$2^{\text{ième}}$ partie: ONDES MÉCANIQUES

Chapitre 8: Ondes mécaniques dans les Fluides

Dr Fouad BOUKLI HACENE

EPST TLEMCEN

ANNÉE 2015-2016

Définitions:

- On définit alors, **les Ondes élastiques dans les fluides** comme des **ondes mécaniques** qui se propagent dans **les gaz** ou dans **les liquides**.

Hypothèses:

- 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; la figures 1.8:

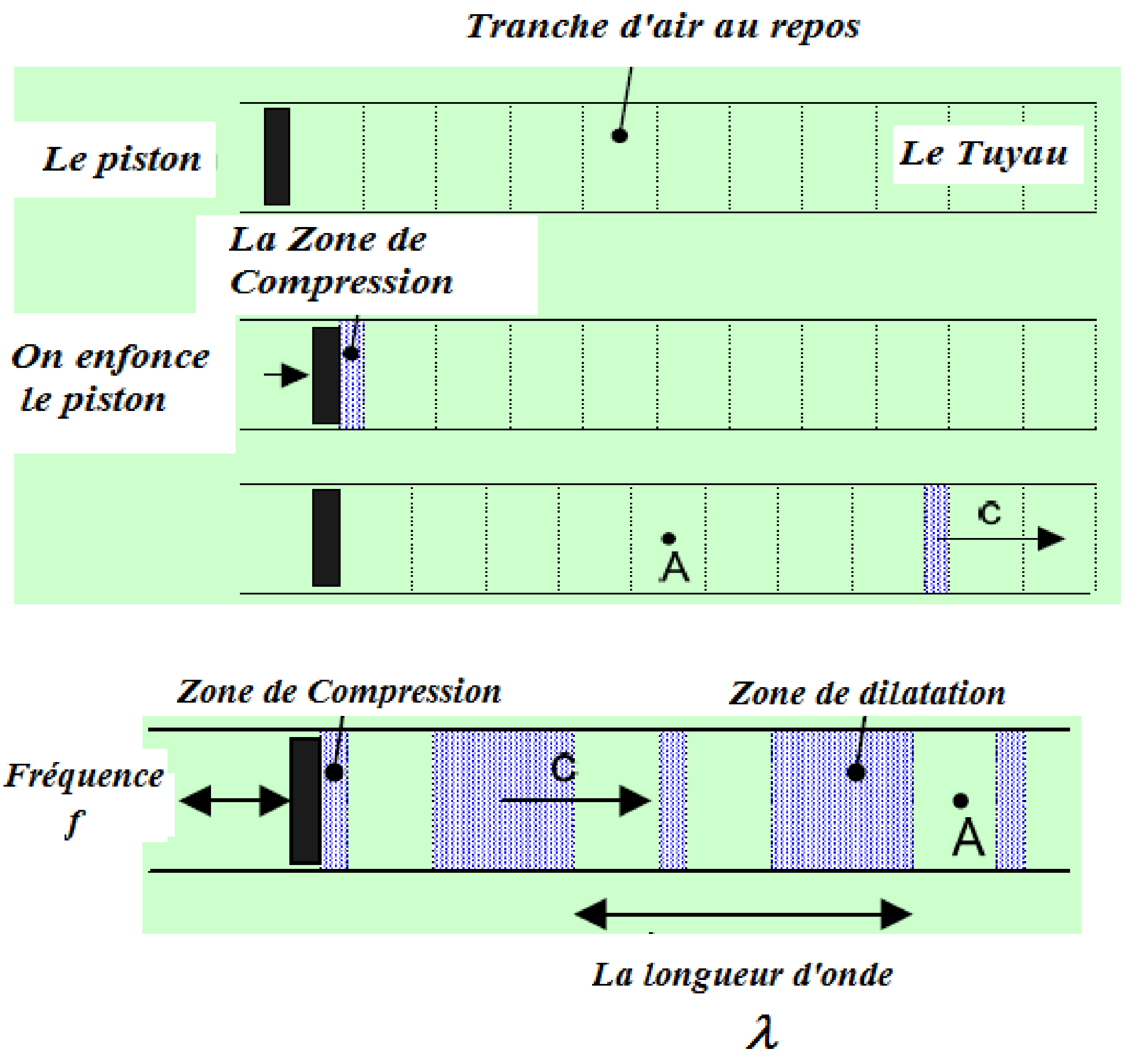

Figure 1.8 : Propagation d'onde élastique sinusoïdale plane dans l'air

- 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,

$$P = 10^5\, Pa$$

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

$$|p| \prec\prec P$$

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

- Donc **l'opération est adiabatique**

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

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$:est **le rapport des chaleurs spécifiques** à pression constante et à volume constant,

- On obtient la relation suivante:

$$PV^{\gamma} = Cte$$

- 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 :

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

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 dx
- Soient les pressions $P(x)$ et $P(x+dx)$ agissant sur les plans *x* et respectivement qui génèrent le mouvement de la tranche comme le montre la figure 2.8

- Soient $U(x)$ et $U(x+dx)$ les déplacements à l'instant *t* des plans d'abscisse *x* et *x+dx* respectivement

