

# Onde acoustique

## 1. Type d'onde

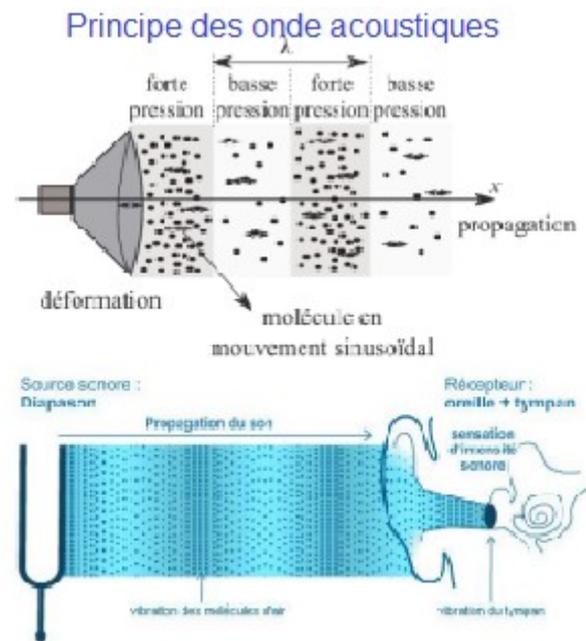
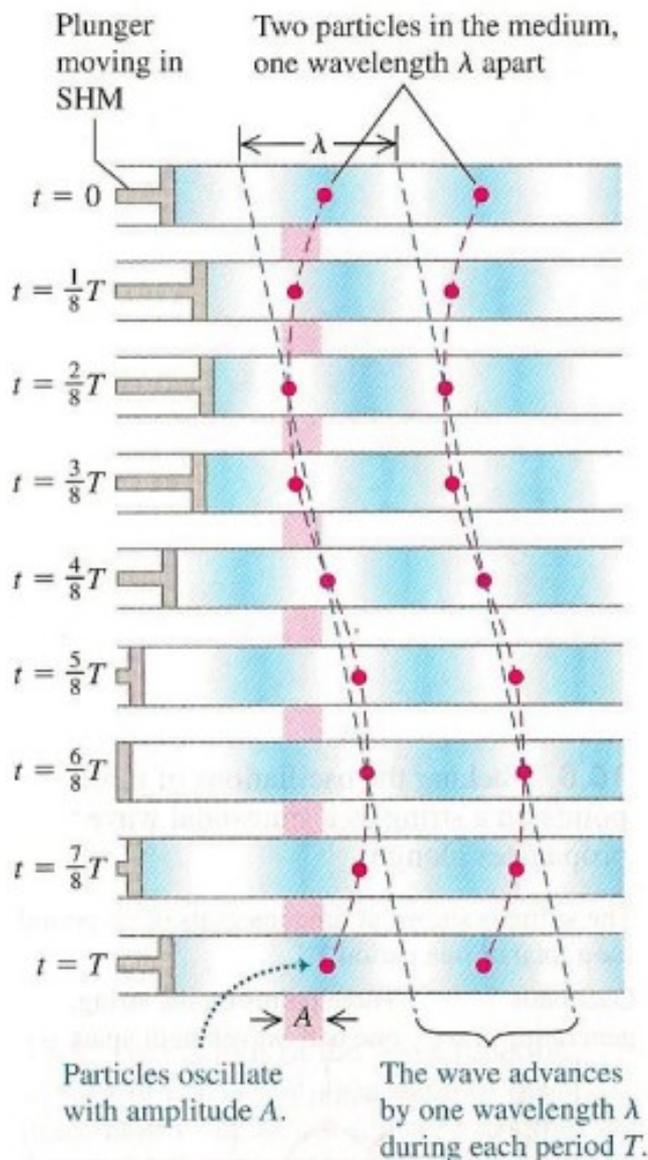
Mécanique et longitudinale.

