

MODULE: PHYSIQUE 04

ONDES

Présenté par

Pr Fouad BOUKLI HACENE

Professeur

Email: Fouad.boukli-hacene@enp-oran.dz/

bhfouad@yahoo.fr



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE MAURICE AUDIN D'ORAN

Département: **Formation préparatoire**
Module: **Ondes**
Niveau : **Deuxième année**

CHAPITRE 2

PROPAGATION DES ONDES MÉCANIQUES DANS LES FLUIDES

Présenté par
Pr. Fouad BOUKLI
HACENE
bhfouad@yahoo.fr



1. Introduction

2. Notions fondamentales

3. Modélisation

4. Applications

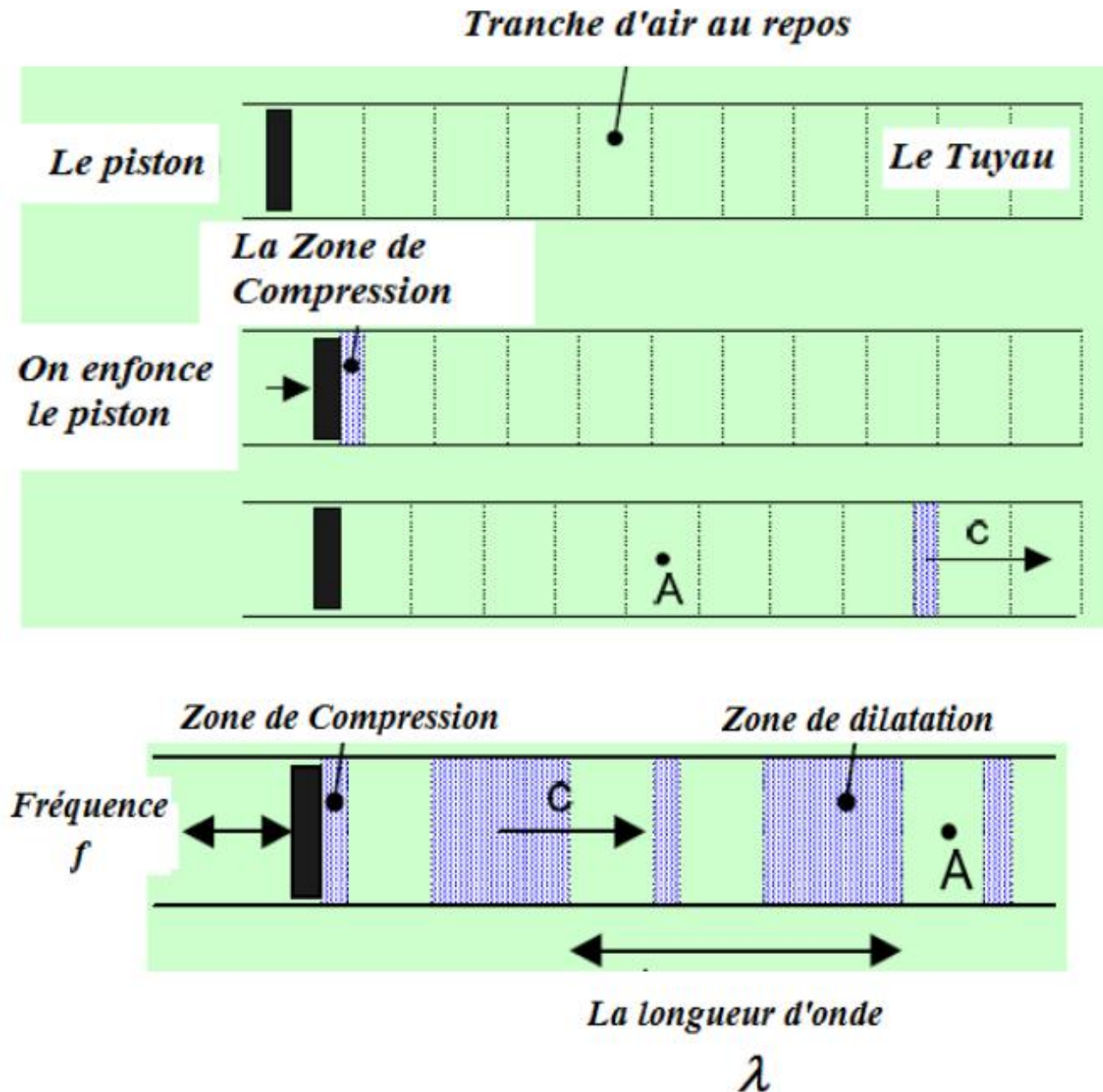
OBJECTIFS

- 1. Définitions
- 2. Le fluide.
- 3. Quelques applications.