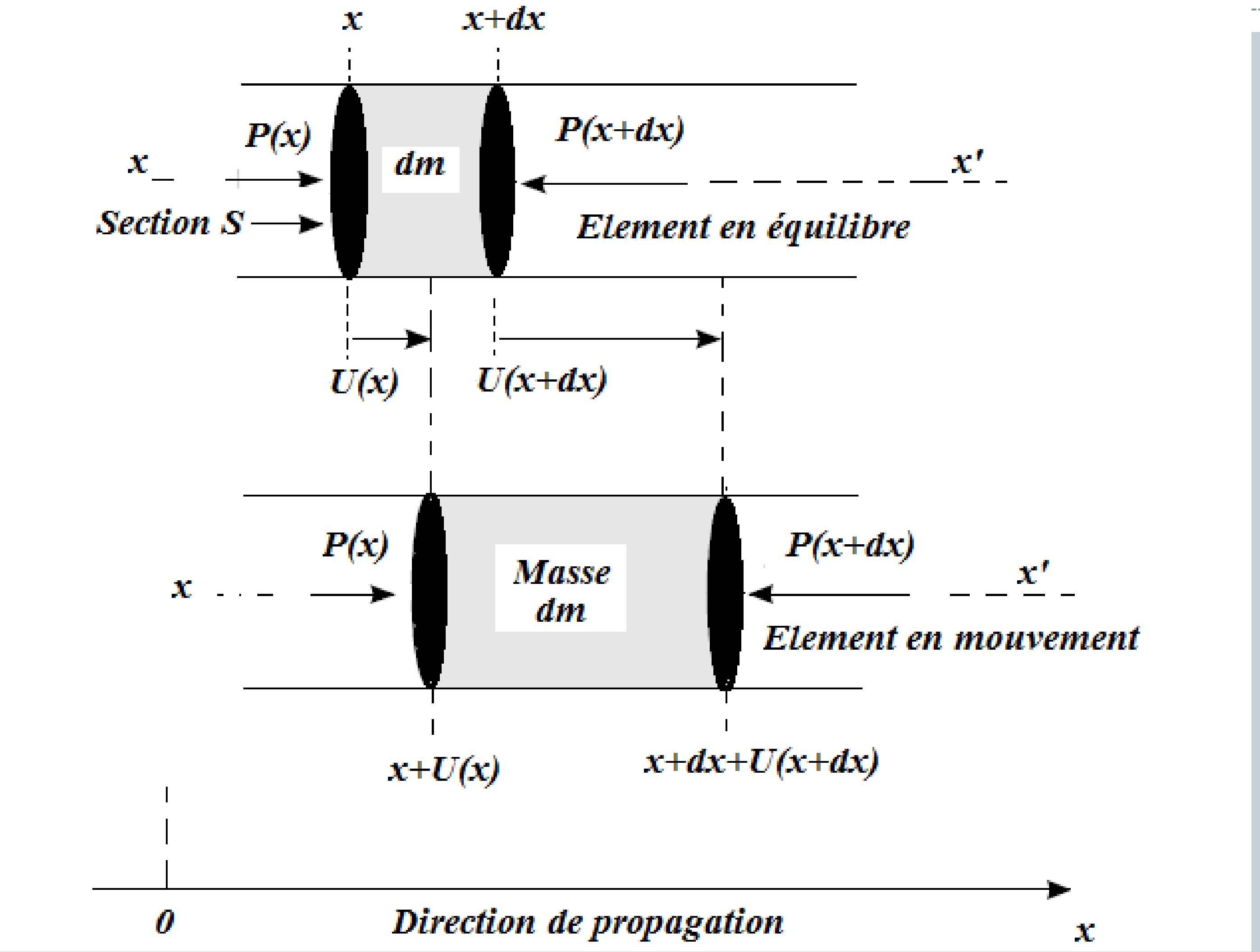

Figure 4.8: Propagation d'onde acoustique dans un fluide

- 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:

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

Avec:

$$\big(P(x+dx) - P(x)\big) = dp = \frac{\partial p}{\partial x}dx$$

- On réécrit **l'équation du mouvement sous** la forme:

$$dm\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -S\frac{\partial p}{\partial x}dx$$

- On définit <u>**la surpression**</u> ***p*** d'un fluide compressible comme suit:

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

χ est appelé le **coefficient de compressibilité**

- **On obtient** après le calcul: $\Rightarrow$ $\rho S dx\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -S\frac{\partial}{\partial x}\left(-\frac{1}{\chi}\frac{\partial U}{\partial x}\right)dx$

- **Finalement**, on a: $\Rightarrow$ $\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{1}{\chi\rho}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \Leftrightarrow \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = V^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$

$V = \sqrt{\frac{1}{\chi\rho}}$:est appelée **la célérité de l'onde sonore dans le fluide**

