

OD2 – Ondes acoustiques dans les fluides

I – Equation de propagation

- I-1) Fréquences des ondes sonores
- I-2) Approximation acoustique
- I-3) Equations de couplage
 - a) Equation d'Euler
 - b) Equation de conservation de la masse
 - c) Transformation thermodynamique
 - d) Equations linéarisées
- I-4) Equation de propagation
 - a) Equation unidimensionnelle
 - b) Equation tridimensionnelle
- I-5) Célérité du son
 - a) Dans un gaz
 - b) Dans un liquide

II – Ondes planes progressives harmoniques (OPPH)

- II-1) Ondes planes
- II-2) OPPH
 - a) Intérêt
 - b) Notation complexe
 - c) Impédance acoustique
 - d) Retour sur l'approximation acoustique
- II-3) Solutions en ondes planes

III – Aspects énergétiques

- III-1) Puissance transportée par une onde sonore
- III-2) Énergies volumiques
- III-3) Bilan énergétique local
- III-4) Bilan d'énergie intégral
- III-5) Intensité sonore
 - a) Définitions
 - b) Seuil d'audibilité
 - c) Ordres de grandeur

IV – Ondes sphériques

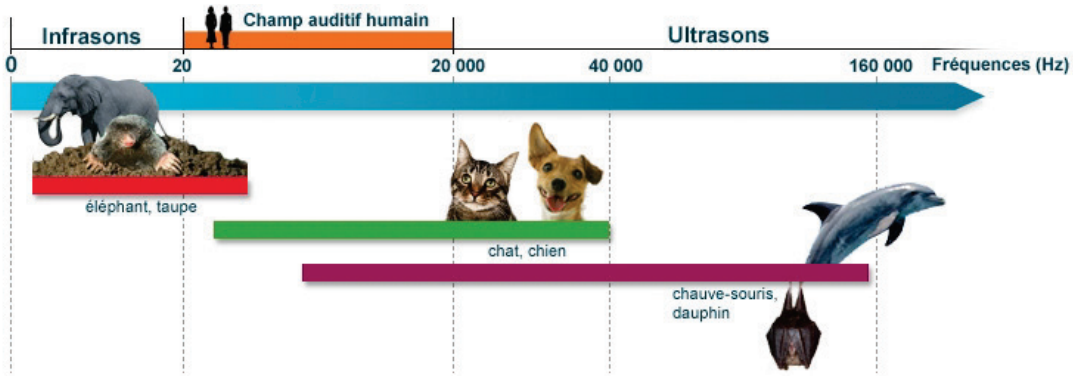
- IV-1) Ondes sphériques harmonique
- IV-2) Solutions générales

V - Effet Doppler longitudinal

- V-1) Effet Doppler
- V-2) Détection synchrone (TP)

I – Equation de propagation

I-1) Fréquences des ondes sonores



I-2) Approximation acoustique



Air au repos : Les différentes couches d'air sont

En présence d'une perturbation : les différentes couches d'air sont comprimées puis détendues.

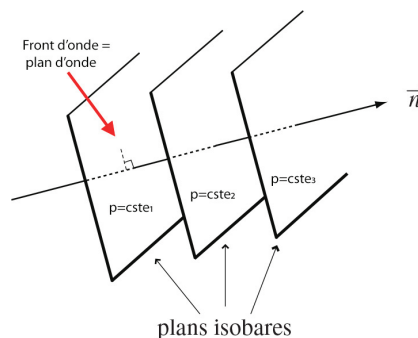
Grandeur	Unité	Fluide au repos	En présence d'une onde sonore
Champ des vitesses	ms^{-1}	$\vec{v}(M, t) = \vec{0}$	$\vec{v}(M, t) = \vec{v}_1(M, t)$
Champ de pression	Pa	$p(M, t) = p_0$	$p(M, t) = p_0 + p_1(M, t)$
Masse volumique	$kg m^{-3}$	$\mu(M, t) = \mu_0$	$\mu(M, t) = \mu_0 + \mu_1(M, t)$
Déplacement des particules	m	$\xi(M, t) = 0$	$\xi(M, t) = \xi_1(M, t)$

I-5-c) Dans un liquide

Etat	Gaz à 20°C			Liquide		Solide ($c = \sqrt{\frac{E}{\mu}}$)
Matière	Air	Dioxygène	Dihydrogène	Eau	Mercure	Fer
c (en ms^{-1})	343	317	1270	1480	1450	4900

II – Ondes planes progressives harmoniques (OPPH)

