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

Physique4, ENP (2021-2022), Pr B.Demri, Dr A.Djili, Dr I. Djouada et Dr S.Mermoul

Plan

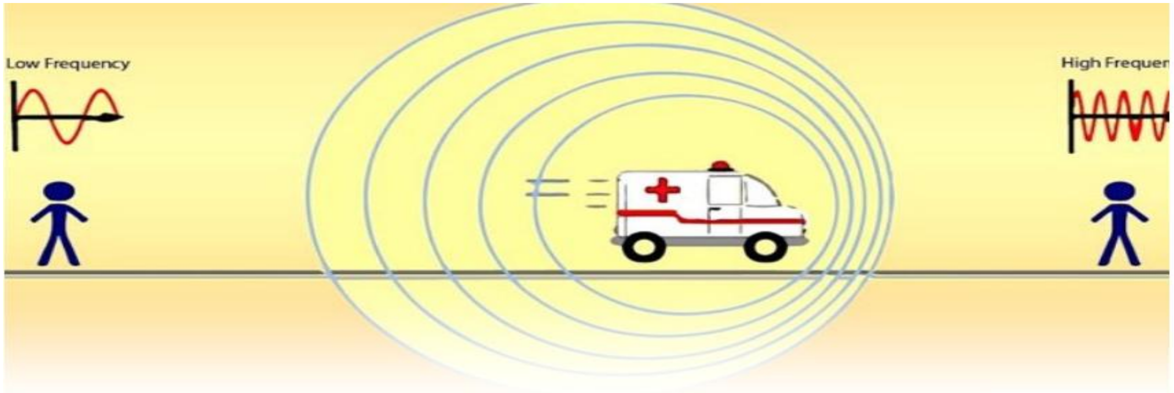
- ☑ ***Rappel de cours***
- ☑ ***Corrigé de l'exercice 7***
- ☐ ***Corrigé de l'exercice 8***
- ☐ ***Questions et réponses***

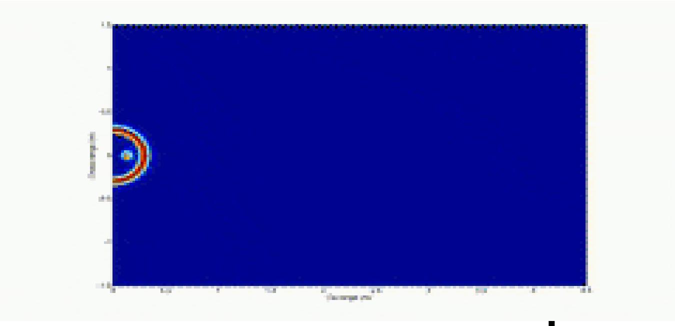
2-Effet Doppler

Définition:

Lorsqu'une source mobile S émet un signal périodique de fréquence f_S, le signal perçu par un récepteur fixe a une fréquence f_R différente

f_S différente f_R



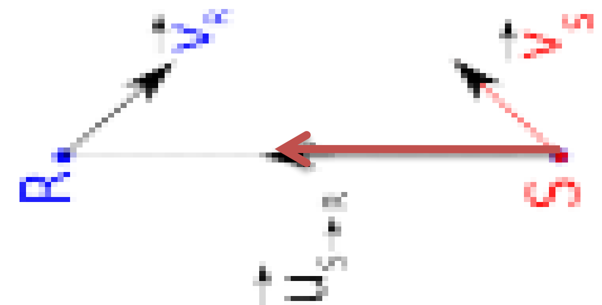


2-Effet Doppler

Dans le cas général

Source S (V_S, émet f_S) → ***Récepteur R (v_R, reçoit f_R)***

$$\boxed{f_R = f_S \frac{1 - \frac{\vec{v}_R \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}{1 - \frac{\vec{v}_S \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}}$$



