

# Réflexion, transmission, dissipation d'ondes sonores

Niveau : CPGE/L2

Prérequis :

- EDA ( Forme, propriétés, solutions en OPPH)
- Notions d'analyse spectrale
- Ondes sonores : Equation d'Euler dans l'approximation acoustique, équation de propagation
- Diffusion thermique et longueur de diffusion

Milieu 1 (ex : tissus mou, eau)

Milieu 2 (ex : OS)

Onde incidente ( $p, \mathbf{v}$ )



Milieu 1 (ex : tissus mou, eau)

Milieu 2 (ex : OS)

Onde incidente ( $p, \mathbf{v}$ )



Onde transmise



Onde réfléchie



## I.1) Cadre d'étude

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = -\chi_S \frac{\partial p}{\partial t}$$

$$c^2 = \frac{1}{\rho_0 \chi_S}$$

- Avec  $\vec{v}$ ,  $p$  les champs de surpression et vitesse satisfaisant la même équation de d'Alembert caractérisée par la célérité  $c$

## I.2) Interprétations

$$\underline{Z}_{oppH}(w, k) = \rho_0 c$$

## I.2) Interprétations

- Dépend du choix de l'onde

$$\underline{Z}_{oppH}(\omega, k) = \rho_0 c$$

## I.2) Interprétations

- Dépend du choix de l'onde
- A priori, dépend de la pulsation et du vecteur d'onde

$$\underline{Z}_{oppH}(\omega, k) = \rho_0 c$$

## I.2) Interprétations

- Dépend du choix de l'onde
- A priori, dépend de la pulsation et du vecteur d'onde
- Impédance propagative : dépend du milieu

$$\underline{Z}_{oppH}(\omega, k) = \rho_0 c$$



## I.2) Interprétations

- Dépend du choix de l'onde
- A priori, dépend de la pulsation et du vecteur d'onde
- Impédance propagative : dépend du milieu
- Ici, réelle, p et v en phase

$$\underline{Z}_{oppH}(\omega, k) = \rho_0 c$$

## I.2) Interprétations

- Dépend du choix de l'onde
- A priori, dépend de la pulsation et du vecteur d'onde
- Impédance propagative : dépend du milieu
- Ici, réelle, p et v en phase

$$\underline{Z}_{oppH}(\omega, k) = \rho_0 c$$

# Réflexion : interprétations

$$\underline{r} = \frac{\underline{Z_1} - \underline{Z_2}}{\underline{Z_1} + \underline{Z_2}}$$

$$\underline{t} = \frac{2\underline{Z_1}}{\underline{Z_1} + \underline{Z_2}}$$

# Réflexion : interprétations

- Dès qu'il y a changement de milieu : réflexion

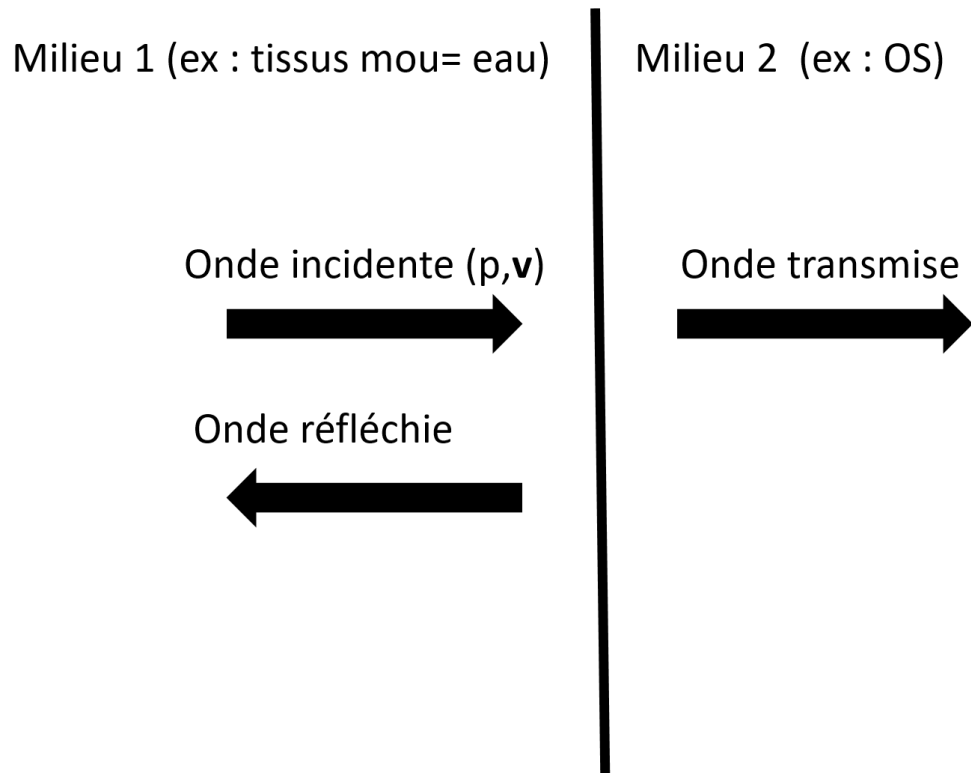
$$\underline{r} = \frac{\underline{Z_1} - \underline{Z_2}}{\underline{Z_1} + \underline{Z_2}}$$
$$\underline{t} = \frac{2\underline{Z_1}}{\underline{Z_1} + \underline{Z_2}}$$