DÉFINITIONS:

- On définit alors, les Ondes élastiques dans les fluides comme des ondes mécaniques qui se propagent dans les gaz ou dans les liquides.
- On suppose que les fluides soient parfaits, il n'y aura pas d'absorption. L'onde élastique dans l'air est due à la propagation de la variation de pression, c'est-à-dire par la compression et dilatation de l'air. - Voir la figure ci dessous.



- On définit **la pression acoustique** comme suit :

$$p = P - P_0$$

P : Pression absolue du fluide; **P₀** : Pression absolue au repos; **ρ** : Masse volumique du fluide à l'équilibre

- Dans un gaz, la pression est souvent de l'ordre de la pression atmosphérique

$$P = 10^5 \text{ Pa}$$

- Une vibration mécanique est véhiculée par **une surpression locale**: **p(x, t)**

$$|p| \ll P$$

- Sachant que les mouvements aux fréquences sonores sont trop rapides par rapport aux échanges thermiques.



L'opération est adiabatique

- L'évolution d'un volume **V** est liée à celle de la variation de la pression comme suit

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \quad \Rightarrow \quad \underline{PV^\gamma = Cte}$$

- Beaucoup de problèmes de bruit industriel sont liés à la propagation d'ondes sonores dans des conduites et des tuyaux.
- Cette propagation est conditionnée par la longueur d'onde acoustique λ telle que :

$$\lambda = \frac{c}{f} \gg D$$

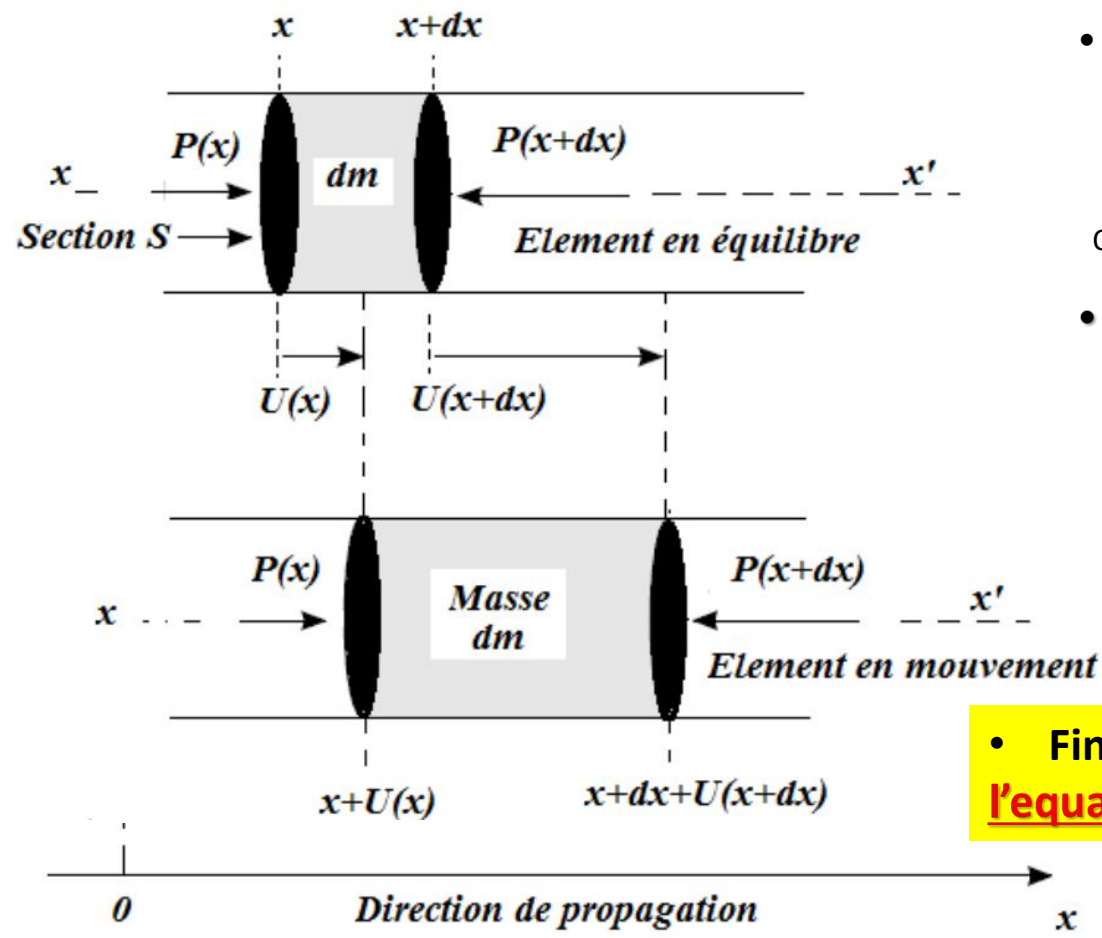
Avec:

