

UE4 – Physique

Annales Classées

ONDES – ÉCHOGRAPHIE

SUJET

Écho-endoscopie de la paroi œsophagienne

Une sonde d'échographie est descendue dans l'œsophage pour évaluer une tumeur sur la paroi interne. La sonde émet des faisceaux collimatés d'ondes ultrasonores planes d'intensité I_0 . Les faisceaux balayent la paroi radialement pour faire une image en coupe. La distance qui sépare la sonde de la paroi varie entre l et $3l$. Cet espace est irrigué d'eau de même impédance que la sonde pour faciliter la transmission des ultrasons dans la paroi. Celle-ci présente une série de couches concentriques de différents tissus de même épaisseur $\delta l = 0,2 \text{ mm}$, en alternance hyper-échogène (en blanc sur la

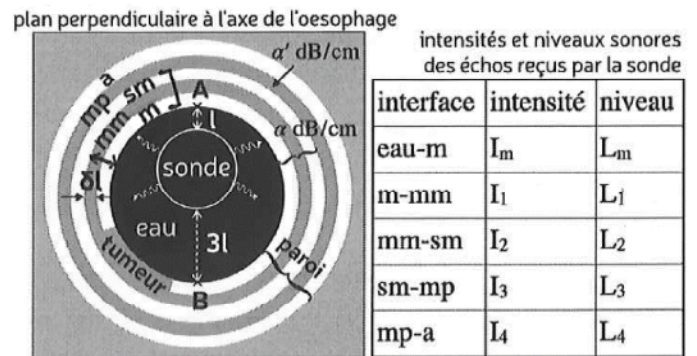


figure) et hypo-échogène (en gris). La sonde reçoit des échos des interfaces entre cinq couches notées m , mm , sm , mp et a . Dans tout l'exercice on s'intéresse aux caractéristiques des échos **au retour à la sonde**. Leurs intensités et niveaux sonores sont définis dans le tableau. Le coefficient de réflexion en intensité des interfaces eau- m et eau-tumeur vaut $R_e = 10^{-3}$. Celui des interfaces entre deux couches successives de la paroi vaut $R = 4R_e$. On note T_e et T les coefficients de transmission en intensité correspondants. Le coefficient d'absorption des trois premières couches de muqueuse (de m à sm) vaut $\alpha = 10 \text{ dB/cm}$ et celui de la couche musculaire mp vaut $\alpha' = 16 \text{ dB/cm}$. On néglige l'absorption des ultrasons dans l'eau. On donne $\log(0,999) = -4,35 \times 10^{-4}$ et $\log(0,996) = -1,74 \times 10^{-3}$.

On ne prend pas en compte les absorptions pour les questions 7 à 10.

Question 7 On note respectivement A et B les points le plus proche et le plus distant de la paroi par rapport à la sonde et les intensités $I_m(A)$ et $I_m(B)$ des échos réfléchis en ces points. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. L'écho réfléchi en B met le même temps à revenir à la sonde que l'écho réfléchi en A
- B. L'écho réfléchi en B met 3 fois plus de temps à revenir à la sonde que l'écho réfléchi en A
- C. L'écho réfléchi en B met 6 fois plus de temps à revenir à la sonde que l'écho réfléchi en A
- D. $I_m(B) \ll I_m(A)$
- E. $I_m(B) = I_m(A) / 3$

Question 8 Exprimer les intensités des échos indiqués dans le tableau. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $I_1/I_m = T_e^2$
- B. $I_1/I_m = R/R_e$
- C. $I_2/I_1 = T$
- D. $I_2/I_1 = T^2$
- E. $I_4/I_3 = T^2$

Question 9 Comparer les niveaux sonores des échos indiqués dans le tableau. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $L_1 - L_m = -0,009 \text{ dB}$
- B. $L_1 - L_m = +6 \text{ dB}$
- C. $L_3 - L_1 = -0,03 \text{ dB}$
- D. $L_3 - L_1 = -0,07 \text{ dB}$
- E. $L_3 - L_1 = -0,6 \text{ dB}$

Question 10 La tumeur part du bord interne de la paroi sur une épaisseur $2\delta l$. Elle a la même impédance acoustique que la couche mm . Comparer le niveau sonore L'_2 de l'écho reçu par la sonde après réflexion sur l'interface tumeur- sm aux niveaux L_1 et L_2 des échos provenant des interfaces $m-mm$ et $mm-sm$ hors tumeur. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

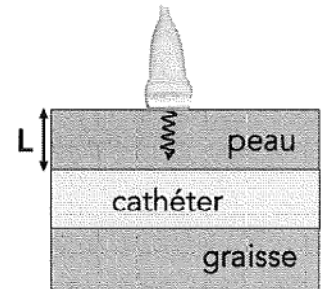
- A. La face de la tumeur au contact de l'eau ne réfléchit pas d'écho.
- B. La face de la tumeur au contact de l'eau produit le même écho que l'interface eau- m .
- C. $L'_2 = L_1$
- D. $L'_2 - L_2 = +0,02 \text{ dB}$
- E. $L'_2 - L_2 = +0,03 \text{ dB}$

Question 11 On prend en compte les absorptions des différents milieux. On s'intéresse aux échos réfléchis sur les interfaces $mm-sm$ et $mp-a$ hors tumeur. Comparer leurs niveaux sonores de retour à la sonde avec absorption (L_2'' et L_4'') et sans absorption (L_2 et L_4). **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $L_2'' - L_2 = -0,8 \text{ dB}$
- B. $L_2'' - L_2 = -0,4 \text{ dB}$
- C. $L_2'' - L_2 = -8 \text{ dB}$
- D. $L_4'' - L_4 = -1,8 \text{ dB}$
- E. $L_4'' - L_4 = -0,9 \text{ dB}$

Echographie du cathéter ventriculo-péritonéal

On vérifie le positionnement et le débit de la dérivation ventriculo-péritonéale par échographie ultrasonore. La sonde émet un faisceau collimaté d'ondes ultrasonores planes qui pénètre dans la peau avec une intensité $I_0 = 10 \text{ W/m}^2$ grâce à un gel d'adaptation d'impédance. Le cathéter passe sous une épaisseur $L = 1 \text{ mm}$ de peau et devant une couche de graisse. On donne les coefficients de réflexion en intensité des interfaces peau-cathéter, $R_{pc} = 0,08$, et cathéter-graisse, $R_{cg} = 0,03$. L'intensité de référence pour les niveaux sonores vaut $I_{ref} = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$. On néglige l'absorption des ultrasons dans les différents matériaux pour les questions 22 et 23.