U le vecteur unitaire dirigé de la source vers le récepteur

C vitesse de l'onde

2-Effet Doppler

1- ***La source est en mouvement et le récepteur est fixe***

$$f_R = \frac{f_S}{1 - \frac{\vec{v}_S \cdot \vec{u}_{S \to R}}{c}}$$

1-1- La source se rapproche du récepteur

$$\vec{v}_s \cdot \vec{u} = v_s$$

$$f_R = \frac{f_S}{1 - \frac{v}{c}}$$

1-2 -La source s'éloigne du récepteur

$$\vec{v}_s \cdot \vec{u} = -v_s$$

$$f_R = \frac{f_S}{1 + \frac{v}{c}}$$

2-Effet Doppler

1- ***La source est en mouvement et le récepteur est fixe***

$$f_R = \frac{f_S}{1 - \frac{\vec{v}_S . \vec{u}_{S \to R}}{c}}$$

1-1- La source se rapproche du récepteur

$$\vec{V}_s \cdot \vec{u} = v_s$$

$$f_R = \frac{f_S}{1 - \frac{v}{c}}$$

1-2 -La source s'éloigne du récepteur

$$\vec{V}_s \cdot \vec{u} = -v_s$$

$$f_R = \frac{f_S}{1 + \frac{v}{c}}$$

2-Effet Doppler

2- La source est maintenant fixe et le récepteur en mouvement

$$f_R = f_S\left(1 - \frac{\vec{v}_R \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}\right)$$

2- 1-Le récepteur se rapproche de La source

$$\vec{v}_r \cdot \vec{u} = -v_r$$

$$f_R = f_S\left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

2-2- ***le récepteur s'éloigne de la source***

$$\vec{v}_r \cdot \vec{u} = v_r$$

$$f_R = f_S\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Exercice 8 : Deux trains roulent en sens inverse, le premier à 144 km/h et le second à 190 km/h. Avant le croisement, le premier lance un sifflement de fréquence f = 2500Hz. Calculer les fréquences des sons perçus voyageant dans le second train avant et après le croisement.

