

## Les ultrasons et leurs applications

### 1. Nature des US

Les ultrasons sont des ondes mécaniques qui se déplacent dans les milieux élastiques qu'ils soient solides, liquides ou gazeux. Les atomes se mettent à vibrer de proche en proche comme s'ils étaient liés par des ressorts.

Les sons sont audibles par l'homme. Leur fréquence est comprise entre 20 et 20.000 Hz. Les US sont inaudibles, leur fréquence est supérieure à 20.000 Hz.

Industriellement, on utilise des US de fréquence de l'ordre de quelques MHz.

### 2. Vitesse des sons et US

On rappelle que l'équation de propagation des ondes est :  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

où  $y = a \sin(\omega t - kx)$  avec la pulsation  $\omega = 2\pi f$  et la longueur d'onde  $\lambda = V/f$ .

#### a. Vitesse dans les gaz

On peut démontrer que pour des transformations adiabatiques  $V = \left(\gamma \frac{RT}{M}\right)^{1/2}$  avec T la température en K, M la masse molaire du gaz et R la constante des gaz parfaits.

La compressibilité  $\gamma$  du gaz telle que  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$  vaut 5/3 pour un gaz monoatomique, 7/5 pour un gaz diatomique, 1,4 pour l'air...

Le calcul pour l'air donne  $V = \left(1,4 \frac{8,32 \times 293}{29 \cdot 10^{-3}}\right)^{1/2} = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

#### b. Vitesse dans les liquides

Un liquide a une compressibilité :  $\mu = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}$ .

La vitesse des sons et des US est  $V = \left(\frac{1}{\mu \rho}\right)^{1/2}$ .

Pour l'eau, on a  $\mu = 4,51 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$  et  $\rho = 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  d'où  $V = 1489 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### c. Vitesse dans les solides

On admettra la relation :  $V = \left(\frac{E}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}\right)^{1/2}$  où E est le module d'Young,  $\rho$  la masse volumique et  $\nu$  le coefficient de Poisson.

Pour l'acier, on a :  $E = 210.000 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 7900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et  $\nu = 0,3$  d'où  $V = 5900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

### 3. Propriétés des US

On notera qu'il y a plusieurs sortes d'ondes ultrasonores :

- Les ondes longitudinales, ce sont celles que nous considérons
- Les ondes transversales
- Les ondes de surface
- Les ondes de plaques.

Chaque type d'onde à sa propre vitesse de propagation.

Les ondes se dispersent suivant un cône d'angle d'ouverture tel que :  $\sin \alpha = \frac{1,22\lambda}{d}$  où d est le diamètre de l'émetteur. On a donc intérêt à utiliser de grandes fréquences et donc de faibles longueurs d'onde pour avoir un faisceau relativement cylindrique.

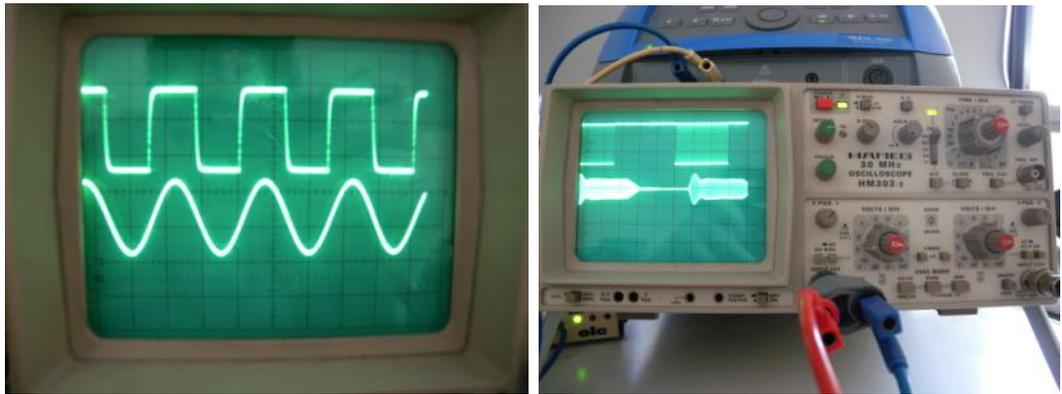
#### 4. Principes des mesures

##### a. Mesures dans l'air

La période des signaux est de 25  $\mu\text{s}$ . En déplaçant le récepteur, on constate une périodicité spatiale de 8,1 mm.