Question 22 Exprimer la différence de niveau sonore $L_{cg} - L_0$ entre le niveau incident et celui de l'écho reçu par la sonde depuis la face arrière du cathéter en contact avec la graisse. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $L_{cg} - L_0 = -10 \log R_{pc} - 10 \log R_{cg}$
- B. $L_{cg} - L_0 = 10 \log R_{pc} + 10 \log R_{cg}$
- C. $L_{cg} - L_0 = 10 \log(1 - R_{pc}) + 10 \log R_{pc}$
- D. $L_{cg} - L_0 = 20 \log(1 - R_{pc}) + 10 \log R_{cg}$
- E. $L_{cg} - L_0 = 20 \log(1 - R_{cg}) + 10 \log R_{cg}$

Question 23 Calculer la différence de niveau sonore $L_{pc} - L_{cg}$ entre les échos reçus par la sonde depuis les faces avant (côté peau) et arrière (côté graisse) du cathéter. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

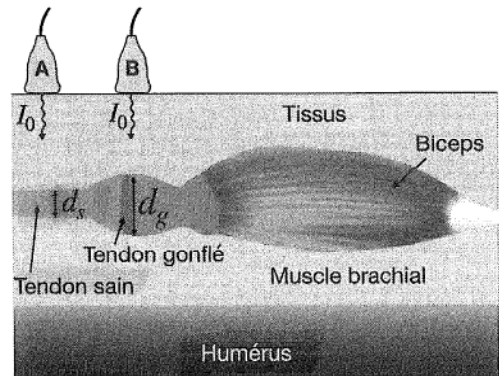
- A. $L_{pc} - L_{cg} \approx -15 \text{ dB}$
- B. $L_{pc} - L_{cg} \approx -5 \text{ dB}$
- C. $L_{pc} - L_{cg} \approx 0,4 \text{ dB}$
- D. $L_{pc} - L_{cg} \approx +5 \text{ dB}$
- E. $L_{pc} - L_{cg} \approx +15 \text{ dB}$

Question 24 A la fréquence utilisée, le coefficient d'absorption des ultrasons dans la peau vaut $A = 9$ dB/cm en niveau sonore. Calculer la longueur caractéristique d'absorption en intensité (l_{abs}) et calculer la différence de niveau sonore $L'_{pc} - L_0$ entre le niveau incident et celui de l'écho reçu par la sonde de la face avant (côté peau) du cathéter, en prenant en compte l'absorption. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $l_{abs} = 0,5$ cm
- B. $l_{abs} = 1,1$ cm
- C. $L'_{pc} - L_0 \approx -1,8$ dB
- D. $L'_{pc} - L_0 \approx -11,9$ dB
- E. $L'_{pc} - L_0 \approx -12,8$ dB

Echographie du tendon distal

Des micro-traumatismes à répétition peuvent engendrer un gonflement inflammatoire du tendon distal du biceps qui peut être diagnostiqué à l'aide d'une échographie. La sonde émet un faisceau collimaté d'ondes ultrasonores planes de fréquence $\nu = 5 \text{ MHz}$. Grâce à un gel d'adaptation d'impédance entre la sonde et le bras, l'intensité I_0 pénètre dans les tissus avec un niveau sonore L_0 . Les ultrasons traversent successivement une épaisseur de tissus d'impédance $Z_{tm} = 1,5 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, de tendon d'impédance $Z_T = 3 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, puis de muscle brachial de même impédance Z_{tm} que les tissus, avant d'atteindre l'humérus d'impédance $Z_h = 6,7 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.



La célérité des ultrasons dans les différents milieux est proche de $c = 1550 \text{ m s}^{-1}$. On considère deux faisceaux d'ondes ultrasonores qui se réfléchissent sur l'humérus. L'un (A) a traversé une partie saine de tendon d'épaisseur d_s et l'écho revient à la source avec une intensité I_A et le niveau sonore L_A . L'autre (B) a traversé la partie saine gonflée du tendon d'épaisseur d_g et l'écho revient à la source avec une intensité I_B et le niveau sonore L_B . On néglige tout d'abord l'absorption des ultrasons dans tous les milieux traversés.

Question 8 Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :

- A. La fréquence des ultrasons est inchangée à l'interface entre les tissus et le tendon.
- B. Les ultrasons ont une longueur d'onde de 0,3 mm dans le muscle brachial.
- C. L'intensité des ultrasons reste constante dans le muscle brachial.
- D. L'intensité des ultrasons décroît exponentiellement dans les tendons.
- E. Le niveau sonore décroît linéairement avec la longueur de tissus traversée.