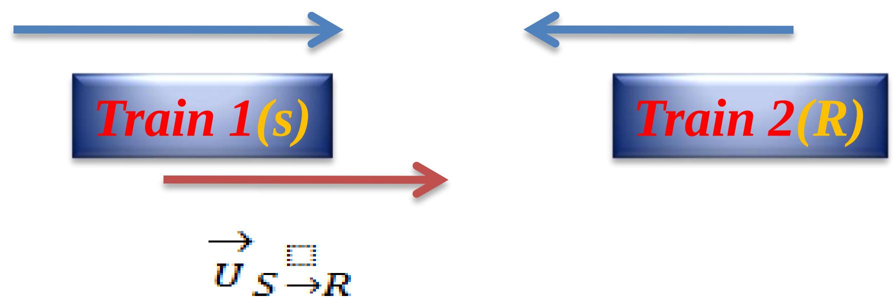
Exercice 8

Avant le croisement

$$f_s = 2500Hz, v_s = 144km/h = 40m/s$$

$$v_0 = 190km/h = 52{,}77m/s$$

$$v = 340m/s$$

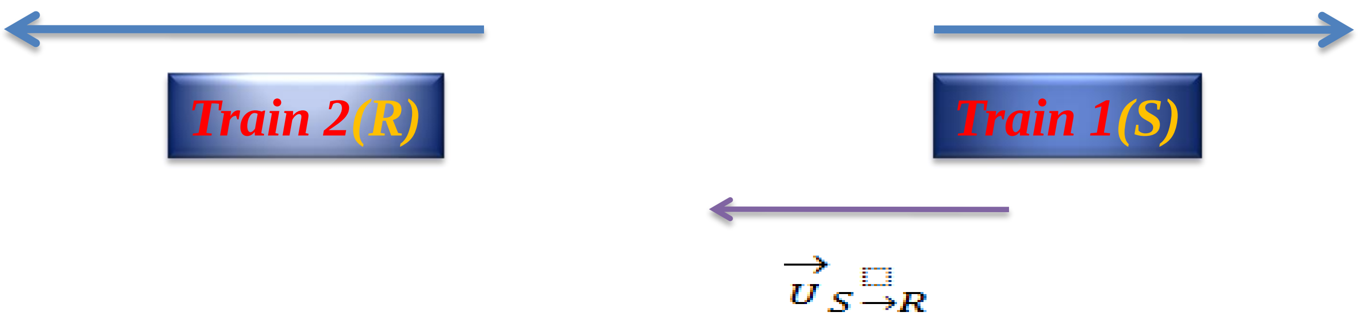


$$\boxed{f_R = f_S \frac{1 - \frac{\vec{v}_R \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}{1 - \frac{\vec{v}_S \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}} \Longrightarrow f_R = f_S \frac{1+\frac{V_R}{C}}{1-\frac{V_S}{C}}$$

$f_R = 3273\ Hz$

Exercice 8

Après le croisement

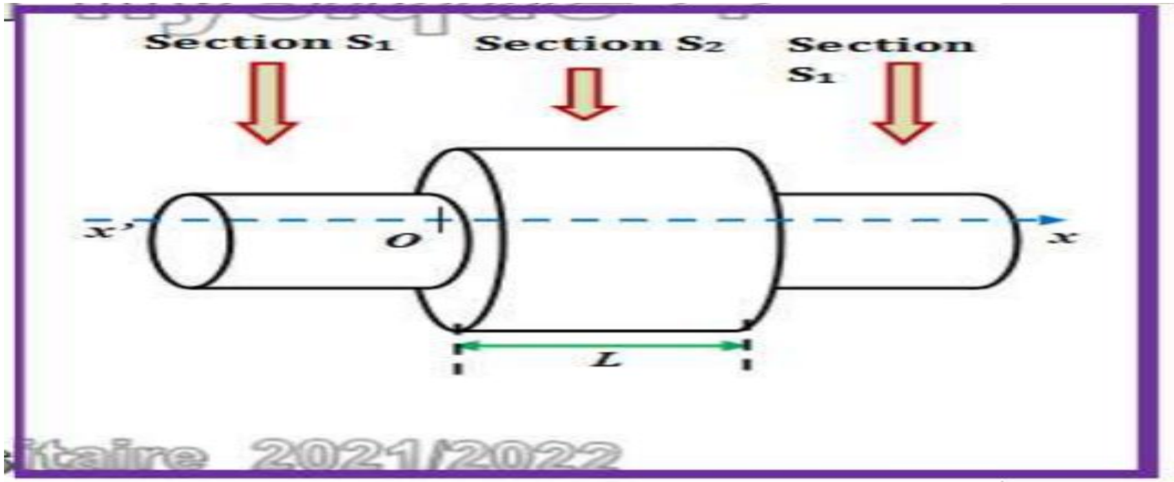


$$f_R = f_S \frac{1 - \frac{\vec{v}_R \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}{1 - \frac{\vec{v}_S \cdot \vec{u}_{S\to R}}{c}}$$

$$f_R = f_s \frac{1 - \frac{V_R}{C}}{1 + \frac{V_S}{C}}$$

$f_R = 1889.67$ Hz

Exercice 7 : Dans tous les véhicules disposant d'un moteur à explosion, les gaz de combustion sont évacués par un tuyau d'échappement. L'explosion provoquée par la combustion du mélange essence-air donne naissance à une onde de pression qui se propage à l'intérieur de ce tuyau et peut donner lieu à des bruits extrêmement désagréables. Pour limiter l'intensité de ce son, on utilise un pot d'échappement (ou "silencieux") qui est constitué d'un tuyau de section supérieure à la section du tuyau d'échappement. On se propose ici d'étudier le fonctionnement d'un tel dispositif qui peut être modélisé par le schéma ci-dessous. Ce système simplifié est constitué d'un tuyau de longueur semi-infinie et de section S_1, terminé en $x = 0$ par un second tuyau de longueur et de section $S_2 > S_1$. En $x = \boldsymbol{L}$, ce tuyau est prolongé par un tuyau de longueur infinie et de section S_1. Ces tuyaux contiennent le même mélange gazeux de masse volumique ρ dans lequel les ondes acoustiques se propagent à la vitesse V. Les impédances acoustiques caractéristiques respectives des tuyaux de sections S_1 et S_2 sont respectivement $Z_1 = \rho V/S_1$ et $Z_2 = \rho V/S_2$.



