ONDES ACOUSTIQUES DANS LES FLUIDES

Exercice 1 : Dans les conditions normales de température et de pression, l'air est caractérisé par une masse volumique à l'équilibre $\rho = 1.21$ kg/m^3 et une valeur de $\gamma = c_p / c_v = 1.402$. Calculer la vitesse de propagation du son dans l'air et son impédance acoustique spécifique dans ces conditions de température et de pression (T=20°C et $P_o = 10^5$ N/m^2).

Exercice 2 : Lorsque la température est égale à 20°C, la masse volumique et le module de compression de l'eau distillée valent $\rho = 998$ kg/m^3 et $\kappa = 2.18\ 10^9$ N/m^2 . Calculer la vitesse de propagation du son dans l'eau et son impédance acoustique spécifique. Comparer aux résultats de l'exercice 1.

Exercice 3 : Soit une onde acoustique plane qui se propage dans l'eau avec une vitesse de 1480 m/s. Elle véhicule une puissance moyenne de 1W uniformément répartie sur une section circulaire de 40 cm de diamètre, normale à la direction de propagation. La fréquence de l'onde est égale à 24 kHz.

a) Calculer l'intensité acoustique; quel est en dB le niveau de l'intensité acoustique relativement à un niveau de référence 10^{-12} W/m^2 qui correspond à un seuil à peine audible?

b) Calculer l'amplitude de la pression acoustique, l'amplitude de la vitesse de particules et l'amplitude du déplacement de particules.

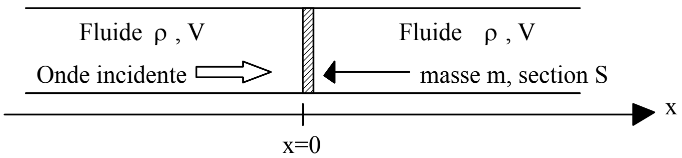
c) Comparer aux résultats que l'on aurait obtenus si cette onde se propageait dans l'air.

Exercice 4 : Une onde acoustique plane se propageant dans l'eau arrive en incidence normale à la surface de sépraration avec l'air. Calculer les valeurs numériques des rapports suivants : P_R/P_i , P_T/P_i , U_R/U_i , U_T/U_i , $\dot{U}_R/\dot{U}_i$, $\dot{U}_T/\dot{U}_i$, I_R/I_i , I_T/I_i où U, $\dot{U}$, P et I représentent respectivement le déplacement des particules, la vitesse des particules, la pression acoustique et l'intensité acoustique. Les indices i, R et T se rapportent respectivement à l'onde incidente, l'onde réfléchie et l'onde transmise.

Exercice 5 : Répondre aux mêmes questions que pour l'exercice précédent en supposant que l'onde acoustique se propage initialement dans l'air et se transmet dans l'eau. Comparer aux résultats de l'exercice précédent.

Exercice 6 : On définit l'impédance acoustique d'une surface réfléchissante par : $Z_S = p_S / \dot{u}_S$ où p_S est la pression sur la surface et $\dot{u}_S$ la vitesse de particules perpendiculaire à cette surface. Dans les conditions normales de température et de pression, on considère une onde acoustique plane de fréquence 200 Hz qui se propage dans l'air avec une vitesse de 340 m/s et qui arrive en incidence normale sur un mur dont l'impédance acoustique est égale à :
Z_S = 1000-j 1300 rayleighs (M.K.S.A).
1°) Calculer le coefficient de reflexion pour la pression acoustique.
2°) Calculer le taux d'ondes stationnaires.
3°) A quelle distance du mur se trouvent le premier maximum et le premier minimum de vibration?

Exercice 7 : La figure représente un tuyau cylindique de longueur infinie et de section S qui contient un fluide de masse volumique ρ . Au point x=0, se trouve une masse m constituée d'un cylindre rigide, de section S et d'épaisseur négligeable; cette masse peut coulisser sans frottement dans le tuyau. Une onde acoustique de pulsation ω et d'amplitude de pression P_{oi} arrive de $-\infty$ et se propage dans le sens des x croissants avec une vitesse de propagation V.



1°) Donner l'expression de la pression $p_1(x,t)$ pour la partie des x<0 et $p_2(x,t)$ pour la partie des x>0, en fonction des données du problème et des coefficients **r** et **t** qui représentent respectivement le coefficient de reflexion et de transmission pour la pression au point x=0. En déduire l'expression de la vitesse de particules $\dot{u}_1(x,t)$ et $\dot{u}_2(x,t)$ pour chacune des deux régions x<0 et x>0.

2°) Montrer que la force résultante agissant sur la masse m est :

$$F_x(0,t) = S\left[p_1(0,t) - p_2(0,t)\right]$$

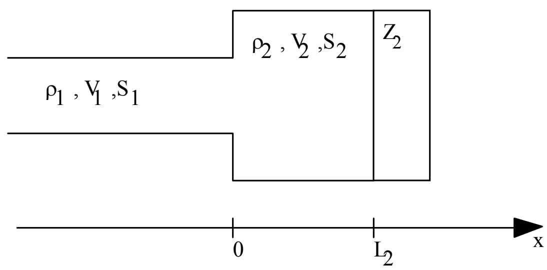
3°) Ecrire la continuité de la vitesse de particules en x=0 et en déduire la première relation qui relie **r** et **t.** A l'aide de la relation fondamentale de la dynamique appliquée à la masse m, établir la seconde relation qui relie **r** et **t**. Montrer alors que le coefficient de reflexion **r**, en x=0, vaut :

$$\mathbf{r} = \frac{jm\omega}{\alpha + jm\omega}$$

Exprimer α en fonction des données du problème.

