■ CORRIGE DU CONTROLE 2 ■

Exercice 1

1. Les ultrasons correspondent à des ondes de pression (même nature que les ondes sonores) de fréquence supérieure à 20 kHz. Une onde de pression se traduit par une déformation locale du milieu de propagation mais sans transport de matière.

2. Au-delà de 10 GHz, on parle plutôt « d'hypersons ». Les ultrasons peuvent être produits par des vibrations de quartz piézoélectriques (sondes des échographes). La gamme de fréquences des ultrasons est donc [20 kHz ; 10 GHz]

3. L'impédance acoustique Z d'un milieu est donnée par : $Z = \rho\, c$

ρ : masse volumique du milieu (en $kg.m^{-3}$))

c : vitesse de propagation de l'onde « sonore » (en $m.s^{-1}$) .

Z s'exprime en $kg.m^{-2}.s^{-1}$

4. a) $\boxed{\Delta t_1 = \frac{L_1}{c}}$

b) $\boxed{\tau_1 = \Delta t_1 + t_1 = \frac{L_1}{c}}$ car : $t_1 = 0$

c) Entre les instants $t_1 = 0$ et $t_2 = T$, l'émetteur E parcourt la distance $d = v \times T$. Il se trouve donc, à l'instant $t_2 = T$, à la distance L_2 du récepteur : $\boxed{L_2 = L_1 - v \times T}$

d) Le signal émis à l'instant $t_2 = T$ ne parcourt que la distance L_2 avant d'arriver au récepteur ; on a donc : $\boxed{\Delta t_2 = \frac{L_1 - v \times T}{c}}$

e) $\tau_2 = \Delta t_2 + t_2 = \frac{L_1 - v \times T}{c} + T$ soit : $\tau_2 = \frac{L_1}{c} + T\left(1 - \frac{v}{c}\right)$

et, enfin : $\boxed{\tau_2 = \tau_1 + T\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$ (relation a)

f) Entre les instants $t_2 = T$ et $t_3 = 2\,T$, l'émetteur E parcourt encore la distance $d = v \times T$. Il se trouve donc, à l'instant $t_3 = 2\,T$, à la distance L_3 du récepteur : $\boxed{L_3 = L_1 - 2\,v \times T}$

g) Le signal émis à cet instant ne parcourt que la distance L_3 avant d'arriver au récepteur ; on a donc : $\boxed{\Delta t_3 = \frac{L_1 - 2\,v \times T}{c}}$

h) $\tau_3 = \Delta t_3 + t_3 = \frac{L_1 - 2\,v \times T}{c} + 2\,T$ soit : $\tau_2 = \frac{L_1}{c} + 2\,T\left(1 - \frac{v}{c}\right)$

et, enfin : $\boxed{\tau_3 = \tau_1 + 2\,T\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$ ou encore : $\boxed{\tau_3 = \tau_2 + T\left(1 - \frac{v}{c}\right)}$ (b)

i) En utilisant les relations (a) et (b), on obtient :

$$\boxed{\Delta\tau_1 = T\left(1-\frac{v}{c}\right)} \text{ et } \boxed{\Delta\tau_2 = T\left(1-\frac{v}{c}\right)}$$

Conclusion : A intervalle de temps régulier, le récepteur R reçoit, les « bips » émis par E. Pour R, le signal reçu a la période $T\left(1-\frac{v}{c}\right)$ ce qui correspond à une fréquence : $f_R = \dfrac{1}{T\left(1-\frac{v}{c}\right)} = \dfrac{f}{\left(1-\frac{v}{c}\right)}$ $(f_R > f)$

car : $T = \frac{1}{f}$.(f : fréquence d'émission des « bips »).

Remarque : Ce phénomène est mis à profit dans l'échographie-Doppler.

Exercice 2

A – Fréquence

Le domaine des fréquence audibles par l'oreille humaine est compris entre 20 Hz et 20 kHZ. A partir de 20 kHz, commence le domaine des ultrasons.

