

ONDES SONORES DANS LES FLUIDES



I. Approche qualitative

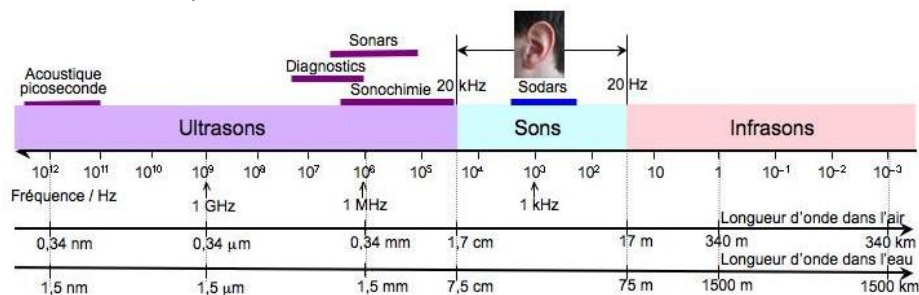
A. Quelques résultats expérimentaux

- Faible atténuation
- Faible dispersion
- Quelques valeurs dans différents milieux :

Phase du milieu	Nature du milieu	Vitesse du son (m/s)
Gazeux	Dioxyde de Carbone (CO ₂)	260
Gazeux	Oxygène	320
Gazeux	Air	330
Gazeux	Hélium	930
Gazeux	Hydrogène	1270
Liquide	Mercur	1450
Liquide	Eau douce	1460
Liquide	Eau de mer	1520
Solide	Acier	5000
Solide	Verre	5500
Solide	Granite	5950

Fortement fonction de la température dans les gaz (cf.infra)

- Gammes de fréquence



B. Mécanisme de la propagation

- Couplage surpression – vitesse de déplacement
- Influence de l’inertie et de la compressibilité : expression de c par analyse dimensionnelle

II. Equation d’onde

Notion de particule de fluide

Notations : $P(M, t) = P_0 + p(M, t)$; $\vec{v}(M, t)$; $\rho(M, t) = \rho_0 + \mu(M, t)$

A. Relation fondamentale – Approximation acoustique

- $v \ll c$ et $a \ll \lambda$
- $\rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = - \overrightarrow{grad}(p(M,t))$

B. Equation de conservation de la masse

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mu) = -\rho_0 \operatorname{div}(\vec{v})$$

C. Hypothèse adiabatique

$$\mu = \rho_0 \chi_s p(M, t)$$

D. Equation de D'Alembert

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0; c = \sqrt{\frac{1}{\rho_0 \chi_s}}$$

$$\text{Pour un gaz supposé parfait : } c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

III. Solutions de l'équation

A. Ondes planes progressives harmoniques

- $p(x, t) = p_0 \exp(j(\omega t - kx))$; $v(x, t) = v_0 \exp(j(\omega t - kx)) \vec{e}_x$
- Impédance acoustique : $Z_c = \rho_0 c$

B. Ondes sphériques

C. Ondes stationnaires

- Expérience du tube de Kundt :
https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=video&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi3id6Bu6LLAhVBnRoKXVlvCqIQtwlljAB&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DqUiB_zd9M0k&usg=AFQjCNEXNhQ9Vx0Xhgz9lgz9qVjK82wyQ
- Une toute récente technique de lévitation : <https://www.youtube.com/watch?v=odJxJRAXdFU> et <https://www.youtube.com/watch?v=NLgD3EtxwdY>

IV. Etude énergétique

A. Puissance échangée à travers une surface

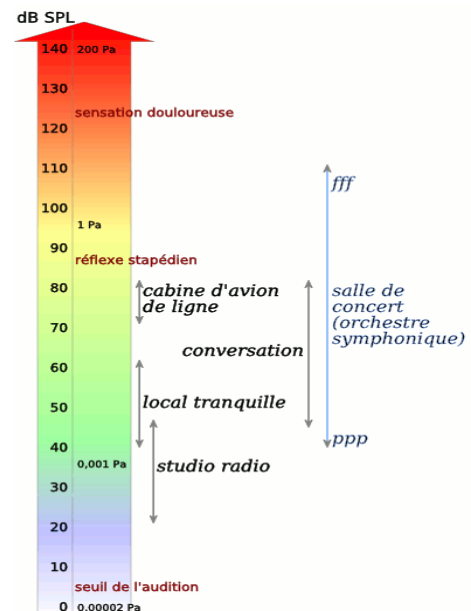
Le vecteur densité de courant d'énergie sonore est défini par : $\vec{R}_S = p(M, t) \vec{v}(M, t)$

B. Bilan d'énergie

- $\operatorname{div}(\vec{R}_S) + \frac{\partial e}{\partial t} = 0$, où e est la densité volumique d'énergie sonore $e = \frac{1}{2} \rho_0 v^2 + \frac{1}{2} \chi_s p^2$
- Application à l'OPPM

C. Intensité acoustique – Niveau sonore

- $I_S = \langle R_S \rangle$
- $L = 10 \log\left(\frac{I_S}{I_{S,0}}\right)$; $I_{S,0}$ est le seuil d'audition
minimum pour l'oreille humaine à
1 kHz : $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.



V. Réflexion et réfraction d'une OPPH à l'interface entre deux fluides

A. Conditions aux limites

- Continuité de la vitesse par non-miscibilité à l'interface
- Continuité de la pression à l'interface

B. Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude

- Forme des ondes de pression incidente, réfléchi et transmis
- Forme des ondes de vitesse incidente, réfléchi et transmis en fonction des ondes de pression
- Expression des conditions aux limites

$$r_v = \frac{Z_{C,1} - Z_{C,2}}{Z_{C,1} + Z_{C,2}}; t_v = \frac{2Z_{C,1}}{Z_{C,1} + Z_{C,2}} \quad r_p = -\frac{Z_{C,1} - Z_{C,2}}{Z_{C,1} + Z_{C,2}}; t_p = \frac{2Z_{C,2}}{Z_{C,1} + Z_{C,2}}$$

C. Coefficients de réflexion et de transmission en énergie

- Expression des normes des vecteurs de Poynting sonores moyens incident, réfléchi et transmis.

$$R = \left(\frac{Z_{C,1} - Z_{C,2}}{Z_{C,1} + Z_{C,2}}\right)^2 \text{ et } T = \frac{4Z_{C,1}Z_{C,2}}{(Z_{C,1} + Z_{C,2})^2}$$

- La conservation de l'énergie impose $R + T = 1$
- Adaptation d'impédance si $R = 0$
- Importance de l'adaptation d'impédance pour l'échographie ultrasonore



Légende : 1. Sondes 2. Ecran 3. Flacon de gel 4. et 5. Consoles de commande et d'acquisition

- Musique : formes des instruments et pavillons acoustiques