D : Diamètre de la conduite sonore;

C : Célérité du son dans l'air qui est égale à 344m/s à 20°C;

f : Fréquence de l'onde

- Soit une membrane vibrante émise une onde plane progressive dans un fluide uniforme, de masse volumique ρ et de pression p_0 à l'équilibre.
- Cette onde se propage dans la direction x positif. Le phénomène de propagation des ondes sonores dans le fluide est du principalement par une succession de compressions et de détentes des tranches de fluide voisines.
- On considère une tranche de fluide d'épaisseur dx située aux abscisses x et $(x + dx)$. Soient les pressions $P(x)$ et $P(x + dx)$ agissant sur les plans x et $(x + dx)$ respectivement qui génèrent le mouvement de la tranche –Voir la figure ci-dessous–
- Soient $U(x)$ et $U(x + dx)$ les déplacements à l'instant t des plans d'abscisse x et $(x + dx)$ respectivement



- En appliquant la loi de la dynamique de Newton :

$$dm \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = F(x + dx) - F(x)$$

Où $F(x)$ et $F(x + dx)$ sont des forces d'actions appliquées aux plans d'abscisse x et $(x + dx)$ respectivement.

- L'équation du mouvement s'écrit alors:

$$dm \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -S(P(x + dx) - P(x)) \Rightarrow -S \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

Avec. $(P(x + dx) - P(x)) = dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx$ et $p = -\frac{1}{\chi} \frac{\partial U}{\partial x}$

χ est appelé le coefficient de compressibilité

- Finalement, on obtient l'équation d'onde sonore:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{1}{\chi \rho} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \Leftrightarrow \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$$

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

:est appelée la célérité de l'onde sonore dans le fluide

- **Vitesse du son V:**

Dans l'air:


$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 1.3 \text{ kg.m}^{-3} \\ \chi = 6.65.10^{-6} \text{ Pa}^{-1} \end{array} \right.$$

V=340 m/s

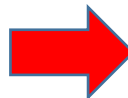
Dans l'eau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \\ \chi = 4.6.10^{-10} \text{ Pa}^{-1} \end{array} \right.$$

V=1500 m/s

vitesse de propagation du son		
air		340 m/s
eau		1500 m/s
acier		5000 m/s

- Sachant que la surpression p d'un fluide compressible s'écrit comme suit:



$$p = -\frac{1}{\chi} \frac{\partial U}{\partial x}$$

- La solution de l'équation de l'onde en régime sinusoïdal dans un milieu infini est de la forme:



$$p(x, t) = A \cos\left(\omega t - \frac{\omega}{V} x\right)$$

- On définit **l'impédance acoustique en un point**, le rapport de l'amplitude complexe de la pression à l'amplitude complexe de la vitesse de particule comme suit :

$$Z(x, t) = \frac{p(x, t)}{\dot{U}(x, t)}$$

Quelques exemples

- Dans les conditions usuelles, la **vitesse de propagation du son dans l'air est 340 m/s**. Elle est 880 000 fois plus faible que celle de la lumière. C'est pourquoi on voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre.
- La **vitesse du son dépend du milieu de propagation**. Par exemple, dans l'eau, le son se propage à 1 500 m/s. Dans le verre, le son se déplace à 5 300 m/s.

❶ Lorsqu'un avion vole à une **vitesse inférieure à la vitesse du son** ($1\,224\text{ km/h}^*$), il génère des **ondes sonores concentriques** qui se déplacent à la **vitesse du son**.



❷ Lorsque l'avion **franchit le mur du son**, c'est-à-dire qu'il **dépasse Mach 1** ($1\,224\text{ km/h}^*$), les **ondes concentrées** devant le nez de l'appareil sont libérées et forment un **cône de choc**.



❸ Le « **bang supersonique** » se produit **tout le long du trajet** de l'avion qui vole à une vitesse supérieure à Mach 1.



The background of the slide features a light blue surface with concentric white and blue ripples, suggesting a drop of water. A small, dark blue circular mark is visible at the top center. A bright yellow rectangular box is centered horizontally, containing the text "MERCI POUR VOTRE ATTENTION" in bold red capital letters.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION