EXERCICE 1.

Ordres de grandeur.

On considère une onde sonore harmonique de fréquence $f = 1000Hz$.

Déterminer les amplitudes p_{1m} de la surpression acoustique et V_{1m} de la vitesse, ainsi que l'amplitude ξ_{1m} du déplacement longitudinal des particules de fluides pour un son d'intensité I_{dB} =0 dB (seuil de perception), et pour un son d'intensité I_{dB} = 120 dB (seuil de douleur). On se place à T = 300K, et on donne μ_o = 1,3 kg/m^3. La célérité du son vaut dans ces conditions c = 347 m/s.

Discuter de la pertinence de l'approximation acoustique en comparant ces grandeurs caractéristiques.

EXERCICE 2

Impédances acoustiques.

Pour l'eau, l'air et le verre, on donne les impédances acoustiques respectives Z_{eau} =1,5.10^6 kg/m^2/s ; Z_{air} = 430 kg/m^2/s et Z_{verre} = 1,0.10^7 kg/m^2/s.

Calculer le coefficient de transmission en puissance pour l'interface air-eau.

Quand on met la tête dans l'eau à la piscine, entend-on distinctement les sons extérieurs ?

Calculer le coefficient de transmission en puissance pour l'interface air-verre.

Estimer ce coefficient pour une vitre, et un double vitrage.

EXERCICE 3

Onde acoustique isotherme.

On considère une onde acoustique se propageant dans un fluide assimilé à un gaz parfait de masse molaire M.

L'évolution du fluide est considérée comme isotherme, à la température T_o.

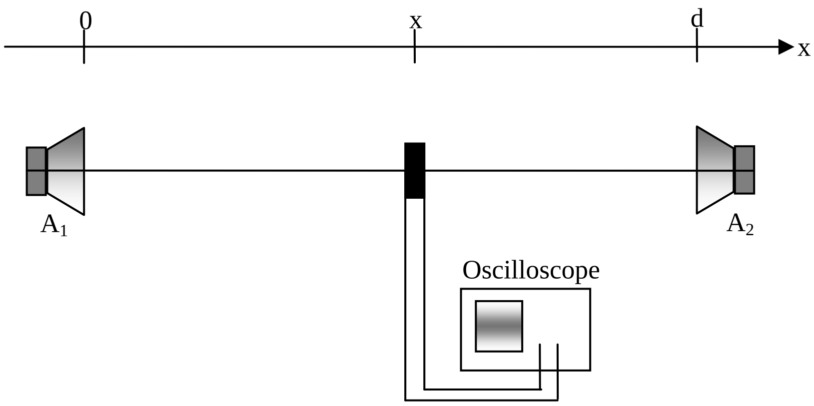
1. Comment modifier les équations de l'acoustique linéaire pour prendre en compte l'évolution isotherme du fluide ?
2. Etablir l'équation d'onde vérifiée par la surpression P_1 et en déduire l'expression de la célérité c_T des ondes.
3. Calculer numériquement c_T dans le cas de l'air, de masse molaire M = 29 g/mol à la température T_o = 300K. On donne R = 8,314 J/K/mol.

EXERCICE 4

Interférences.

On s'intéresse aux interférences des ondes sonores planes produites par deux haut-parleurs identiques, placés face à face et alimentés par la même tension sinusoïdale de fréquence f. Le phénomène de réflexion des ondes sonores sera négligé.

Un microphone M de faibles dimensions, sensible aux surpressions, relié à un oscilloscope permet de visualiser l'état vibratoire des pints situés entre deux sources sonores.



On suppose que la distance d est très supérieure à la longueur d'onde λ des ondes sonores émises.

Les surpressions générées par les membranes A_1 et A_2 sont notées respectivement $P_1(x,t)$ et $P_2(x,t)$.

1. Préciser les conditions d'obtention d'interférences sur l'axe (xx') entre A_1 et A_2.
2. Qu'observe-t-on sur l'écran de l'oscilloscope lorsque l'on déplace le microphone sur l'axe (xx') ?
3. Sachant que $P_1(0,t)=P_2(d,t)=P_o\sin(2\pi ft)$ où P_o est l'amplitude de la vibration, donner les expressions de $P_1(x,t)$ et $P_2(x,t)$.

4. Déterminer P(M,t) définissant l'état vibratoire en un point M du segment A_1A_2.
5. Montrer qu'il existe de familles de points dont l'état vibratoire est particulier. Préciser leur nature.
6. On désigne par e la distance séparant deux points consécutifs ayant le même état vibratoire. Sachant que f=1250 Hz et e=13,8 cm, déterminer la valeur de la célérité du son.

EXERCICE 5

Echographie.

On considère une onde acoustique provenant d'un milieu 1 et atteignant l'interface x=0 avec un milieu 2.

On suppose sue l'interface entre les deux milieux est perpendiculaire à la direction de propagation. Les deux milieux sont supposés s'étendre jusqu'à l'infini.

Z_{m1} et Z_{m2} sont les impédances caractéristiques des deux milieux.

1. Rappeler les conditions aux limites vérifiées par la vitesse u et la surpression p à l'interface entre les deux milieux. En déduire les coefficients de réflexion et de transmission t relatifs aux vitesses. Les exprimer en fonction de Z_{m1} et Z_{m2}.
2. En déduire les coefficients R et T en puissance.
3. Lors d'une échographie, un émetteur ultra sonore, appliqué sur la peau du patient émet une onde qui doit être transmise le mieux possible à l'intérieur du corps. On supposera qu'il s'agit d'une onde plane. Les caractéristiques des matériaux sont les suivantes : Z_{air} = 430 kg/m²/s ;Z_{corps} = 1,5.10⁶ kg/m²/s ; Z_{gel} = 1,4.10⁶ kg/m²/s et $Z_{émetteur}$ = 10⁷ kg/m²/s. Que vaut le coefficient T_{ea} à l'interface émetteur/air ? Que vaut le coefficient à l'interface air/corps ?
4. On utilise maintenant un gel appliqué au préalable sur la peau : même questions mais pour les coefficients émetteur/gel et gel/corps. Quel est l'intérêt d'utiliser du gel ? Evaluer le rapport $\frac{I_c}{I_o}$, I_c étant l'intensité sonore incidente et I_c l'intensité sonore qui pénètre dans le corps.

EXERCICE 6.

Isolation acoustique.

Le plan x=0 coïncide avec un plateau mince (une membrane, une vitre en verre…) de masse surfacique μ.

La région x<0 est occupée par un fluide de paramètres acoustiques ρ_1 et c_1 et la région x >0 est remplie par un fluide de paramètres acoustiques ρ_2 et c_2. Une onde progressive harmonique, décrite par $v_i = v_{oi}e^{j(\omega t - k_i x)}$ arrive de la région 1 sur le plateau. L'amplitude de la vitesse transmise, supposées sans harmonique et de même pulsation, s'écrit $v_{ot} = \underline{t}\,.\,v_{oi}$.

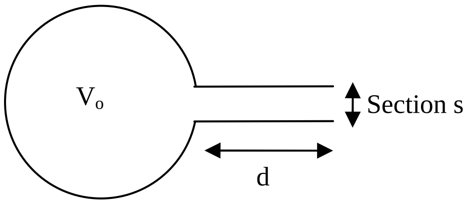
1. Indiquer, en les justifiant, les relations permettant d'établir la relation $\underline{t_v} = \frac{2Z_1}{Z_1+Z_2+j\omega\mu}$. Que représente Z_1 et Z_2.
2. Les milieux de part et d'autre du plateau sont identiques. Calculer le rapport T de l'intensité moyenne transmise sur l'intensité incidente.
3. Tracer l'allure de la courbe $G_{dB} = 20Log(T(\omega))$ en fonction de logω. Préciser la fréquence de coupure et la bande passante à -3dB.
4. Soit a l'épaisseur du matériau, ρ sa masse volumique et soit ρ_o la masse volumique de l'air ; montrer que la longueur d'onde de coupure est $\lambda_c = \frac{\pi a\rho}{\rho_o}$.
5. Le milieu de part et d'autre du plateau est l'air à température ambiante et pression standard. On souhaite un affaiblissement de 50 dB à 300 Hz. Calculer l'épaisseur de la plaque, supposée en béton, de masse volumique ρ = 2300 kg/m³. Quels sont, en dB, les affaiblissements à 100 Hz et à 500 Hz ?
6. Conclure sur l'atténuation du son entre deux logements voisins, pour une vois grave ou pour une voix aiguë ; quels sont les facteurs permettant d'améliorer l'isolation ? Commenter la coexistence du modèle surfacique et du modèle volumique.

EXERCICE 7

Résonateur d'Helmholtz.

Un résonateur est une cavité qui, excitée par le son d'un instrument de musique, permet de renforcer un des harmoniques composant le son.

Le résonateur de Helmholtz, constitué par une cavité sphérique de volume V_o et un tube de longueur d et de section S (on suppose $V_o >> d.S$), contient de l'air de masse volumique ρ_o, à la pression atmosphérique P_o.
Une onde sonore se propageant au voisinage de l'ouverture met en vibration l'air de la cavité en imposant une pression extérieure : $P_e = P_o + p_o cos\omega t$ avec $P_o \gg p_o$.



On fait les hypothèses suivantes :

- La pression dans la cavité est considérée comme uniforme : $P = P_o + p(t)$.
- La vitesse du fluide est pratiquement uniforme dans le tube $v = v(t)$.
- La vitesse du fluide dans le tube est très supérieure à celle du fluide dans la cavité.

1. Quelle est l'équation différentielle vérifiée par la surpression p(t) ?
2. Justifier le nom de résonateur donné à ce dispositif.

<u>EXERCICE 8</u>

Instruments de musique.

Un tuyau conique de sommet imaginaire O se limite `a la portion de cône entre les rayons a et b. Il est siège d'une onde sphérique stationnaire, somme de deux ondes progressives dans les deux sens de même amplitude mais déphasées.

1. Donner l'expression générale de la pression acoustique et de la vitesse acoustique.
2. L'extrémité r = b débouche sur l'atmosphère et se comporte comme un nœud de pression. Préciser les expressions précédentes.
3. L'instrument est une flûte à bec ; l'extrémité r = a est un biseau qui se comporte lui aussi comme un nœud de pression. Quelles sont les fréquences possibles ? Y a-t-il une différence avec la flûte traversière de perce cylindrique ?
4. L'instrument est un hautbois (ou un saxophone) ; l'extrémité r = a est une anche et se comporte comme un nœud de vitesse. Quelles sont les fréquences possibles (résolution graphique avec (b − a) ≈ 3 a et commentaires). Comparer avec une clarinette de perce cylindrique.

<u>EXERCICE 9</u>

Influence de la viscosité.

Le son est décrit dans l'approximation acoustique pas des champs de la forme : $\vec{V} = v_1(x,t)\vec{u}_x$ et $P = p_o + p_1(x,t)$

1. A partie de l'approximation acoustique et en tenant compte de la viscosité du milieu, établir le système d'équations aux dérivées partielles vérifié par $v_1(x,t)$ et $p_1(x,t)$. On introduira la célérité du son c dans le milieu, la viscosité η du milieu ainsi que sa masse volumique μ_o.
2. Montrer que la relation de dispersion des ondes propositionnelles à $\exp\left(j(\omega t - kx)\right)$ s'écrit : $k^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 . \left(1 + j\frac{\omega\eta}{\mu_o c^2}\right)^{-1}$.
3. Calculer l'ordre de grandeur de $\frac{\omega\eta}{\mu_o c^2}$ dans l'air où $\eta = 10^{-5}$ SI, μ_o = 1,3 kg/m^3 et c=340 m/s . En déduire une expression approchée de k' et k'' ; commenter. Faire apparaître une distance caractéristique et l'évaluer. La viscosité peut-elle expliquer que l'on entende moins bien un interlocuteur à 10m qu'à 1m.