Question 9 Calculer le coefficient de réflexion R en intensité aux interfaces tissus/tendon et tendon/muscle et les coefficients de réflexion R' et de transmission T' en intensité à l'interface muscle/humérus. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $R = 0,9$
- B. $R = 0,3$
- C. $R = 0,1$
- D. $R' = 0,6$
- E. $T' = 0,6$

Question 10 Exprimer les intensités et niveaux sonores des échos en A et en B. Calculer les différences de niveau sonore $L_A - L_0$ et $L_B - L_0$. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $I_A = I_0 T^2 R'$
- B. $I_B = I_0 T^4 R'$
- C. $I_B = I_0 (1 - T)^4 R'$
- D. $L_B - L_0 = -44$ dB
- E. $L_A - L_0 = -5,8$ dB

Question 11 On prend désormais en compte l'absorption de l'onde ultrasonore dans le tendon, avec une longueur caractéristique d'absorption $L_{abs} = 1$ cm. On néglige toujours l'absorption dans les tissus et le muscle. On note L'_A et L'_B les niveaux sonores des échos avec absorption. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

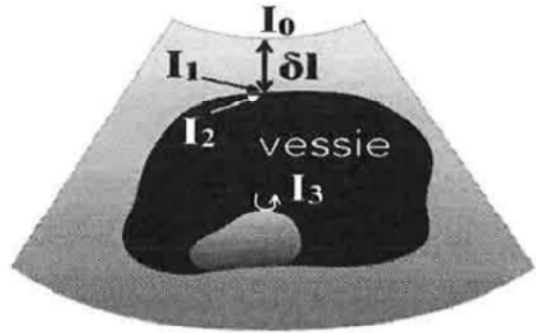
- A. L'intensité sonore décroît exponentiellement dans les tendons.
- B. Le niveau sonore décroît linéairement dans le muscle brachial.
- C. $I'_A < I'_B$
- D. L'absorption est indispensable pour diagnostiquer un gonflement $d_g > d_s$.
- E. L'absorption est inutile pour diagnostiquer un gonflement $d_g > d_s$.

Question 12 On mesure une différence de niveau sonore entre les deux échos $L'_A - L'_B = 20 / \ln(10)$. Calculer la différence d'épaisseur $\Delta d = d_g - d_s$ entre la partie gonflée et la partie saine du tendon. **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $\Delta d = 0,4$ cm
- B. $\Delta d = 0,5$ cm
- C. $\Delta d = 0,9$ cm
- D. $\Delta d = 1$ cm
- E. $\Delta d = 2$ cm

Cancer de la vessie

Le tabagisme augmente le risque de cancer de la vessie. Une échographie permet de mesurer la taille de la tumeur. La sonde émet des ondes ultrasonores planes. On assure une parfaite adaptation d'impédance entre la sonde et la peau. L'intensité I_0 pénètre dans la peau. Les ultrasons traversent une épaisseur $\delta l = 1,5$ cm de tissus de coefficient d'absorption $\alpha = 4$ dB/cm, puis l'urine de la vessie dont on néglige l'absorption. Le coefficient de réflexion en intensité de l'interface tissus-urine vaut $R = 10^{-3}$ pour la paroi de la vessie ainsi que celle de la tumeur. On note I_1 l'intensité qui atteint la paroi de la vessie dans les tissus, I_2 l'intensité qui pénètre dans l'urine, I_3 l'intensité de l'écho juste après sa réflexion sur la tumeur, et I_E l'intensité de l'écho de retour au récepteur de la sonde. On note L_0, L_1, L_2, L_3 et L_E les niveaux sonores associés à ces intensités. On donne l'approximation $\log_{10}(1+\varepsilon) \approx 0,43 \varepsilon$ pour $\varepsilon \ll 1$.



Question n°10

Cocher la ou les propositions vraies :

- A. L'intensité des ultrasons décroît pendant leur propagation dans l'urine
- B. La fréquence des ultrasons est inchangée à la transition tissus-urine
- C. L'intensité ultrasonore décroît linéairement dans les tissus
- D. Le niveau sonore décroît linéairement dans les tissus
- E. L'intensité ultrasonore se réfléchit intégralement sur la tumeur

Question n°11

Cocher la ou les propositions vraies :

- A. $L_1 - L_0 = -4$ dB
- B. $L_1 - L_0 = -6$ dB
- C. $L_1 - L_0 = +4$ dB
- D. $I_2 = RI_1$
- E. $I_2 = (1 - R) I_1$

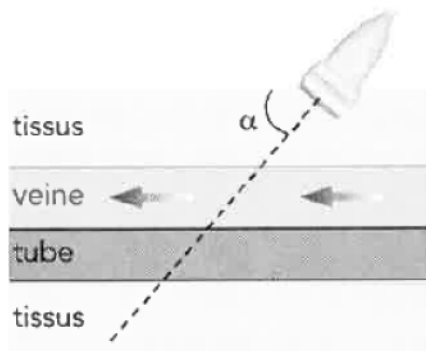
Question n°12

Cocher la proposition vraie :

- A. $L_E - L_0 \approx 18 \text{ dB}$
- B. $L_E - L_0 \approx -12 \text{ dB}$
- C. $L_E - L_0 \approx -30 \text{ dB}$
- D. $L_E - L_0 \approx -42 \text{ dB}$
- E. $L_E - L_0 \approx -72 \text{ dB}$

Echographie Doppler de la veine sous-clavière

On vérifie par échographie le débit de la veine sous-clavière après la pose du stimulateur et de son tube d'électrodes. Le patient est allongé. La veine et le tube sont horizontaux et parallèles à la peau selon le schéma ci-dessous. La sonde ultra-sonore envoie un faisceau d'ondes planes, de fréquence f_0 , avec un niveau sonore L_0 , sous un angle d'incidence α par rapport à la surface de la peau. Celle-ci est recouverte d'un gel d'adaptation d'impédance pour transmettre intégralement les ultra-sons. On note R_{TV} et R_{ST} les coefficients de réflexion en intensité des ultra-sons aux interfaces tissus-veine et sang-tube. Les tissus et le sang ont un coefficient d'absorption des ultra-sons compris entre $0,2$ et $2 \text{ dB cm}^{-1} \text{ MHz}^{-1}$. On note c la vitesse du son dans les différents milieux. Elle est indépendante de la fréquence des ondes.