## 2. Mode de propagation

o Onde créée par une perturbation du champ de pression qui se propage par compression-dilatation

o Les entités du milieu matériel oscillent autour de leur position d'équilibre. Elles sont :

- Tantôt rapprochées (zone de compression) → apparition d'une surpression
- Tantôt écartées (zone de raréfaction) → apparition d'une dépression



## 3. Célérité de l'onde dans les milieux

La vitesse de propagation de l'onde n'est pas caractéristique de l'onde, mais **dépend du milieu dans lequel elle se propage**. Par conséquent, la longueur d'onde ( $\lambda = cT$ ) dépend du milieu de propagation.

Milieu	célérité $c$ ( $m.s^{-1}$ )	Milieu	célérité $c$ ( $m.s^{-1}$ )
air	340	peau	1600
eau	1480	cerveau	1530
sang	1570	moyenne tissus mous	1540
poumon	600	os cortical	3000-4000
muscle	1550-1630		

## 4. Puissance sonore et intensité sonore

### 4.1 Puissance acoustique

La puissance acoustique  $P$  est égale au produit de la pression acoustique par le flux de la vitesse. Elle vaut

$$P = \frac{p^2 S}{\rho c} \quad \text{unité [W] watts}$$

où  $p$  : pression acoustique,  $S$  : surface considéré,  $\rho$  : masse volumique du milieu,  $c$  : célérité du son dans le milieu considéré

avec  $p = \rho c v$  ;  $v$  : vitesse de vibration

Déterminer les niveaux de puissance acoustique est particulièrement important pour l'étiquetage des produits, pour définir les limites des émissions sonores des appareils et vérifier leur conformité.

### 4.2 Intensité sonore

La propagation du son s'accompagne d'une propagation d'énergie mécanique, mais pas de la matière. L'**énergie transmise** par unité de surface et par unité de temps s'appelle l'**intensité de l'onde sonore**.

Cette énergie se répartit uniformément sur des fronts d'ondes qui sont les surfaces dont les points sont tous dans le même état vibratoire.

Ces surfaces d'ondes peuvent être sphériques (près d'une source sonore émettant dans un milieu isotrope) ou planes (loin de la source). L'intensité physique d'un son caractérise le son en lui-même, indépendamment de la sensibilité auditive.

$$I = \frac{P}{S} = \frac{p^2}{\rho c} \quad \text{Unité [W.m}^{-2}\text{]}$$

où  $S$  est la surface d'onde qui est une sphère avec  $S = 4\pi r^2$ , si la surface d'onde est hémisphérique alors  $S = 2\pi r^2$ .  $p$  : pression acoustique en Pa ;  $c$  : célérité de l'onde ;  $\rho$  : masse volumique milieu

Si on a la superposition de plusieurs sons, l'intensité résultante est la somme des intensités de chaque son.

### 4.3 Sensibilité de l'oreille

Le seuil d'audibilité est la pression acoustique minimale pouvant être détectée par l'oreille. Elle varie avec la fréquence. A 1000 Hz, fréquence de référence, elle vaut  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa, ce qui correspond à une intensité de  $10^{-12}$  W.m<sup>-2</sup>. On la note  $p_0$  et l'intensité correspondante  $I_0$ .

Le seuil de douleur est la pression acoustique maximale supportable, sans lésion. Elle varie suivant la fréquence. A 1000 Hz, elle vaut 200 Pa, ce qui correspond à une intensité de 100 W.m<sup>-2</sup>.

L'oreille n'est sensible qu'aux sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20000 Hz environ (cela dépend des individus).

#### 4.4 Niveau sonore en décibel

Le décibel (noté dB) est l'unité de ce qu'on appelle le **niveau d'intensité sonore, noté L**.

Le niveau sonore et l'intensité sonore sont liés par l'égalité suivante :