La vitesse du son dans l'air est ainsi de  $V = d/t = 8,1 \cdot 10^{-3} / 25 \cdot 10^{-6} = 324 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ce qui est conforme à la valeur attendue.

On peut aussi procéder par l'envoi période de salves d'US. Le temps qui s'écoule entre le début de la salve émise et celui de la salve reçue correspond à la distance les séparant. On mesure ici 1,8 ms pour parcourir 60 cm soit  $V = 0,6 / 1,8 \cdot 10^{-3} = 333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



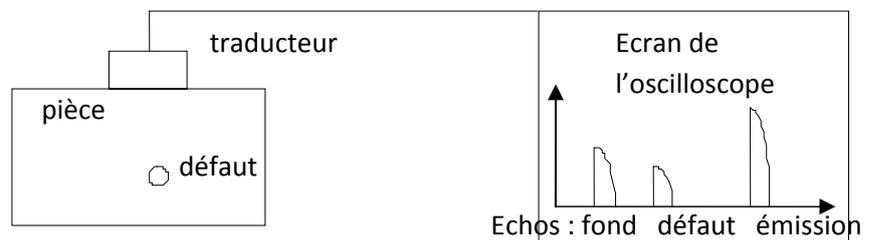
##### b. Mesures dans un matériau métallique

On utilise par exemple le Sonatest :



En utilisant la cale calibrée, on mesure une distance de 100 mm et on déduit donc que la vitesse des US dans l'acier est de 5976  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . L'appareil est ainsi étalonné pour mesurer d'autres dimensions et éventuellement pour déterminer la position de défauts dans ce même matériau.

Le principe utilisé est celui de l'écho :



## 5. Autres utilisations des US

### a. Nettoyage

On plonge une pièce dans un bac à ultrasons. L'intensité de ces US est de quelques dizaine de  $\text{W.cm}^{-2}$ . Les ondes produisent des bulles qui décollent les saletés de la surface de la pièce.

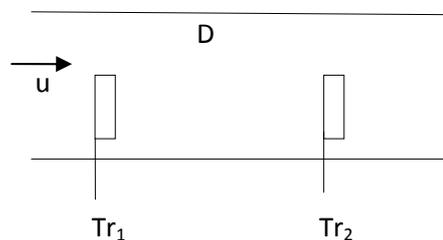
On admettra que :  $I = \frac{dP}{dS} = \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho V}$ ,  $p$  est la surpression,  $\rho$  est la masse volumique du liquide,  $V$  la vitesse des US dans ce liquide.

Pour de l'eau et une intensité  $I = 10 \text{ W.cm}^{-2} = 10^5 \text{ W.m}^{-2}$ , on a :

$$p = (2I\rho V)^{1/2} = (2 * 10^5 * 1000 * 1500)^{1/2} = 5,45 \text{ bar}$$

### b. Mesure du débit d'un liquide

On place 2 traducteurs dans une canalisation. Le liquide ou le gaz se déplace à la vitesse  $u$  et les US se déplacent à la vitesse  $V$  dans ce fluide.



On mesure le temps  $t_1$  de déplacement des US de  $Tr_1$  vers  $Tr_2$  et  $t_2$  pour le déplacement opposé de  $Tr_2$  vers  $Tr_1$ . On a donc :

$$t_1 = \frac{D}{v+u} \text{ et } t_2 = \frac{D}{v-u} \text{ d'où } \Delta t = \frac{2uD}{v^2-u^2}.$$

Si ce qui est le plus fréquent  $u \ll v$ , on a  $\Delta t = \frac{2uD}{v^2}$  et  $u = \frac{v^2 \Delta t}{2D}$ .

### c. L'effet Doppler

Lorsqu'une source sonore qui émet à une fréquence  $f$  se rapproche d'un récepteur fixe, ce dernier entend les sons à une fréquence :  $f' = f \frac{1}{1-\frac{u}{v}}$ . Le son est donc de fréquence plus élevée et donc plus aigu.

Si au contraire la source s'éloigne, on a :  $f' = f \frac{1}{1+\frac{u}{v}}$  et le son est donc plus grave.

On notera qu'un phénomène analogue se produit pour l'observation des étoiles. La couleur de la lumière reçue est décalée vers le rouge. Les étoiles s'éloignent toutes les unes des autres, c'est ce qu'on appelle l'expansion de l'Univers.

Le décalage est tel que :  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{u}{c}$ . Cette vitesse croit avec l'éloignement de l'étoile.

C'est la loi de Hubble établie en 1929.