On donne $\cos(30^\circ) = (\sqrt{3})/2$, $\sin(30^\circ) = 1/2$, $\cos(\pi - \alpha) = -\cos(\alpha)$ et $(1 + \varepsilon)^a = 1 + a\varepsilon$ si $\varepsilon \ll 1$.

Question n°3

Pour localiser la veine, le médecin oriente la sonde perpendiculairement ($\alpha = 90^\circ$) et fait une première image à une fréquence assez basse pour négliger l'absorption dans les tissus et le sang. Exprimer le niveau sonore L de l'écho qui se réfléchit sur la face du tube la plus proche de la sonde.

(Indiquer la proposition exacte)

- A. $L = L_0 + 10 \log R_{TV}$
- B. $L = L_0 + 10 \log R_{TV} + 10 \log R_{ST}$
- C. $L = L_0 + 10 \log (1 - R_{TV}) + 10 \log R_{ST}$
- D. $L = L_0 + 20 \log (1 - R_{TV}) - 10 \log R_{ST}$
- E. $L = L_0 + 20 \log (1 - R_{TV}) + 10 \log R_{ST}$

Question n°4

Le médecin augmente la fréquence pour obtenir une image plus précise. On s'intéresse au niveau sonore L' du même écho que précédemment.

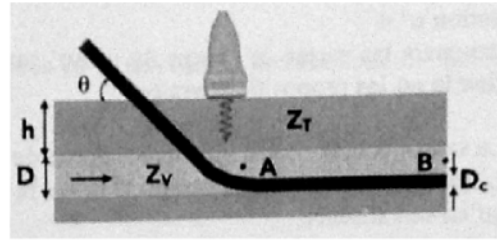
(Indiquer **la ou les** propositions exactes)

- A. $L' = L$
- B. $L' < L$ à cause de l'absorption plus forte.
- C. $L' < L$ car les impédances acoustiques des milieux traversés ont changé.
- D. L' décroît linéairement avec la profondeur de l'électrode sous la peau.
- E. L' décroît exponentiellement avec la profondeur de l'électrode sous la peau.

2016

Pose d'un cathéter veineux central (PICC-line)

On pose un cathéter veineux sous contrôle échographique dans la veine basilique du bras d'un patient. Elle est située à une profondeur $h = 1$ cm sous la peau. Le cathéter remonte la veine basilique sur une longueur $L_{AB} \approx 20$ cm horizontale (le schéma n'est pas à l'échelle). Le diamètre $D = 3$ mm de la veine reste constant sur toute la longueur.



La sonde émet des ondes ultrasonores planes avec une intensité sonore I_0 et un niveau sonore L_0 . On utilise un gel d'adaptation d'impédance entre la peau et la sonde. La peau et les tissus traversés ont une impédance acoustique Z_T et le sang veineux a une impédance Z_V . On donne la valeur $R_{TV} = 10^{-3}$ du coefficient de réflexion en intensité à l'interface entre les tissus et le sang veineux. Le coefficient d'absorption des ondes dans les tissus vaut $\alpha = 5$ dB/cm et on néglige les effets d'absorption dans le sang.

Question n° 1

Exprimer le niveau sonore L_1 qui atteint la veine. Cocher **la** proposition vraie:

- A. $L_1 = L_0$
- B. $L_1 = I_0 / (4 \pi h^2)$
- C. $L_1 = L_0 - \alpha h / \sin \theta$
- D. $L_1 = L_0 - \alpha h$
- E. $L_1 = I_0 - \alpha h$

Question n° 2

On note les intensités I et les niveaux sonores L avec un indice 1 pour l'arrivée du signal sur la face supérieure de la veine et un indice 2 pour l'écho qui en repart. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $I_2 = R_{TV} I_1$
- B. $I_2 = (1 - R_{TV}) I_1$
- C. $R_{TV} = (Z_T - Z_V) / (Z_T + Z_V)$
- D. $L_2 - L_1 = + 30$ dB
- E. $L_2 - L_1 = - 30$ dB

Question n° 3

On note les intensités I_3 et I_4 des échos qui reviennent à la sonde après réflexion respectivement sur les faces supérieure et inférieure de la veine. Cocher **la ou les** propositions vraies:

- A. $I_3/I_0 = 10^{-2}$
- B. $I_3/I_0 = 10^{-3}$
- C. $I_3/I_0 = 10^{-4}$
- D. $I_4 \approx I_3$
- E. $I_4 \ll I_3$

Conversations en extérieur

A l'extérieur, les astronautes portent un casque pressurisé avec de l'air de caractéristiques (pression p_T , masse volumique ρ_T et composition) semblables aux conditions terrestres. L'air martien (essentiellement CO_2) a une pression $p_M = 0,006 p_T$ et une masse volumique $\rho_M = 0,02 \rho_T$. Le rapport des indices adiabatiques de l'air martien et de l'air terrestre vaut $\gamma_M/\gamma_T \approx 1$. On s'intéresse à la transmission du son d'un appel d'un astronaute à l'un de ses proches coéquipiers

3. Question

Calculer le rapport des vitesses c_M/c_T du son dans l'air martien et du casque. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $c_M / c_T \approx 0,01$
- B. $c_M / c_T \approx 0,3$
- C. $c_M / c_T \approx 0,5$
- D. un son émis dans le casque est plus grave au passage dans l'air martien
- E. un son émis dans le casque est inchangé au passage dans l'air martien

4. Question

Calculer le rapport Z_M/Z_T des impédances acoustiques de l'air martien et de l'air de type terrestre du casque. Exprimer, en faisant les approximations nécessaires, le coefficient de transmission, T_{TM} , des intensités sonores si on mettait l'air du casque en interface avec l'air martien. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $Z_M / Z_T \approx 0,01$
- B. $Z_M / Z_T \approx 0,006$
- C. $T_{TM} \approx 4 Z_M / Z_T$
- D. $T_{TM} \approx 1$
- E. $T_{TM} \approx Z_T / (2Z_M)$