# Réflexion : interprétations

- Dès qu'il y a changement de milieu : réflexion
- $r$  et  $t$  réels |C|: ondes transmises et réfléchies en phase ou opposition de phase
- $\underline{Z}$  analogue de  $n$  en optique

$$\underline{r} = \frac{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$
$$\underline{t} = \frac{2\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

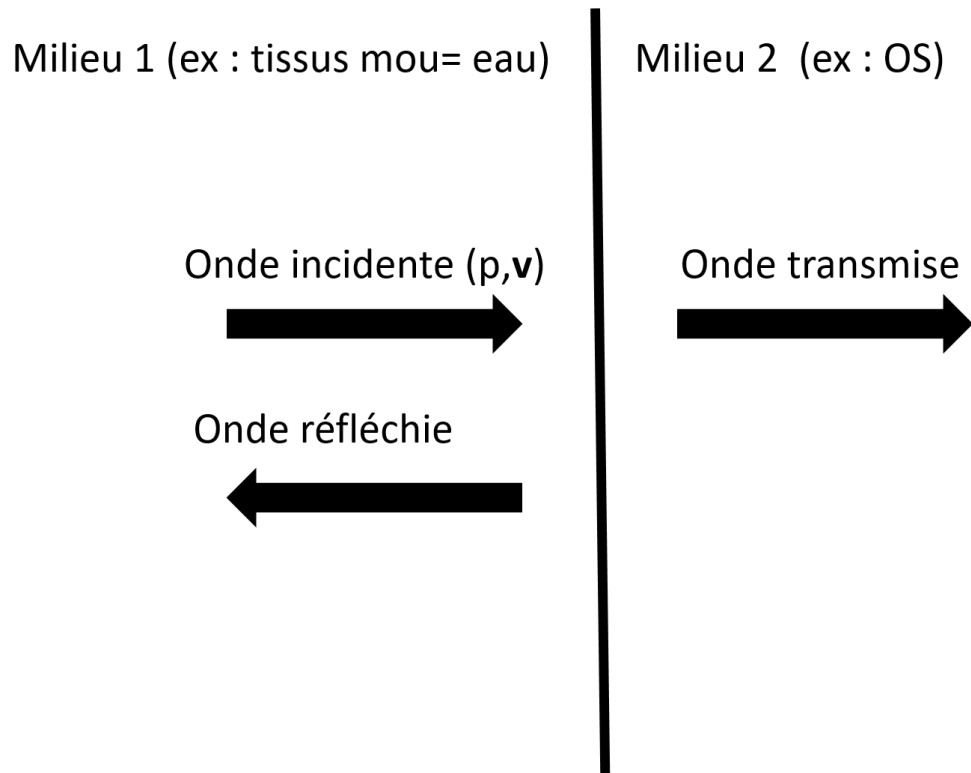
# Application : échographie



- Avec la compressibilité :

$$c_{os} \gg c_{eau}$$

# Application : échographie



- Avec la compressibilité :