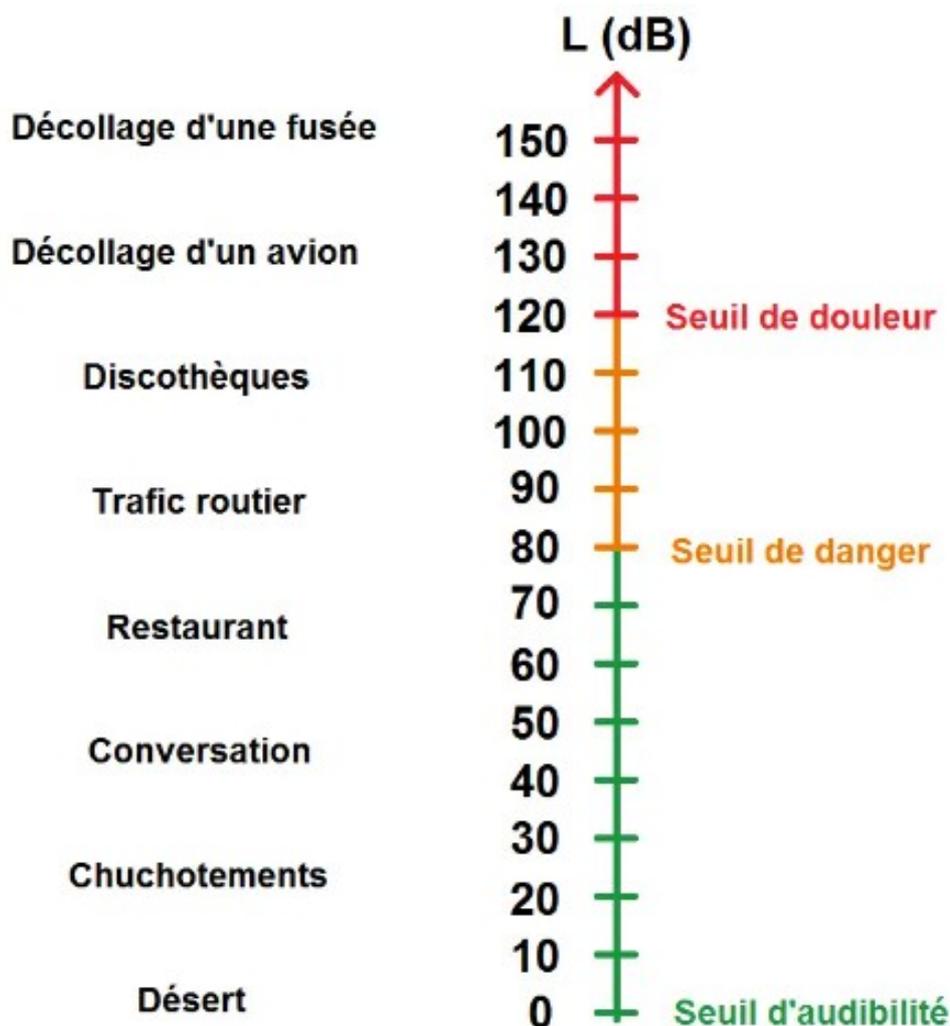
$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad [\text{dB}]$$

Quand l'intensité double, le niveau sonore augmente de 3dB.

Si on remplace I par la puissance acoustique :

$$L = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{et} \quad L = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

**Le niveau d'intensité et le niveau de pression sont égaux.**



Plusieurs choses apparaissent sur ce graphique :

**0 dB correspond au seuil d'audibilité**, on ne peut pas entendre un son de moins de 0 dB.

Il y a un **seuil de danger**, environ 80 dB, au-delà duquel il existe des risques de trouble auditif en cas d'exposition prolongée à de tels sons. C'est pourquoi certaines personnes travaillant toute la journée dans de tels bruits (marteau-piqueur ou tronçonneuse par exemple) portent des casques antibruit pour protéger leurs oreilles.

Il existe enfin un **seuil de douleur**, environ 120 dB, au-delà duquel il existe de graves risques pour la santé même si le son n'est pas entendu longtemps. Entendre de tels sons provoque généralement des douleurs aux oreilles qui peuvent parfois être irréversibles, d'où l'importance de se protéger les oreilles.

On peut dire qu'il y a une zone de danger entre 80 db et 120 dB, car ces sons peuvent ne pas paraître douloureux mais présenter de gros risques. La zone au-delà de 120 dB constitue ce que l'on peut appeler une zone de douleurs.

Voici un exemple de casque antibruit :



Heureusement cela ne va pas être le double, sinon on aurait 140 dB : le seuil de douleur serait dépassé, et à trois cela ferait 210 dB, on serait bien loin du seuil de douleur !!!

