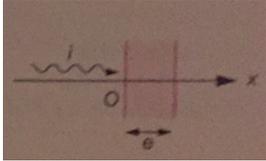


TD 1 – Réflexion des ondes sonores

1. Transmission d'une onde sonore au travers d'un mur



Un mur d'épaisseur e et de masse volumique μ_m est atteint par une onde sonore incidente se propageant dans l'air de masse volumique μ_0 et de célérité c (fig. ci-contre). L'impédance acoustique de l'air est notée Z .

- Donner les formes des ondes sonores de pression et de vitesse incidentes qui sont des ondes planes progressives monochromatiques, de pulsation ω . On note A l'amplitude de la surpression et on utilisera la notation complexe.
- Faire de même pour l'onde réfléchie dans l'air et l'onde transmise dans l'air après le mur. On note \underline{r} et \underline{t} les coefficients de réflexion et transmission en pression.
- On supposera que le mur vibre en bloc. Quelle grandeur de l'onde dans le mur, comparée à son épaisseur, permet de considérer que l'onde ne s'y « propage quasiment pas » pour valider cette hypothèse. Confirmer cette approximation en explicitant le déphasage de l'onde en $x = e$.
- Quelle relation entre les vitesses particulières avant et après le mur en déduisez-vous ? L'exprimer pour établir une première relation entre \underline{r} et \underline{t} .
- Appliquer la relation fondamentale de la dynamique au mur pour en déduire une nouvelle relation entre \underline{r} et \underline{t} .
- Déterminer l'expression de \underline{t} . Comment se comporte le mur en termes de filtrage des fréquences sonores incidentes ? Donner l'expression d'une fréquence caractéristique du phénomène.
- Calculer le coefficient de transmission en puissance T . Commenter son expression en fonction de la fréquence. Comment doit-on s'y prendre pour que le mur atténue efficacement les ondes sonores ?
- Application numérique pour $f = 100$ Hz, $Z = 410$ kg.m⁻².s⁻¹, $e = 15$ cm, $\mu_m = 2000$ kg.m⁻³ (béton). Calculer la fréquence caractéristique. Pour un son extérieur de niveau 80 dB, quel est le niveau sonore après le mur ?

2. Adaptation d'impédance

Lors d'une échographie, l'émetteur émet une onde de pulsation ω qui arrive à une interface air (a)/peau (p), avec une fréquence de 10 MHz. Les impédances sont respectivement $Z_a = 410$ kg.m⁻².s⁻¹ et $Z_p = 1,6 \cdot 10^6$ kg.m⁻².s⁻¹.

a) Sans présence de gel (g) déposé à la surface de la peau, quelle proportion d'énergie est transmise. On rappelle : $T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1+Z_2)^2}$

Commenter.

b) On intercale une couche de gel, d'épaisseur e (inférieure au mm) et d'impédance Z_g , fig ci-contre.

Le facteur de réflexion air/gel étant élevé, il se produit au sein de la couche d'épaisseur e une réflexion d'ondes multiples, qui parcourent cette couche en aller/retour.

Donner les formes générales des ondes de pression présentes dans cette situation. On notera A_i l'amplitude en pression de l'onde incidente, r_1 , t_1 les coefficients de réflexion et transmission en surpression pour la première interface air/gel, et r_2 , t_2 les coefficients de réflexion et transmission en surpression pour la deuxième interface gel/peau.

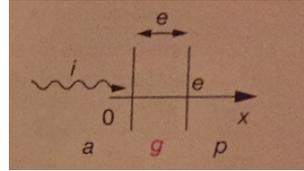
c) Afin de transmettre le maximum d'énergie quelle amplitude doit-on annuler ? Les relations de passage, aux deux interfaces successives, donnent un système d'équations à résoudre pour définir les différents coefficients de réflexion et de transmission sur chaque interface. Expliciter, par exemple, la relation de passage qui concerne la surpression en $x = e$.

d) On admettra que la relation obtenue pour transmettre le maximum d'énergie, et obtenir $r_1 = 0$, est :

$$\frac{Z_g - Z_a}{Z_g + Z_a} = \frac{Z_g - Z_p}{Z_g + Z_p} e^{2jk_g e}$$

Quelle condition concerne l'épaisseur de gel optimale ?

Quelle impédance doit-on choisir pour Z_g ?



Pour aller plus loin

3. Ondes sonores : impédances géométriques -> influence de la surface d'émission/propagation

1. Conduite de section variable

Un tuyau de section variable contient de l'air. On suppose que la section passe rapidement de S_1 à S_2 , situation que l'on modélise par le profil en noir de la figure 28. Une onde plane progressive monochromatique provient du côté gauche :

$$p_{11}(x, t) = A \cos(\omega t - kx).$$

En $x = 0$ sont engendrées des ondes réfléchie et transmise. La célérité de l'onde sonore est notée c , la masse volumique de l'air μ_0 et son impédance acoustique Z .

- Écrire les formes des ondes de surpression réfléchie et transmise, ainsi que celles des ondes de vitesse. On fera intervenir r et t , coefficients de réflexion et transmission en amplitude pour la surpression.
- Écrire les relations de passage à l'interface. On considérera notamment la conservation du débit volumique et la continuité de la pression en $x = 0$.
- En déduire les coefficients r et t .
- Exprimer les intensités sonores incidente, réfléchie et transmise. Quelles sont les puissances moyennes incidente P_i , réfléchie P_r et transmise P_t traversant une section du tuyau ?
- En déduire les coefficients de réflexion R et transmission T en puissance. Quelle relation vérifient-ils ?
- Commenter tous ces résultats.

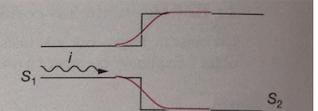


Figure 28