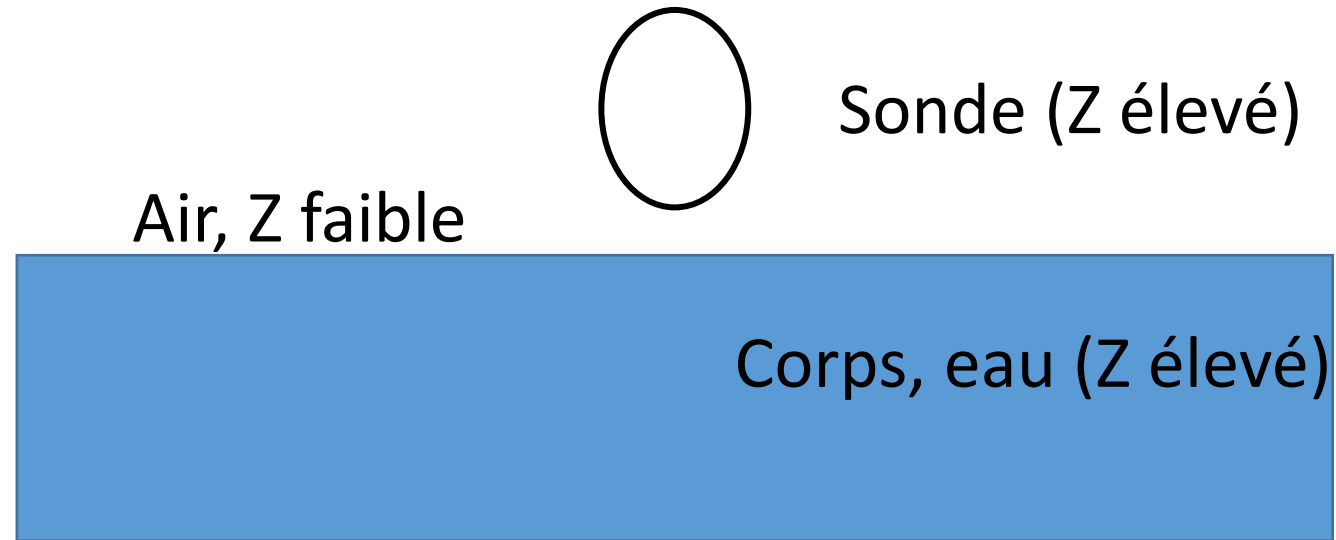
$$c_{os} \gg c_{eau}$$

- Il en vient donc , avec des masses volumiques comparables

$$\underline{Z}_{os} \gg \underline{Z}_{eau}$$

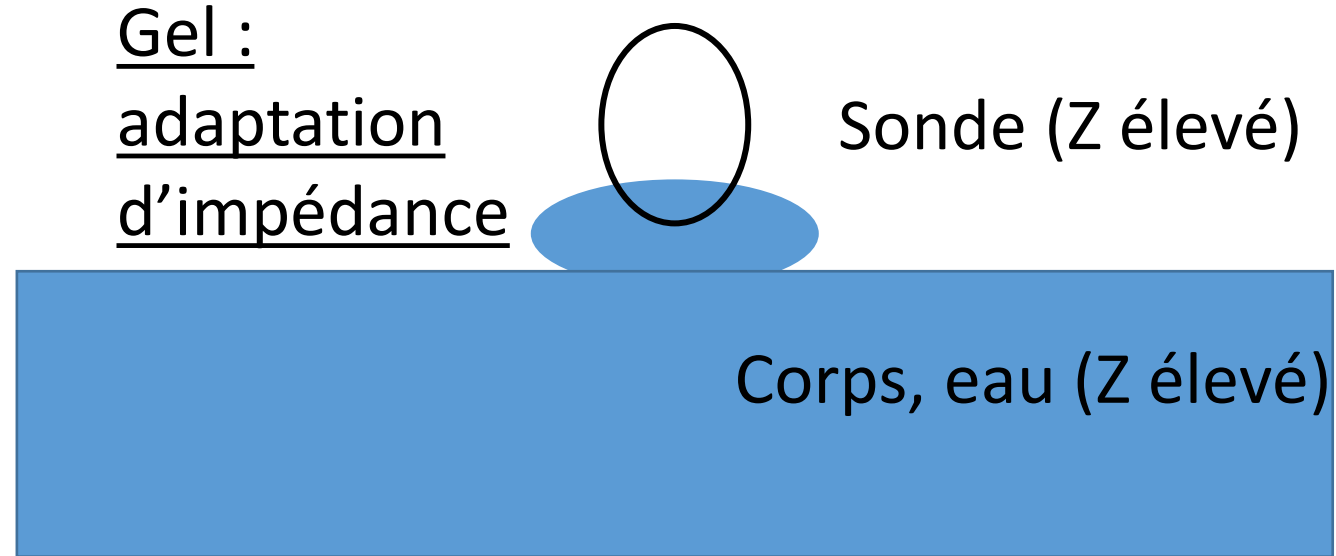
- Et r très proche de -1

# Application : adaptation d'impédance





# Application : adaptation d'impédance



## II Dissipation : cadre d'étude

- On cherche à décrire l'atténuation de l'onde (pertes)

## II Dissipation : cadre d'étude

- On cherche à décrire l'atténuation de l'onde (pertes)
- On étudie une onde ultrasonore dans l'eau (simplifié)

## II Dissipation : cadre d'étude

- On cherche à décrire l'atténuation de l'onde (pertes)
- On étudie une onde ultrasonore dans l'eau (simplifié)
- Eau : fluide newtonien de viscosité  $\eta=10^{-3}$  Pa.s
- Dans le cadre de l'approximation acoustique : force volumique supplémentaire

$$\eta \overrightarrow{\Delta} \overrightarrow{v}$$

# Amortissement

- Aux faibles amortissements :

$$\alpha = \frac{\eta \omega^2}{2\rho_0 c^3}$$

# Amortissement

- Aux faibles amortissements :

$$\alpha = \frac{\eta \omega^2}{2\rho_0 c^3}$$

- Echographie : F=12MHz , c=1500m/s

# Amortissement

- Aux faibles amortissements :

$$\alpha = \frac{\eta \omega^2}{2\rho_0 c^3}$$

$$\alpha = 2.10^{-2} m^{-1}$$

- Echographie : F=12MHz , c=1500m/s

$$d = \frac{1}{\alpha} = 50m$$

# Amortissement

Thérapie:  $F=1\text{GHz}$  ,  $c=1500\text{m/s}$

$$\alpha = 10^{-2} m^{-1}$$

$$d = \frac{1}{\alpha} = 1cm$$