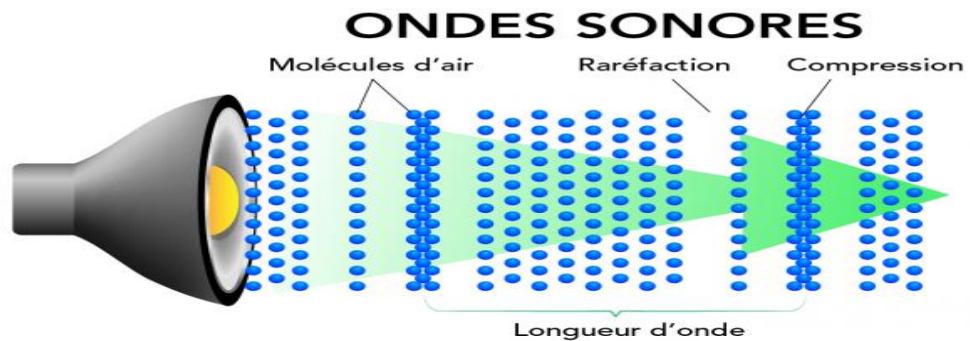


## TD3 de physique4 (Onde acoustique dans les fluides et dans les solides)



## Plan

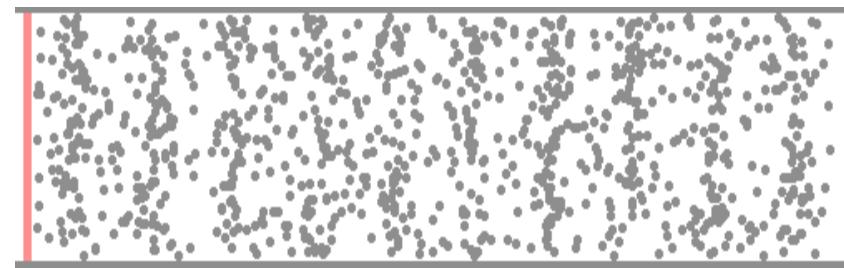
- Rappel de cours**
- Corrigé de l'exercice 1**
- Corrigé de l'exercice 2**
- Corrigé de l'exercice 3**
- Questions et réponses**

## Rappel de cours

➤ **Définition :** Une onde acoustique est une perturbation mécanique (onde de compression-dilatation du milieu) qui se propage dans un milieu matériel

➤ **Propriétés**

- ✓ 1- Longitudinale



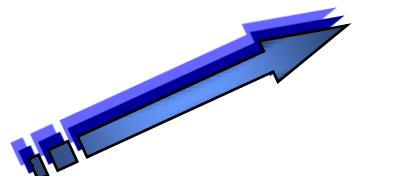
Le déplacement des molécules // direction de propagation de l'onde

# 1- Rappel de cours

## ✓ 2- Son audible



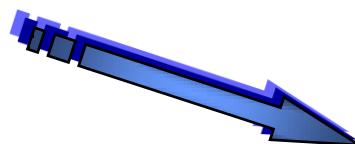
# Rappel de cours



$P(t,x)$  Surpression



$U(t,x)$  Déplacement des prts



$\dot{U}(t,x)$  Vitesse des prts

$$\Delta p - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

✓ 3 Equation de d'Alembert

Les trois grandeurs se propagent  
avec même vitesse



$$\sqrt{\frac{\kappa}{\rho_0}}$$

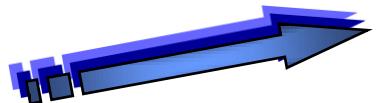
# 1- Rappel de cours

Vitesse

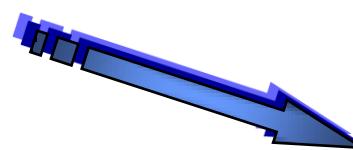


La température et la pression  
du milieu

Vitesse



$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$



$$v = \sqrt{\frac{\kappa c}{\rho}}$$

Ou

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho \chi}}$$

Avec :

$$\frac{1}{\chi} = \frac{c}{\kappa}$$

## Plan

- Rappel de cours*
- Corrigé de l'exercice 1*
- Corrigé de l'exercice 2*
- Corrigé de l'exercice 3*
- Questions et réponses*

**Exercice 1\***: Dans les conditions normales de température et de pression, l'air est caractérisé par une masse volumique à l'équilibre  $\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$  et une valeur de  $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,402$ . Calculer la vitesse de propagation du son dans l'air et son impédance acoustique spécifique dans ces conditions ( $T = 20^\circ\text{C}$  et  $P_0 = 10^{\frac{5}{2}} \text{ N/m}^2$ ).

## Exercice 1 :

$$\rho_{air} = 1.21 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = 1.402$$



$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

*La célérité du son (vitesse) dans l'air ?*

$$V_{son/air} = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_{air}}} = \sqrt{\frac{1.402 \times 10^5}{1.21}}$$

AN:  $V_{son/air} = 340.39 \text{ m/s}$

## Exercice 1 :

*Impédance acoustique ?*

$$Z_c = \rho_{air} \times V_{Son/Air}$$

AN:

$$Z_c = 412 \text{ kg/m}^2 \text{ s} = 412 \text{ Rayleigh}$$

## Plan

- Rappel de cours*
- Corrigé de l'exercice 1*
- Corrigé de l'exercice 2*
- Corrigé de l'exercice 3*
- Questions et réponses*

**Exercice 2\***: Lorsque la température est égale à  $20^{\circ}\text{C}$ , la masse volumique et le module de compression de l'eau distillée valent respectivement  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$  et  $1/\gamma = 2,18 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ . Comparer aux résultats de l'exercice précédent.