1°) L'onde acoustique issue du moteur est représentée par : $A_1 e^{j\omega(t - x/V)}$. Expliquer pourquoi le champ de pression acoustique peut s'écrire :

Région a (x < 0) : $p_1(x,t) = A_1.e^{j(\omega t - kx)} + B_1.e^{j(\omega t + kx)}$

Région b (0 < x < *L*: $p_2(x,t) = A_2.e^{j(\omega t - kx)} + B_2.e^{j(\omega t - kx)}$

Région c (x > *L*) : $p_3(x,t) = A_3.e^{j(\omega t - kx)}$

Que représentent A_1, B_1, A_2, B_2 et A_3?

2°) Calculer, en fonction des données du 1°) et des impédances Z_1 et Z_2, les débits $d_1 = S_1 u'_1$, $d_2 = S_2 u'_2$ et $d_3 = S_1 u'_3$ correspondant respectivement aux régions a, b et c. u'_1 , u'_2 et u'_3 représentent la vitesse de particules dans chacune de ces régions.

3°) Ecrire les relations de continuité (débit et pression) en x = 0 et en déduire l'expression de A_1 en fonction de A_2 et B_2.

4°) Ecrire les relations de continuité (débit et pression) en x = et en déduire l'expression de A_2 et B_2 en fonction de A_3.

5°) Montrer que dans le cas où $S_2 = 4\,S_1$, le coefficient de transmission en intensité acoustique défini par $\boldsymbol{\alpha_t} = |A3/A1|^2$ peut se mettre sous la forme :

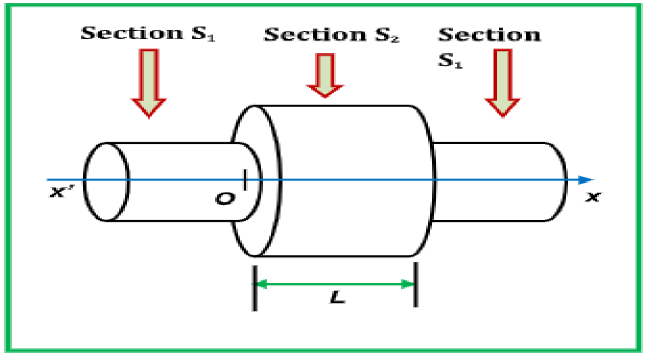
$$\alpha_t = \frac{1}{1 + \beta.sin^2\left(\frac{\omega L}{V}\right)}$$

où β est une constante positive dont on précisera la valeur.

6°) ω et V étant données, pour quelles valeurs de la longueur le coefficient α_t est il minimal? Calculer cette valeur minimale et conclure.

Exercice 7

Pot d'échappement ou silencieux



Diminuer le bruit produit
Par le moteur du véhicule

Onde acoustique

Exercice 7

1-

Région a $(x < 0)$: $p_1(x,t) = A_1.e^{j(\omega t - kx)} + B_1.e^{j(\omega t + kx)}$

Région b $(0 < x < L$: $p_2(x,t) = A_2.e^{j(\omega t - kx)} + B_2.e^{j(\omega t + kx)}$

Région c $(x > L)$: $p_3(x,t) = A_3.e^{j(\omega t - kx)}$

Région a : *L'onde émise par le moteur dans le premier tuyau (vers les x croissants) et l'onde réfléchie en x=o (vers les x décroissants)*

Région b: *L'onde transmise dans le deuxième tuyau* **(vers les x croissants)** *et l'onde réfléchie en x=L* **(vers les x décroissants)**

Région c: *L'onde transmise dans le dernier tuyau (vers les x croissants)*

Exercice 7

2- les débits d1, d2 et d3 ?