Ainsi, **les dB ne s'additionnent pas !!**

En revanche, **les intensités sonores (les I) s'additionnent !**

## 5. L'effet Doppler

### 5.1 Présentation

#### Cadre de l'étude :

- o On considère un émetteur d'ondes sonores et un récepteur d'ondes sonores.
- o L'effet Doppler se manifeste dans l'une des situations suivantes :

<b>Cas 1</b>	<b>Source mobile</b>	<b>Récepteur fixe</b>
<b>Cas 2</b>	<b>Source fixe</b>	<b>Récepteur mobile</b>
<b>Cas 3</b>	<b>Source mobile</b>	<b>Récepteur mobile</b>

**Effet constaté :** La fréquence de l'onde reçue diffère de celle de l'onde émise par la source .

**Exemple :**

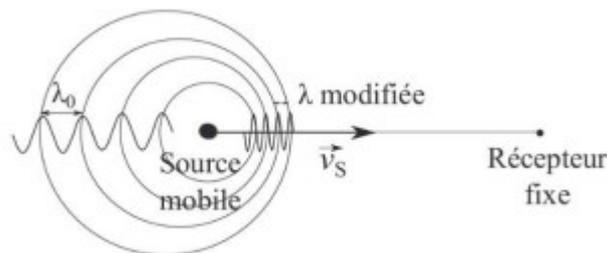
- o Le son émis par le moteur d'une voiture paraît différent pendant son passage pour un piéton.
- o La sirène d'un camion de pompiers paraît plus grave à mesure que le camion s'éloigne, alors que la fréquence de l'onde émise par le haut-parleur est toujours la même.

**Utilisations pratiques :**

- o Vélocimètre (radar) : mesure de la vitesse des véhicules.
- o Imagerie médicale (associé à l'échographie) : mesure de la vitesse de déplacement des hématies dans un vaisseau sanguin, ou encore de la paroi cardiaque.
- o Mesure de la vitesse de déplacement d'étoiles.

### 5.2 Cas 1 : Source mobile et récepteur fixe

**Schéma de la situation :**

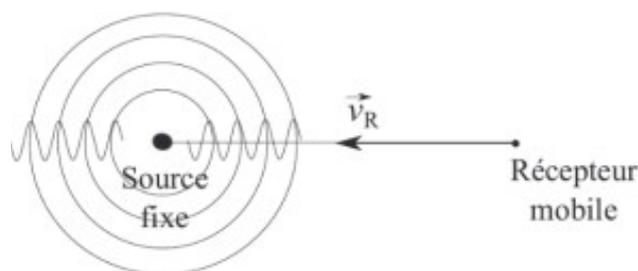


**Expression de la fréquence reçue :**

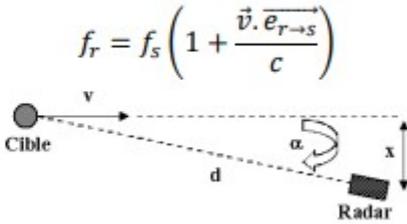
Source mobile, récepteur fixe		
Si la source se rapproche du récepteur à la vitesse $v$	$f_r = \frac{f_s}{1 - \frac{v_{source}}{c}}$	$f_r = \frac{f_s}{1 + \frac{\vec{v} \cdot \vec{e}_{r \rightarrow s}}{c}}$
Si la source s'éloigne du récepteur à la vitesse $v$	$f_r = \frac{f_s}{1 + \frac{v_{source}}{c}}$	