5. Question

L'astronaute appelle son coéquipier à un niveau sonore $L_1 = 80$ dB. Tous deux portent un casque. Pour simplifier, on néglige l'absorption et le coefficient de réflexion des ondes sonores par le matériau du casque et on néglige les effets de distance entre les deux astronautes proches. Calculer le niveau sonore L_2 perçu par le coéquipier. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $L_2 = L_1 + 20 \log T_{TM}$
- B. $L_2 = L_1 + 10 \log T_{TM}$
- C. $L_2 = L_1 - 20 \log T_{TM}$
- D. $L_2 = 52$ dB
- E. $L_2 = 66$ dB

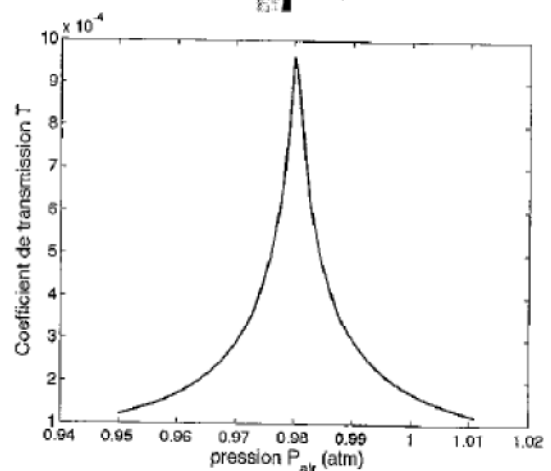
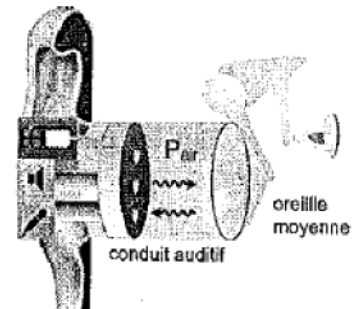
Urgence dans la station spatiale

Pour la mesure de tympanométrie, les astronautes envoient à l'entrée du conduit auditif un bref son de fréquence $f = 230$ Hz et d'intensité connue. Le conduit est toujours considéré comme cylindrique et à paroi latérale réfléchissante. Un microphone, également situé à l'entrée du conduit auditif, recueille l'intensité réfléchie par le tympan. On note $Z_{\text{air}}/Z_T \ll 1$ le rapport de l'impédance acoustique de l'air sur celle du tympan.

9. Exprimer le coefficient R de réflexion en intensité de l'interface air/tympan. **Cocher la ou les propositions vraies :**

- A- Le tympan réfléchit presque intégralement l'intensité sonore incidente.
- B- Le tympan absorbe presque intégralement l'intensité sonore incidente.
- C- $R = 4 (Z_{\text{air}}/Z_T)$
- D- $R = 1 - 4 (Z_{\text{air}}/Z_T)$
- E- $R = 1 - 2 (Z_{\text{air}}/Z_T)$

Les astronautes ferment ensuite l'entrée du conduit auditif avec un bouchon percé d'un fin canal relié à un petit compresseur pour modifier la pression moyenne P_{air} de l'air dans le conduit auditif. L'émission et la prise de son à 230 Hz se font sur la face interne du bouchon, en vis-à-vis du tympan. La membrane élastique tympanique peut vibrer d'autant plus aisément au passage des ondes sonores qu'elle n'est pas prétendue par un déséquilibre de pression moyenne entre le conduit auditif et l'oreille moyenne. Un tympan distendu, plus rigide, présente une impédance Z_T accrue. En prenant des mesures des coefficients de réflexion R et de transmission T en intensité des ondes sonores sur le tympan pour plusieurs valeurs de P_{air} , les astronautes relèvent la courbe ci-contre.

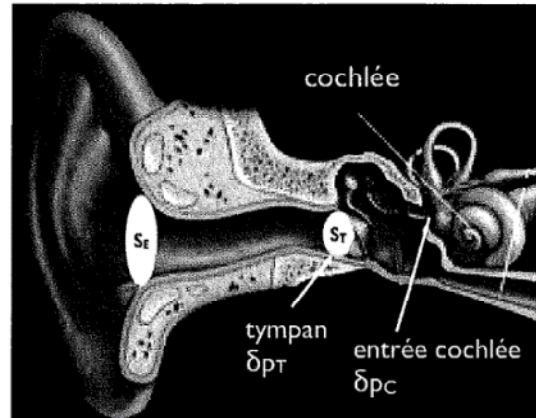


10. Cocher la ou les propositions vraies :

- A- le coefficient de transmission T est maximum quand le tympan est libre (Z_T minimum).
- B- le coefficient de transmission T est minimum quand le tympan est libre (Z_T minimum).
- C- la pression dans l'oreille moyenne est inférieure de 0,02 atm à celle de la station spatiale.
- D- la pression dans l'oreille moyenne est supérieure de 0,02 atm à celle de la station spatiale.
- E- les astronautes concluent que le tympan de cette oreille est normale (libre).

Le supplice de la goutte d'eau

L'impact de chaque goutte génère une onde sonore isotrope, de niveau $L_0 = 50$ dB mesuré à une distance $D_0 = 50$ cm du point d'impact. Le conduit auditif externe présente une section d'entrée $S_E = 400$ mm². On néglige l'effet collecteur du pavillon externe. La surface du tympan vaut $S_T = S_E/2$. L'amplitude de pression sonore δp_C transmise à l'entrée de la cochlée est $\sqrt{10} = 3,2$ fois supérieure à δp_T qui atteint le tympan. On note I_E et I_C les intensités sonore à l'entrée du conduit externe et à l'entrée de la cochlée.