B – Vitesse de propagation

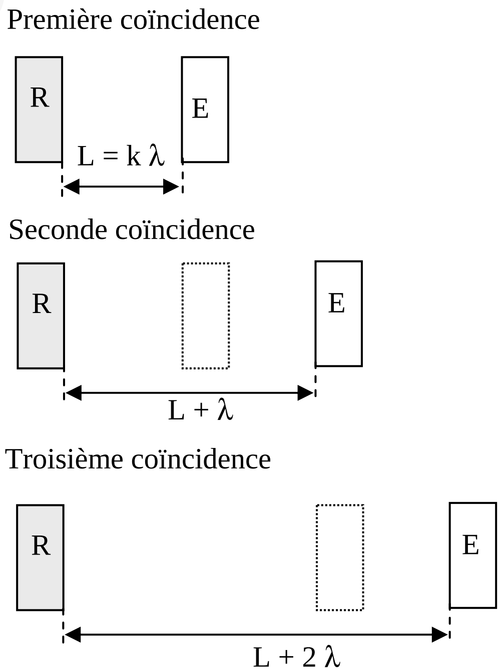
1. La vitesse de propagation d'une onde dépend légèrement de la fréquence de l'onde (voir exercice 3 du Contrôle 1 - Chapitre 2).

2. La célérité des sons et ultrasons, dans l'air sec et à température ambiante est de l'ordre de 340 m /s.

3. a) L'amplitude de l'onde sonore décroît lorsque l'onde s'éloigne de la source. Cette décroissance s'explique par l'éloignement mais aussi par la dissipation d'une partie de l'énergie acoustique dans le milieu matériel.

Attention !

A la onzième coïncidence, l'écartement entre E et R a été augmenté de 10 λ !



On a donc : $\lambda = \dfrac{8,6\text{ cm}}{10}$

Quatre périodes couvrent 10 divisions de l'écran de l'oscilloscope ; on en déduit : $4T \cong 10\text{ div} \times 10\ \mu\text{s / div}$ puis : $T \cong 25\ \mu\text{s}$

On est en mesure, maintenant de calculer la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore :

$$\boxed{c = \frac{\lambda}{T}} \qquad \text{A.N.} : c \cong 344\ \text{m.s}^{-1}$$

b) Le décalage horaire entre les deux signaux est lié à la distance d = 1 m entre la source et du récepteur. Il s'exprime par : $\Delta t = \frac{d}{c}$.

Ce décalage horaire est représenté par 5,8 divisions :

$$\Delta t \cong 5{,}8\ \text{div} \times 0{,}5\ \text{ms / div}$$

On en déduit : $\boxed{c = \frac{d}{\Delta t}}$ $\qquad$ A.N. : $c \cong 345\ \text{m.s}^{-1}$

C – Réflexion

1. L'impédance acoustique Z d'un milieu est donnée par : $\boxed{Z = \rho\, c}$

ρ : masse volumique du milieu (en kg.m^{-3}))

c : vitesse de propagation de l'onde « sonore » (en m.s^{-1}).

Z s'exprime en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

2. Applications numériques :

$$Z_m \cong 1{,}64 \times 10^6\ \text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1} \quad \text{et} \quad Z_g \cong 1{,}33 \times 10^6\ \text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$\alpha_r = \frac{(Z_m - Z_g)^2}{(Z_m + Z_g)^2} \cong 1\,\% \quad \text{et} \quad \alpha_t = \frac{4\, Z_m\, Z_g}{(Z_m + Z_g)^2} \cong 99\,\%$$

Conclusion : les ondes ultrasonores seront peu réfléchies au passage de l'interface graisse-muscle (ou muscle-graisse). Les échos parasites générés par l'existence de telles interfaces seront donc faibles et ne perturberont pas l'examen des autres tissus.

Notons que l'interface air-peau est un « obstacle » (grande différence d'impédance acoustique ; $Z_{air} \cong 430\ \text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) pour la pénétration des ultrasons, obstacle qu'il faut modifier en interposant un gel entre la sonde de l'échographe et la peau.

Cas d'une interface air / graisse :

$$\alpha_r = \frac{(Z_{air} - Z_g)^2}{(Z_{air} + Z_g)^2} \cong 100\,\%$$