### 5.3 Source fixe et récepteur mobile

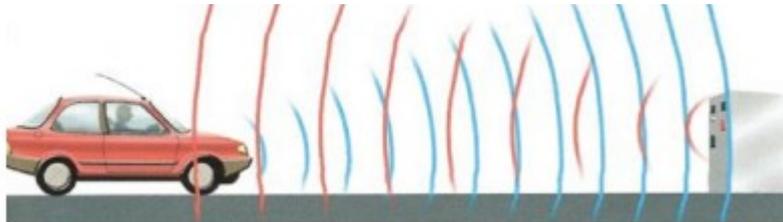
**Schéma de la situation :**



### Expression de la fréquence reçue :

Source fixe, récepteur mobile		
Si le récepteur se rapproche de la source à la vitesse $v$	$f_r = f_s \left( 1 + \frac{v_{recept}}{c} \right)$	$f_r = f_s \left( 1 + \frac{\vec{v} \cdot \vec{e}_{r \rightarrow s}}{c} \right)$ 
Si le récepteur s'éloigne de la source à la vitesse $v$	$f_r = f_s \left( 1 - \frac{v_{recept}}{c} \right)$	

### Exemple du radar automobile :



## 6. Échographie

### 6.1 Principe

L'échographie étudie les propriétés de réflexion (ou « écho ») de brèves impulsions ultrasonores, de fréquences comprises entre 1 MHz et 15 MHz, sur les différentes structures tissulaires et les organes de l'organisme.

Une céramique piézoélectrique (PZT) située dans la sonde échographique génère, de façon pulsée, des ondes ultrasonores qui vont rencontrer les différentes interfaces (dioptries acoustiques) entre les tissus, où elles seront plus ou moins réfléchies.

Les ultrasons réfléchis, appelés « échos », sont captés par la même céramique PZT, qui joue alors le rôle de récepteur et transforme le signal sonore en signal électrique. Les « échos » reçus sont amplifiés et numérisés, ce qui permet d'obtenir in fine une image échographique visualisable sur un écran.

Les échos enregistrés sont la signature des obstacles que les ultrasons ont rencontrés. Le transducteur(sonde échographique) mesure à la fois :

- la durée  $\Delta t$  écoulée entre l'émission de l'onde ultrasonore et la réception de l'écho, qui permet déterminer **la distance entre l'interface et la sonde** ;
- l'amplitude ou l'**intensité** de l'écho qui indiquée sous forme de niveaux de gris sur l'image échographique afin de visualiser les différentes structures du corps.

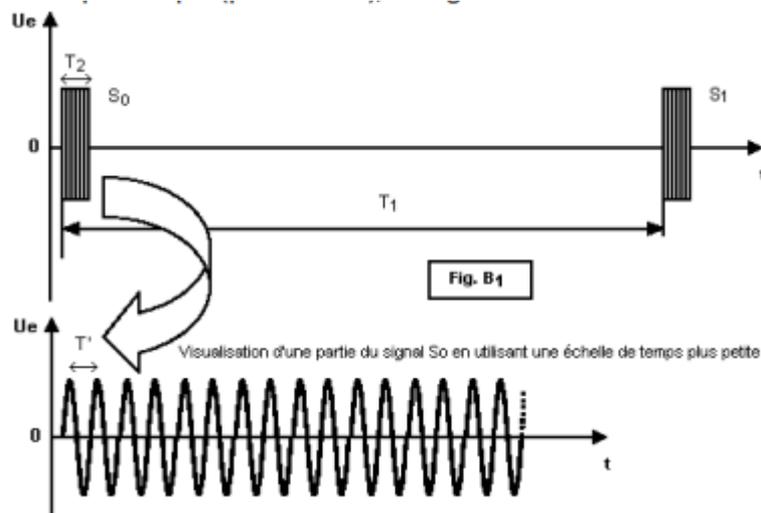
L'intensité de l'onde réfléchi sur le dioptre acoustique étant maximale en **incidence normale**, il est important que l'interface que l'on souhaite visualiser soit le plus perpendiculaire possible à la ligne de tir du transducteur afin que les échos soient enregistrables.



