'onde

$$c = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Delta x = c \Delta t$$

dans un train d'onde
il y a $\frac{\Delta x}{\lambda_0} = \frac{15}{2} = 7,5$ sinusoïdes.

$$\Delta x = 1500 \times 100 \cdot 10^{-6} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

2) précision relative sur la durée d'un aller-retour pour une cible à $D = 100 \text{ m}$, la distance totale parcourue est $2D$

Le temps d'aller-retour est $t_{\text{ar}} = \frac{2D}{c}$

$$t_{\text{ar}} = \frac{200}{1500} \approx 0,133 \text{ s} = 133 \text{ ms}$$

$$t_{\text{ar}} = 133 \text{ ms}$$

durée d'un train d'onde.

La précision relative est: $\frac{\Delta t}{t_{\text{ar}}} = \frac{100 \times 10^{-6}}{0,133} \approx 7,5 \cdot 10^{-4} = 0,075\%$

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{ar}}} = 0,075\%$$

pourquoi?

3) il y a plusieurs raisons physiques:

- L'onde s'étale dans l'espace (onde sphérique), l'intensité diminue avec la distance

- milieu absorbant

4) si le périsseau s'éloigne, la fréquence reçue sera plus petite que la fréquence émise. Ce phénomène s'appelle l'effet Doppler.

B

5) Intensité de l'écho provenant d'un poisson sous le sable pour que le signal revienne au dauphin, il doit effectuer le trajet suivant:

- Eau $\rightarrow$ sable : transmission de l'intensité

$$T_{es} = \frac{4z_e z_s}{(z_e + z_s)^2}$$

- Sable $\rightarrow$ poisson : Réflexion sur le poisson

$$R_{sp} = \left(\frac{z_s - z_p}{z_s + z_p} \right)^2$$

- Sable $\rightarrow$ eau : transmission retour

$$T_{se} = \frac{4z_s z_e}{(z_s + z_e)^2} \quad T_{se} = T_{es}$$

donc

$$I_{echo} = I_0 \times T_{es} \times R_{sp} \times T_{se}$$

$$I_{echo} = I_0 \times \left[\frac{4z_s z_e}{(z_e + z_s)^2} \right]^2 \times \left(\frac{z_s - z_p}{z_s + z_p} \right)^2$$

IB