La température vaut $T_{SB} = 27^\circ\text{C}$ dans la salle de bains et $T_{app} = 21^\circ\text{C}$ dans le reste de l'appartement. On ouvre la porte de la salle de bains. On suppose pour simplifier une brusque discontinuité spatiale de température entre l'intérieur et l'extérieur de la salle de bains au niveau de la porte. La masse volumique de l'air ne change pas. On note $1+\alpha$ avec $|\alpha| \ll 1$, le rapport des impédances acoustiques dans (Z_{SB}) et hors (Z_{app}) de la salle de bains.

10. Question

Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $Z_{SB} / Z_{app} > 1$
- B. $Z_{SB} / Z_{app} < 1$
- C. Le son change de fréquence au passage de la porte
- D. Le son change de longueur d'onde au passage de la porte
- E. Le son ne change ni de fréquence, ni de longueur d'onde au passage de la porte

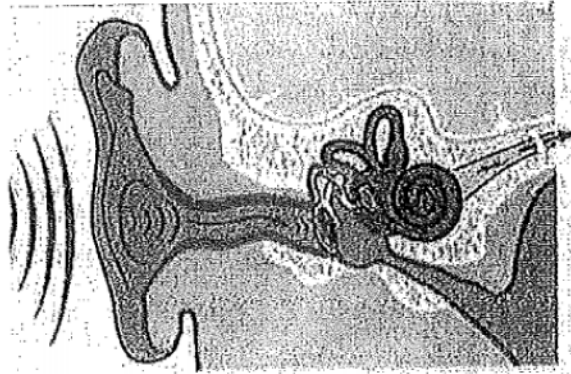
11. Question

On note R et T les coefficients de réflexion et de transmission en intensité des ondes sonores au niveau de la discontinuité. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $R = 1$
- B. $R \ll 1$
- C. $T \ll 1$
- D. $T = 1 + \alpha$
- E. $T = 1 - \alpha^2$

Ecoute sur la plage

Fatigué(e) de la plongée et des descentes en toboggan, vous vous étendez sur la plage et écoutez le bruit des vagues et des conversations aux alentours. Le niveau d'intensité sonore de la mer à l'entrée du pavillon de l'oreille vaut $L_{\text{mer}} = 40 \text{ dB}$. Chaque personne qui parle produit une onde sonore qu'on considérera comme sphérique avec un niveau sonore $L_1(R) = 50 \text{ dB}$ à une distance $R = 1 \text{ m}$ d'elle. Vous comptez 10 personnes autour de vous, chacune à une distance moyenne $D = 10 \text{ m}$. Les ondes sonores atteignent le pavillon de votre oreille externe, de surface $S_p = 6 \text{ cm}^2$. Grâce au conduit auditif, de longueur $L = 2.5 \text{ cm}$, les ondes collectées par le pavillon sont guidées vers le tympan de surface $S_T = S_p/8$ en conservant la puissance sonore. On note Z_{air} l'impédance acoustique des milieux aériens traversés par l'onde sonore (conduit auditif externe et oreille moyenne située entre le tympan et la cochlée et comprenant les osselets). On note Z_{tissus} l'impédance acoustique moyenne des tissus traversés (membrane du tympan, membrane de la fenêtre ovale à l'entrée de la cochlée, et liquide de la cochlée). On rappelle que l'intensité de référence des niveaux sonores vaut $I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$. La vitesse du son dans l'air vaut $c = 340 \text{ m/s}$ en ce beau jour d'été.



25. Question

On mesure un coefficient de transmission en intensité $T = 10^{-3}$ entre l'air et les tissus. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $T = |Z_{\text{air}} - Z_{\text{tissus}}| / (Z_{\text{air}} + Z_{\text{tissus}})$
- B. $T = (Z_{\text{air}} - Z_{\text{tissus}})^2 / (Z_{\text{air}} + Z_{\text{tissus}})^2$
- C. $T = 1 - (Z_{\text{air}} - Z_{\text{tissus}})^2 / (Z_{\text{air}} + Z_{\text{tissus}})^2$
- D. $T = 4 Z_{\text{air}} Z_{\text{tissus}} / (Z_{\text{air}} + Z_{\text{tissus}})^2$
- E. Aucune des expressions ci-dessus n'est vraie.

26. Question

On note I_T l'intensité de l'onde, de niveau sonore L_T , qui atteint le tympan au bout du conduit auditif, dans l'air. Calculer la perte relative d'intensité de l'onde sonore qui pénètre dans le liquide de la cochlée par rapport à I_T . Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $\Delta I / I_T > 0$
- B. $\Delta I / I_T < 0$
- C. $|\Delta I / I_T| = 1 - T^3$
- D. $|\Delta I / I_T| = 1 - 3T$
- E. $|\Delta I / I_T| = (1 - T)^3$

Echographie du foie

On fait une échographie du foie à un patient avec une sonde à ultrasons de fréquence $u = 3$ MHz.

On badigeonne la peau de gel pour adapter parfaitement les impédances entre la sonde et la peau. Avant d'atteindre le foie, les ultrasons traversent successivement les longueurs $L_P = 0.5$ cm de peau, $L_G = 1$ cm de graisse et $L_M = 1.5$ cm de muscle. La vitesse des ultrasons dans ces tissus mous vaut $c \sim 1500$ m/s.

8. Question

Calculer la durée Δt écoulée entre l'émission des ultrasons et le retour d'écho du foie. Cocher la proposition vraie :

- A. $\Delta t = 400 \mu s$
- B. $\Delta t = 200 \mu s$
- C. $\Delta t = 40 \mu s$
- D. $\Delta t = 20 \mu s$
- E. $\Delta t = 4 \mu s$

On note I_0 l'intensité sonore émise par la sonde. On donne les coefficients de réflexion en intensité que l'onde subit à travers les différents milieux : R_{PG} (peau-graisse) = 0.002, R_{GM} (graisse muscle) = 0.04, R_{MF} (muscle-foie) = 0.02. On donne les longueurs d'absorption des ultrasons dans les différents milieux : D_P (peau) = 1 cm, D_G (graisse) = 2 cm, D_M (muscle) = 0.5 cm.