II-1) Ondes planes

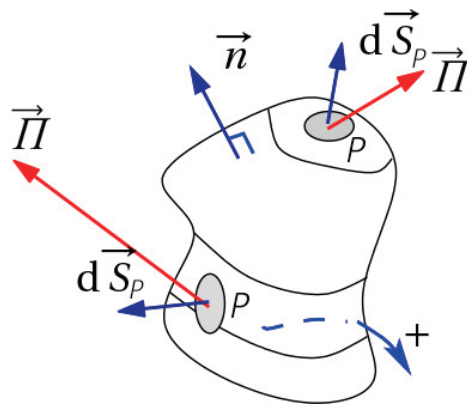


II-2-b) Notation complexe

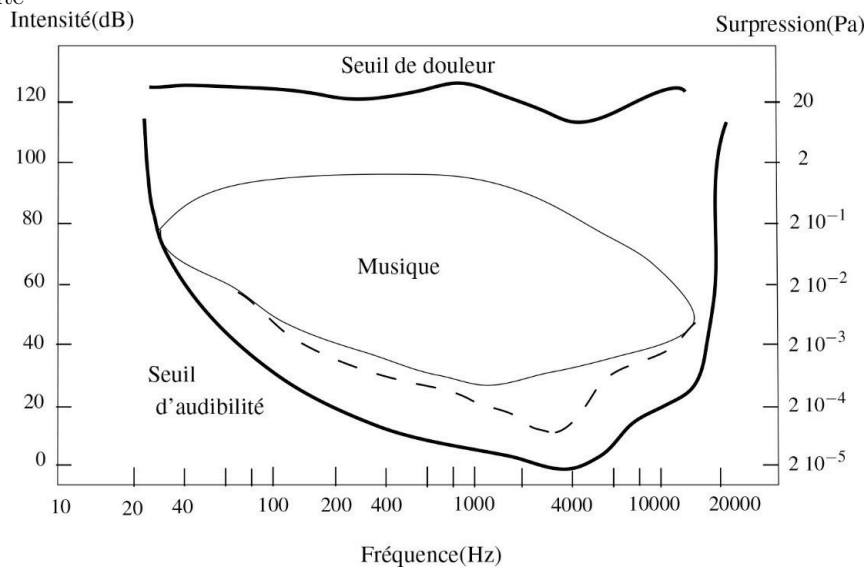
$p_1 = p_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi)$	$\frac{\partial p_1}{\partial t}$	$\frac{\partial p_1}{\partial x}$	$\overrightarrow{grad} p_1$	$\overrightarrow{rot} \vec{v}_1$	$div \vec{v}_1$
$\underline{p}_1 = \underline{p}_0 e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$	$i\omega \underline{p}_1$	$-ik \underline{p}_1$	$-i\vec{k} \underline{p}_1$	$-i\vec{k} \wedge \underline{\vec{v}}_1$	$-i\vec{k} \cdot \underline{\vec{v}}_1$
$\overline{p}_1 = \overline{p}_0 e^{i(\omega t + \vec{k} \cdot \vec{r})}$	$i\omega \overline{p}_1$	$ik \overline{p}_1$	$i\vec{k} \overline{p}_1$	$i\vec{k} \wedge \overline{\vec{v}}_1$	$i\vec{k} \cdot \overline{\vec{v}}_1$

III – Aspects énergétiques

III-4) Bilan d'énergie intégral



III-5-b) Seuil d'audibilité

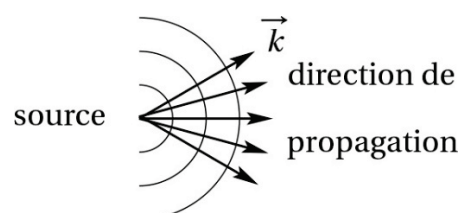


III-5-c) Ordres de grandeur

Son	Seuil d'audition	Ronronnement d'un chat	Conversation normale (à 1m)	Cri (à 1m)	Boîte de nuit
I_{dB}	0	15	60	100	120
I en Wm^{-2}	10^{-12}	$3,2 \cdot 10^{-11}$	10^{-6}	10^{-2}	1
$p_{1,eff}$ en Pa	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-2}$	2	20
$v_{1,eff}$ en ms^{-1}	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
ξ_{eff} en m (à 2kHz)	$3,6 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$

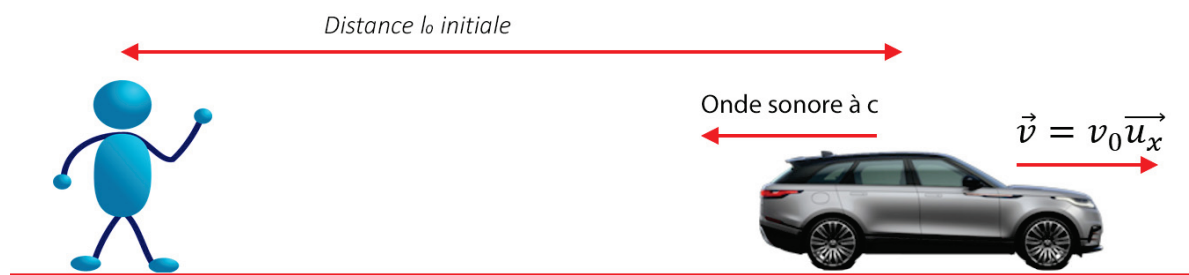
IV – Ondes sphériques

IV-1) Ondes sphériques harmonique



V - Effet Doppler longitudinal

V-1) Effet Doppler



N° du Bip	Instant d'émission	Distance	Instant de réception
Bip 0	$t_0 = 0$	l_0	$t'_0 = \frac{l_0}{c}$
Bip 1	$t_1 = T$	$l_1 = l_0 + v_0 T$	$t'_1 = T + \frac{l_1}{c}$
...Bip n-1	$t_{n-1} = (n-1)T$	$l_{n-1} = l_0 + v_0(n-1)T$	$t'_{n-1} = (n-1)T + \frac{l_{n-1}}{c}$
Bip n	$t_n = nT$	$l_n = l_0 + v_0 nT$	$t'_n = nT + \frac{l_n}{c}$

V-2) Détection synchrone (TP)