Vitesse du son *V*:

- **Dans l'air**

$$\begin{cases} \rho = 1.3 kg.m^{-3} \\ \chi = 6.65.10^{-6} Pa^{-1} \end{cases}$$

$$V = 340 m.s^{-1}$$

- **Dans l'eau:**

$$\begin{cases} \rho = 10^{3} kg.m^{-3} \\ \chi = 4.6.10^{-10} Pa^{-1} \end{cases}$$

$$V = 1500 m.s^{-1}$$

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

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

- 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 :

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

- On définit **le produit** $\rho_0 V$ **par l'impédance caractéristique du fluide**

Réflexion et transmission :

- Lors du passage de **l'onde acoustique incidente** du **fluide 1 vers le fluide 2**,

- Il existe à l'interface de séparation, **une onde transmise vers le milieu 2** dans le sens des $x>0$ et **une onde réfléchie** dans le sens des $x<0$ **vers le milieu 1**

- Les types **d'ondes acoustiques** se présentent comme suit:

$$\begin{cases} p_i(x,t) = p_{0i}e^{j(\omega t - k_1 x)} & \textit{onde} \quad \textit{incidente} \\ p_r(x,t) = p_{0r}e^{j(\omega t - k_1 x)} & \textit{onde} \quad \textit{réfléchie} \\ p_t(x,t) = p_{0t}e^{j(\omega t - k_1 x)} & \textit{onde} \quad \textit{transmise} \end{cases}$$