9. Question

Exprimer le rapport I_G / I_0 où I_G note l'intensité qui atteint l'interface peau-graisse. Cocher la proposition vraie :

- A. $I_G / I_0 = e^{+LP/DP}$
- B. $I_G / I_0 = e^{-LP/DP}$
- C. $I_G / I_0 = e^{-DP/LP}$
- D. $I_G / I_0 = e^{+DP/LP}$
- E. $I_G / I_0 = R_{PG}$

10. Question

Exprimer le rapport $I_{G'} / I_G$ où $I_{G'}$ note l'intensité qui pénètre dans la graisse. Cocher la proposition vraie :

- A. $I_{G'} / I_G = (1 - R_{PG}) e^{-LP/DP}$
- B. $I_{G'} / I_G = e^{+LP/DP}$
- C. $I_{G'} / I_G = 1 - R_{PG}$
- D. $I_{G'} / I_G = 1 / R_{PG}$
- E. $I_{G'} / I_G = R_{PG}$

11. Question

Exprimer le rapport I_F / I_0 où I_F note l'intensité qui atteint l'interface muscle-foie. Cocher la proposition vraie :

- A. $I_F / I_0 = R_{PG} \times R_{GM} \times R_{MF} \times e^{-L_P/D_P - L_G/D_G - L_M/D_M}$
- B. $I_F / I_0 = e^{+L_P/D_P + L_G/D_G + L_M/D_M}$
- C. $I_F / I_0 = (1 - R_{PG}) \times (1 - R_{GM}) \times (1 - R_{MF})$
- D. $I_F / I_0 = (1 - R_{PG}) \times (1 - R_{GM}) \times e^{-L_P/D_P - L_G/D_G - L_M/D_M}$
- E. $I_F / I_0 = (1 + R_{PG}) \times (1 + R_{GM}) \times e^{+L_P/D_P + L_G/D_G + L_M/D_M}$

12. Question

Exprimer le rapport I_R / I_F où I_R note l'intensité réfléchie par l'interface muscle-foie. Cocher la proposition vraie :

- A. $I_R / I_F = R_{MF}$
- B. $I_R / I_F = 1 - R_{MF}$
- C. $I_R / I_F = 1 / R_{MF}$
- D. $I_R / I_F = R_{MF} e^{-L_M/D_M}$
- E. $I_R / I_F = R_{MF} e^{+L_M/D_M}$

13. Question

Exprimer le rapport I_E / I_0 où I_E note l'intensité de l'écho qui revient à la sonde. Cocher la proposition vraie :

- A. $I_E / I_0 = R_{PG}^2 \times R_{GM}^2 \times R_{MF}^2 \times e^{-2L_P/D_P - 2L_G/D_G - 2L_M/D_M}$
- B. $I_E / I_0 = e^{+2L_P/D_P + 2L_G/D_G + 2L_M/D_M}$
- C. $I_E / I_0 = (1 - R_{PG})^2 \times (1 - R_{GM})^2 \times (1 - R_{MF})$
- D. $I_E / I_0 = (1 - R_{PG}) \times (1 - R_{GM}) \times e^{-2L_P/D_P - 2L_G/D_G - 2L_M/D_M}$
- E. $I_E / I_0 = (1 - R_{PG})^2 \times (1 - R_{GM})^2 \times R_{MF} \times e^{-2L_P/D_P - 2L_G/D_G - 2L_M/D_M}$

14. Question

Exprimer et calculer la variation de niveau sonore $L_E - L_0$ entre l'écho en retour et l'onde émise par la sonde. On fera les approximations nécessaires sachant que $\log(x) = \ln(x) / \ln(10)$ et que $\ln(1+\varepsilon) \approx \varepsilon$ si $\varepsilon \ll 1$. Cocher **la ou les** propositions vraies :

- A. $L_E - L_0 \approx \frac{-20 \log(R_{PG} + R_{GM} + R_{MF}) - 20(D_P / L_P + D_G / L_G + D_M / L_M)}{\ln 10}$
- B. $L_E - L_0 \approx \frac{-20(R_{PG} + R_{GM}) + 10 \ln R_{MF} - 20(L_P / D_P + L_G / D_G + L_M / D_M)}{\ln 10}$
- C. $L_E - L_0 \approx -500 \text{ dB}$
- D. $L_E - L_0 \approx -50 \text{ dB}$
- E. $L_E - L_0 \approx -5 \text{ dB}$

Annales Classées Supplémentaires

2023 Session 2

Conversation chirurgicale

Avant d'entrer au bloc opératoire, une chirurgienne parle à une infirmière située à une distance $D_0 = 2 \text{ m}$ d'elle dans une pièce où la pression vaut $p_0 = 1 \text{ atm}$ et où la température vaut $T_0 = 20 \text{ °C}$. En parlant, elle émet des ondes sonores isotropes avec une puissance $P = 0,2 \text{ mW}$. On néglige l'absorption des sons par l'air et celui-ci est considéré comme un gaz parfait. On donne l'intensité de référence des niveaux sonores $I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$.