$$\text{Débit } d = \rho s \dot{u}$$

Même liquide (gaz) ρ= cte
Dans les trois tuyaux

$$d_1 = S_1 \dot{u}_1$$

$$d_2 = S_2 \dot{u}_2$$

$$d_3 = S_1 \dot{u}_3$$

Avec les deux relations : $\begin{cases} U(x,t) = -\frac{1}{\kappa} \int p(x,t)dx \\ \dot{U}(x,t) = \frac{du(x,t)}{dt} \end{cases}$

Exercice 7

$$d_1 = \frac{1}{z_1}\left(A_1 e^{j(wt-kx)} - B_1 e^{j(wt+kx)}\right)$$

$$d_2 = \frac{1}{z_2}\left(A_2 e^{j(wt-kx)} - B_2 e^{j(wt+kx)}\right)$$

$$d_3 = \frac{1}{z_1} A_3 e^{j(wt-kx)}$$

3- La continuité de pression et débit ?

$$En\ x = o \Rightarrow \begin{cases} p_1(0,t) = p_2(0,t) \\ d_1(0,t) = d_2(0,t) \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} A_1 + B_1 = A_2 + B_2 \\ \frac{1}{z_1}(A_1 - B_1) = \frac{1}{z}(A_2 - B_2) \end{cases}$$

Exercice 7

$$\boxed{A_1 = \frac{A_2}{2}\left(1+\frac{Z_1}{Z_2}\right)+\frac{B_2}{2}\left(1-\frac{Z_1}{Z_2}\right)}$$

$$En\ x = L \Rightarrow \begin{cases} p_2(L,t) = p_3(L,t) \\ d_2(L,t) = d_3(L,t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_2 e^{-jkl} + B_2 e^{+jkl} = A_3 e^{-jkl} \\ \dfrac{1}{Z_2}(A_2 e^{-jkl} - B_2 e^{+jkl}) = \dfrac{1}{Z_1} A_3 e^{-jkl} \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_2 = f(A_3) \\ B_2 = f(A_3) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_2 = \dfrac{A_3}{2}\left(1+\dfrac{Z_2}{Z_1}\right) \\ B_2 = \dfrac{A_3}{2}\left(1-\dfrac{Z_2}{Z_1}\right)e^{-2jkl} \end{cases}$$

Exercice 7

5- Pour S2= 4S1 monter que $\alpha_t = \left|\frac{A_3}{A_1}\right|^2 = \frac{1}{1+\beta sin^2(\frac{wl}{v})}$?

Pour S2= 4S1

$$\begin{cases} A_1 = 5\dfrac{A_2}{2} - 3\dfrac{B_2}{2} \\ A_2 = 5\dfrac{A_3}{8} \\ B_2 = 3\dfrac{A_3}{8}e^{-2jkL} \end{cases}$$

$$\frac{A_3}{A_1} = \frac{16}{25 - 9e^{-2jkL}} = \frac{16e^{jkL}}{16coskL - 34sinkL}$$

Exercice 7

$$\alpha_t = \left|\frac{A_3}{A_1}\right|^2 = \frac{1}{1+\beta \sin^2(kL)} = \frac{1}{1+\beta \sin^2(\frac{wl}{v})}$$

$$\boxed{\beta = 3.5}$$

$$\alpha_t = \left|\frac{A_3}{A_1}\right|^2 = \frac{I_{t3}}{I_{i1}} = \left|\frac{p_{t3}}{p_{i1}}\right|^2$$

$$\boxed{\alpha_t = T_I}$$

(Z1=Z3)

Exercice 7

α_t *est minimale pour* → $sin^2(kL) = 1$

$kL = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ → $\boxed{\alpha_t = 0{,}22}$

↓

l'intensité sonore est atténuée de près de 80%

Exercice 7

Comparaison

L'échographie → *Efficace* → *Une bonne transmission (I)*

Pot d'échappement → *Efficace* → *Une faible transmission (I)*
Bonne atténuation

Merci de votre attention