## Exercice 2 :

$$\kappa = 2.18 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\rho_{eau} = 998 \text{ kg/m}^3$$



$$v = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$$

AN:

$$V_{Son/Eau} = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho_{eau}}} = \sqrt{\frac{1}{\rho_0 \chi}} = \sqrt{\frac{2.18 \times 10^9}{998}} = 1478 \text{ m/s}$$

## Exercice 2 :

*Impédance acoustique ?*

$$Z_c = \rho_0 \times V_{Son/Eau}$$

AN:

$$Z_c = 1475 \times 10^3 \text{ kg s/m}^2 = 1475 \times 10^3 \text{ Rayleigh}$$

## Comparaison:

$$V_{\text{gaz}} < V_{\text{liquide}} < V_{\text{solide}}$$

Phase du milieu	Nature du milieu	Vitesse du son (m/s)	
Gazeux	Dioxyde de Carbone (CO <sub>2</sub> )	260	
Gazeux	Oxygène	320	
Gazeux	Air	330	
Gazeux	Helium	930	
Gazeux	Hydrogène	1270	
Liquide	Mercure	1450	
Liquide	Eau douce	1460	
Liquide	Eau de mer	1520	
Solide	Bois de pin	3320	
Solide	Acier	5000	
Solide	Verre	5500	
Solide	Granite	5950	

## Plan

- Rappel de cours*
- Corrigé de l'exercice 1*
- Corrigé de l'exercice 2*
- Corrigé de l'exercice 3*
- Questions et réponses*

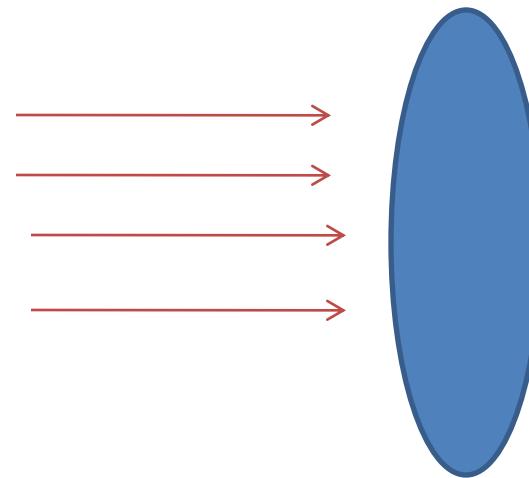
**Exercice 3 :** Une onde acoustique plane se propage dans l'eau avec une vitesse de 1480 m/s. Elle véhicule une puissance moyenne de 1 W uniformément répartie sur une section circulaire de 40 cm de diamètre, normale à la direction de propagation. La fréquence de l'onde est égale à 24 kHz.

- calculer l'intensité acoustique ; quel est en dB le niveau de l'intensité acoustique relativement au niveau de référence  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  ?
- calculer l'amplitude de la pression acoustique, l'amplitude de la vitesse des particules et l'amplitude du déplacement des particules.
- Comparer aux résultats que l'on aurait obtenus si cette onde se propageait dans l'air.

## Exercice 3 :

### a/1-L'intensité acoustique ?

$$\langle I \rangle = \frac{\langle P \rangle}{S} = \frac{\langle P \rangle}{\frac{\pi D^2}{4}} = 7.96 \text{ W/m}^2$$



Avec P : La puissance véhiculée par l'onde

## Exercice 3 :

### a/ 2-Le niveau de l'intensité acoustique?



Sonomètre

$$N_{dB} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$


$I_0$ : L'intensité de référence ( $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ )

AN:



$N_{dB} = 129 \text{ dB}$

## Exercice 3 :

b/1-L'amplitude de la pression acoustique ?

$$I = \frac{p_0^2}{2Z_c} \Rightarrow p_0 = \sqrt{2Z_c I}$$

Eau

AN:



$$p_0 = 4854 \text{ Pa}$$

## Exercice 3 :

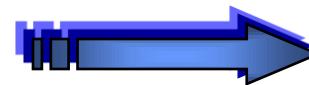
**b/2-L'amplitude de la vitesse des particules?**

Onde plane



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{la pression acoustique (surpression)} \quad P(x,t) = p_0 e^{j(wt-kx)} \\ \text{le déplacement des particules } U(x,t) = -\frac{1}{k} \int p(x,t) dx \\ \text{la vitesse des particules } \dot{U}(x,t) = \frac{du(x,t)}{dt} \end{array} \right.$$

le déplacement des particules



$$U(x,t) = \frac{p_0}{jk\kappa} e^{j(wt-kx)} = \frac{x p_0}{jk} e^{j(wt-kx)}$$

### Exercice 3 :

$$U_0 = \frac{p_0}{k\kappa} = \frac{p_0 v}{w\kappa} = \frac{p_0 v}{(2\pi f)(\rho_{\text{eau}} v^2)} = \frac{p_0}{2\pi f v_{\text{eau}} \rho_{\text{eau}}} = \dots \text{nm}$$

← nm

*L'amplitude de la vitesse des particules*

$$\dot{U}_0 = wU_0 = \dots \text{m/s}$$

Vitesse de l'onde  $\neq$  vitesse des particules

### Exercice 3 :

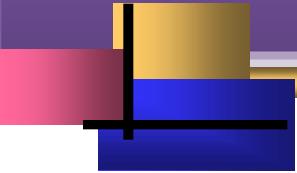
➤ Dans le cas où l'onde se propage dans l'air

$$U_0(\text{air}) = \frac{P_0}{2\pi f v_{\text{air}} \rho_{\text{air}}}$$

$$\dot{U} = w U_0(\text{air})$$

## Plan

- Rappel de cours*
- Corrigé de l'exercice 1*
- Corrigé de l'exercice 2*
- Corrigé de l'exercice 3*
- Questions et réponses*



*Merci de votre  
attention*