Question 11 La chirurgienne met son masque chirurgical. On donne $T = 1 / \sqrt{2}$ le coefficient de transmission des intensités sonores à l'interface air-tissus du masque. Calculer la différence de niveau sonore $\delta L = L' - L$ qu'entend l'infirmière si la chirurgienne porte son masque (L') ou non (L). **Laquelle des propositions suivantes est exacte :**

- A. $\delta L = -3 \text{ dB}$
- B. $\delta L = -1,5 \text{ dB}$
- C. $\delta L = 0 \text{ dB}$
- D. $\delta L = +1,5 \text{ dB}$
- E. $\delta L = +3 \text{ dB}$

Question 12 Les deux personnes entrent dans le bloc opératoire où la température est la même mais la pression est maintenue à une valeur légèrement supérieure à la pression atmosphérique, $p = p_0 + \delta p$ avec $\delta p = 20 \text{ Pa}$, pour empêcher l'air de la pièce de pénétrer dans l'air filtré du bloc. Calculer la variation relative $\delta \rho / \rho = (\rho - \rho_0) / \rho_0$ de masse volumique de l'air dans le bloc (ρ) et dans la pièce extérieure (ρ_0). **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $\rho > \rho_0$
- B. $\rho = \rho_0$
- C. $\delta \rho / \rho = 0,02 \%$
- D. $\delta \rho / \rho = 0,1 \%$
- E. $\delta \rho / \rho = -0,2 \%$

Question 13 La chirurgienne demande à augmenter la température du bloc de $\delta T = 1^\circ\text{C}$. Elle parle sans masque. Ses cordes vocales gardent la même fréquence et la même amplitude de vibration que précédemment. Calculer la différence relative d'intensité sonore $\delta I/I_0 = (I''_0 - I_0)/I_0$ que l'infirmière entend à une distance D_0 de la chirurgienne dans le bloc réchauffé (I''_0) par rapport à l'intensité qu'elle percevait à la distance D_0 dans la pièce extérieure (I_0). Faire les approximations nécessaires. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $\delta I/I_0 = 0,34 \%$
- B. $\delta I/I_0 = 0,19 \%$
- C. $\delta I/I_0 = -0,15 \%$
- D. $\delta I/I_0 = -2,5 \%$
- E. La valeur de $\delta I/I_0$ dépend du port du masque.

Formules du cours en acoustique

Ces formules étaient indiquées "à ne pas savoir" dans le cours.

- Vitesse du son dans un milieu compressible : $c = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_{p_0}}$ et surpression $\delta p = c^2 \delta \rho$.
- Vitesse du son dans un gaz parfait : $c = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_{p_0}} = \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} = \sqrt{\gamma \frac{kT}{m}}$.
- Puissance transportée par une onde sonore (cas 1D) : $P = \frac{dE_{tot}}{dt} = \frac{1}{2} \omega^2 u_a^2 \rho S c$.
- Intensité transportée : $I = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 u_a^2 = \frac{\delta p_a^2}{2 \rho c}$

Ecoute des baleines

Les baleines bleues émettent des appels sonores sur une plage de fréquence allant de 10 à 100 Hz. Ils sont repérés par un réseau de capteurs (hydrophones) en mer, chacun ayant un seuil de sensibilité $L_s = 35$ dB. Ils sont immergés jusqu'à 450 m de profondeur. A une distance $r_1 = 1$ m d'une baleine, on mesure une intensité I_1 correspondant à un niveau sonore $L_1 = 115$ dB. La baleine émet de manière isotrope et on néglige l'absorption du son par l'eau. On prend $I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ comme intensité de référence de l'échelle sonore. On donne $\rho = 1020 \text{ kg m}^{-3}$ la masse volumique de l'eau de mer, $c = 1500 \text{ m/s}$ la vitesse du son dans l'eau de mer et $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur. On considère l'air comme un gaz parfait d'indice adiabatique γ , où la vitesse du son varie avec la pression p_g et la masse volumique ρ_g du gaz comme $c_g = \sqrt{\gamma p_g / \rho_g}$.

Question 8 On note Z_e l'impédance acoustique de l'eau de mer. On néglige ses variations avec la profondeur. L'étudiant considère que la matière du sac qui enveloppe l'hydrophone transmet intégralement l'intensité sonore mais qu'il doit prendre en compte l'interface eau/air pour décider d'envelopper ou non les hydrophones. On note R et T les coefficients de réflexion et de transmission de l'intensité sonore à cette interface.

Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :

- A. $R \approx 1$
- B. $R \approx -1$
- C. $|R| \ll 1$
- D. $T \approx 1$
- E. $T = 4Z'_a / Z_e$

Question 9 Calculer le seuil de sensibilité L'_s du système sac+hydrophone. Conclure. **Laquelle (lesquelles) des propositions suivantes est (sont) exacte(s) :**

- A. $L'_s = L_s - 10 \log T$
- B. $L'_s = L_s + 10 \log T$
- C. $L'_s \sim 37 \text{ dB}$
- D. Encapsuler les hydrophones dans une coquille d'air n'affecte pas leur sensibilité
- E. Encapsuler les hydrophones dans une coquille d'air réduit fortement leur sensibilité

Valeurs et approximations numériques

Développements limités pouvant éventuellement être utiles si $x \ll 1$:

$$(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$$

$$e^x \approx 1 + x$$

$$\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}$$

Valeurs approchées de logarithmes décimaux, $\log_{10} N$, de logarithmes népériens, $\ln N$, d'exponentielles, e^N , pouvant éventuellement être utiles :

N	$\log_{10} N$	$\ln N$	e^N
0	$-\infty$	$-\infty$	1
1	0	0	2,7
2	0,30	0,69	7,4
3	0,48	1,10	20,1
4	0,60	1,39	54,6
5	0,70	1,61	148
6	0,78	1,79	403
7	0,85	1,95	1 097
8	0,90	2,08	2 981
9	0,95	2,20	8 103
10	1	2,30	$2,203 \times 10^4$
11	1,04	2,40	$5,987 \times 10^4$
12	1,08	2,49	$1,628 \times 10^5$
13	1,11	2,57	$4,424 \times 10^5$
14	1,15	2,64	$1,203 \times 10^6$
15	1,18	2,71	$3,269 \times 10^6$
16	1,20	2,77	$8,886 \times 10^6$
17	1,23	2,83	$2,415 \times 10^7$
18	1,26	2,89	$6,566 \times 10^7$
19	1,28	2,94	$1,785 \times 10^8$
20	1,30	3,00	$4,852 \times 10^8$