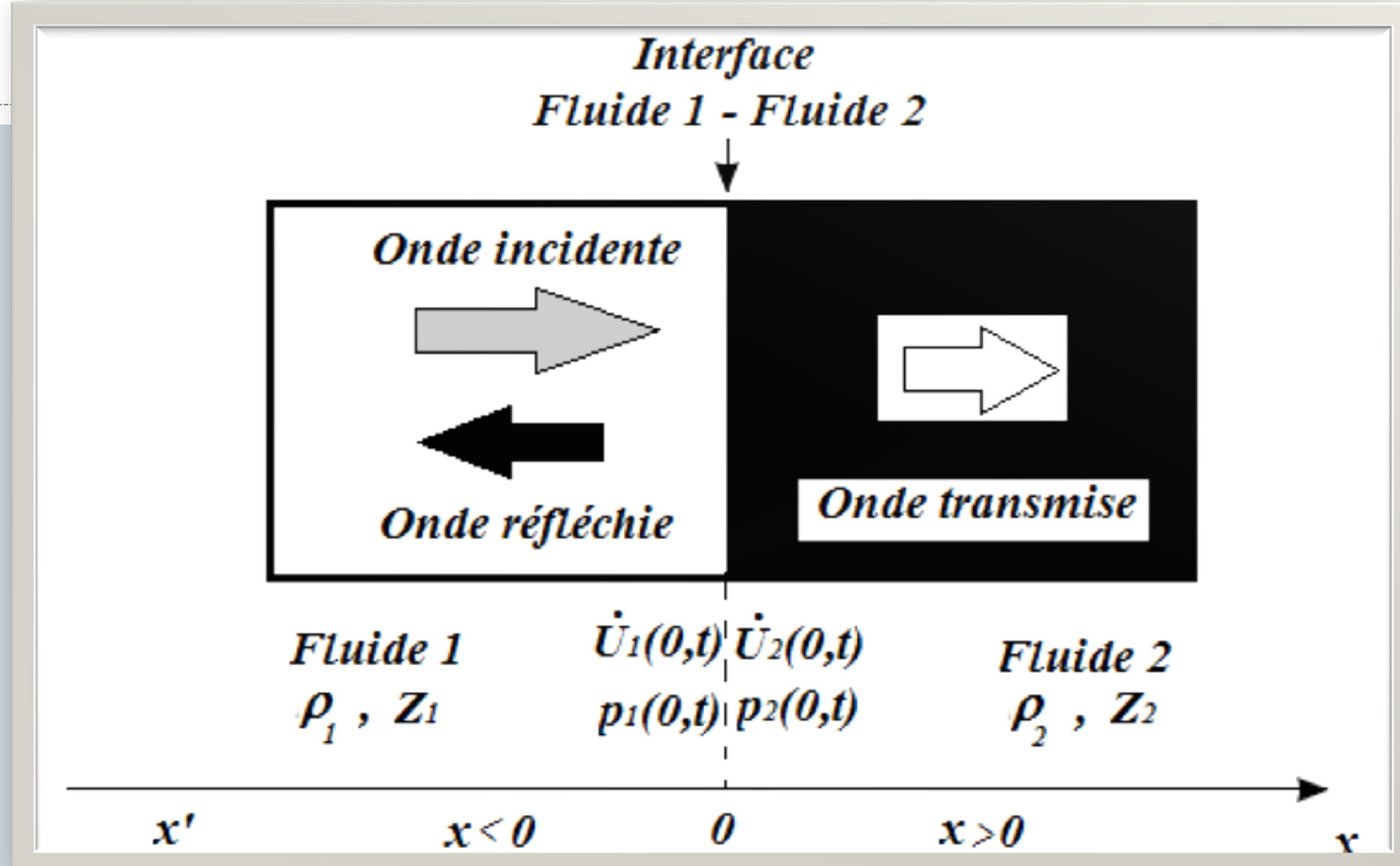

Figure 5.8: Interface fluide-fluide

❖ Les **relations de continuités** à l'interface sont :

$$\begin{cases} p_1(0,t) = p_2(0,t) \\ \dot{U}_1(0,t) = \dot{U}_2(0,t) \end{cases}$$

❖ On en déduit **les équations de continuités** à l'interface en fonctions des caractéristiques :

$$\begin{cases} p_i + p_r = p_t \\ \dfrac{1}{Z_1}(p_i - p_r) = \dfrac{1}{Z_2} p_t \end{cases}$$

Z_1 et ***Z_2*** sont les **impédances mécaniques** des milieux 1 et 2 respectivement,