## 6.2 Fonctionnement

### Signal émis :

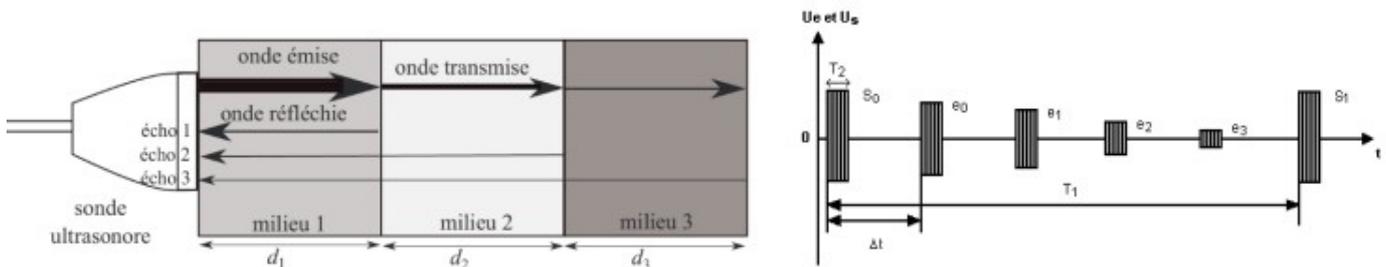
Le transducteur émet de manière périodique (période :  $T_1$ ), un signal ultrasonore de courte durée  $T_2$  ( $T_2 \ll T_1$ ).



A quoi sert la longue durée pendant laquelle le transducteur n'émet pas ?

### Durée d'écho :

Une réflexion se produit à l'arrivée de l'onde sur un dioptre acoustique. L'onde réfléchi revient vers le transducteur où elle arrive avec **un retard d'écho  $\Delta t$** .



## 6.3 Formation d'une image

### Informations disponibles pour former une image :

Le transducteur associe à chaque signal reçu :

- o Un retard d'écho
- o Une amplitude



### Facteurs influençant l'amplitude du signal écho :

o Absorption : Les tissus sont susceptibles d'absorber une partie de l'énergie de l'onde, limitant ainsi son amplitude. Les tissus les plus profonds sont donc associés à des signaux d'écho de faible amplitude, parfois difficiles à détecter.

o Echogénéicité : La capacité d'une interface à générer un écho influence de manière importante l'amplitude.

- Les structures anéchogènes ne renvoient pas d'écho (expl : urine dans une vessie, bile...)
- Les structures hyperéchogènes renvoient un écho fort. C'est le cas des structures solides (os, calculs...) et des tissus « durs » (métastases, angiomes) ou des interfaces eau/air. Les autres interfaces ont un comportement compris entre ces deux extrêmes.

### Modes de représentation :

Mode	Exemple	Avantages/Inconvénients
<b>Amplitude A</b>	<p>Quantel Medical CineScan S V 5.05</p>	<p>Permet un accès précis aux profondeurs des couches successives sous-cutanées.</p> <p>Utilisé en ophtalmologie pour déterminer l'épaisseur du cristallin, ou quantifier un décollement de rétine.</p> <p>Impossibilité d'étudier des mouvements d'organes.</p>
<b>Brillance B</b>	<p>Quantel Medical CineScan S V 5.05</p>	<p>Transforme l'amplitude du signal reçu (« son intensité ») en un point plus ou moins brillant (plus le point est blanc, plus le signal écho est intense). Cela est dû à l'échogénéicité des dioptries sous-jacents.</p> <p>Utilisé avec balayage de la sonde en médecine interne (pour la surveillance d'organes internes) et en obstétrique (pour le suivi de grossesses).</p>
<b>Time Motion TM</b>	<p>Cardiologie Hopital Laveran NANTES</p> <p>20 Jan 09 09:09:53</p> <p>45dB - /-1 / -/2</p> <p>Don Flx 0dB</p> <p>Ventricule gauche</p> <p>Ventricule droit</p> <p>Valves mitrales</p> <p>Aorte ascendante</p> <p>Disquette gauche</p> <p>20cm/s</p> <p>12s</p> <p>14mm</p> <p>General</p> <p>Cardiologie</p> <p>2004-01-01</p> <p>FC: 50bpm</p> <p>Battements: 100mm/s</p> <p>0</p> <p>140</p> <p>Color / 100%</p>	<p>Enregistre le mouvement de structures sur une ligne d'exploration. En ordonnée se trouve la profondeur du tissu et en abscisse le temps.</p> <p>Utilisé en cardiologie pour observer les mouvements des parois et valves cardiaques.</p>