4°) Montrer que le module de **r** est toujours inférieur à 1. Quelles sont les valeurs limites de **r** lorsque $m \to 0$ et $m \to \infty$? Commenter le résultat.

Exercice 8 : Une onde acoustique plane sinusoïdale d'amplitude de pression P se propage, à la vitesse V_1, de la gauche vers la droite dans un tuyau de longueur infinie et de section S_1 et contenant un gaz parfait de masse volumique ρ_1. A l'extrêmité de ce tuyau, en x = 0, est relié un second tuyau, de même axe et de section S_2. de longueur L_2 et contenant un gaz parfait de masse volumique ρ_2. Ce deuxième tuyau est terminé en x=L_2 par une impédance égale à son impédance caractéristique Z_2.

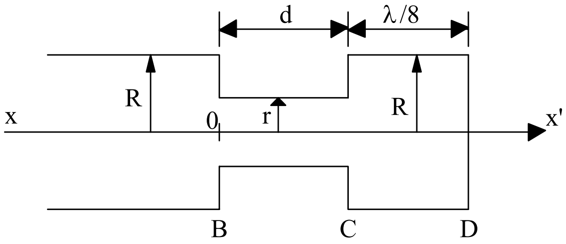


1°) Donner l'expression des coefficients de reflexion (r), et de transmission (t)en pression au passage d'un tuyau à l'autre.

2°) Dans le cas où $\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$ et $S_1 \neq S_2$, étudier le comportement des coefficients de reflexion et de transmission pour $S_1 << S_2$ et $S_1 >> S_2$.

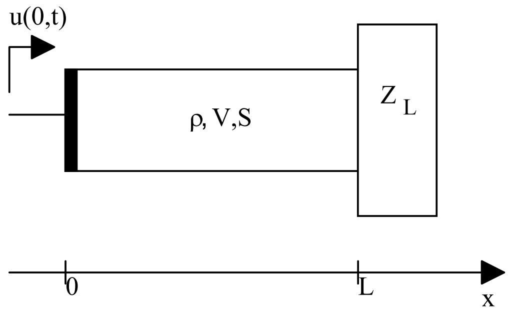
3) On considère le cas où les deux tuyaux ont la même section et contiennent le même gaz supposé parfait pour lequel $\gamma = c_p / c_v = 1.4$. Sachant que la température dans le premier tuyau est égale à T = 300°K et que dans le second tuyau elle est égale à T+ΔT, déterminer ΔT si r=0.01.

Exercice 9 : Une onde acoustique plane sinusoïdale de pulsation ω se propage à la vitesse V, de la gauche vers la droite, dans un tuyau de longueur infinie, de section circulaire de rayon R et qui contient un fluide de masse volumique ρ. A l'extrêmité de ce tuyau, en x=0, sont reliés deux tuyaux BC et CD de rayon respectif r et R et de longueur respective BC=d et CD=λ/8 où λ est la longueur d'onde. Le tuyau CD est fermé en D par une paroi rigide. On donne r/R=3/4.



Calculer l'impédance acoustique du tuyau en x=0, puis trouver d en fonction de λ pour que cette impédance soit nulle. Quelle est, dans ces conditions, la valeur du coefficient de reflexion pour la pression en x = 0 ?

Exercice 10 : Un tuyau cylindrique de section S constante est rempli d'un gaz, de masse volumique ρ, où les ondes acoustiques peuvent se propager à la vitesse V. A l'une des extrêmités du tuyau, en x=0, on place un piston plan qui est animé, suivant l'axe Ox du tuyau, d'un mouvement sinusoïdal d'amplitude U_0 et de pulsation ω. A la position x=L, le tuyau est terminé par une impédance acoustique Z_L.



A. Etude du déplacement de particules :

1°) En un point x, le déplacement de particules u(x,t) dû à la propagation de l'onde acoustique est donné par :

$$u(x,t)=Ae^{j(\omega t-kx)}+Be^{j(\omega t+kx)}$$

En tenant compte des conditions aux limites, calculer A et B en fonction de Z_L, Z_0, k et U_0 où k=ω/V et $Z_0=\rho V/S$.

2°) Dans le cas particulier où le tuyau est fermé par une paroi rigide en x=L :

a) Montrer que le déplacement peut se mettre sous la forme : $u(x,t) = U(x)\, e^{j(\omega t+\phi)}$ où U(x) est réel. Donner l'expression de l'amplitude U(x) et de la phase ϕ de l'onde résultante.

b) En déduire les positions et les valeurs des maxima et des minima de l'amplitude U(x) en valeur absolue.

c) Pour quelles fréquences obtient-on un phénomène de résonance? Quelle est alors l'amplitude du déplacement au niveau des ventres de déplacement.

d) Dans le cas où L=13λ/12, λ étant la longueur d'onde, tracer sur un graphe les variations de $|U(x)|$ en fonction de x. Echelle : 1cm = λ/12. Quel est le nombre de maxima (ventres) et de minimas (noeuds)?

B. Etude de la pression acoustique :

Répondre aux mêmes questions qu'en A.2°) pour étudier les variations de la pression acoustique en fonction de x .