

Surveiller la circulation cérébrale par Doppler transcrânien

Terminale spécialité Physique-Chimie · Ondes progressives, son, effet Doppler

1. Identifier l'écho de l'ACM

Pour un écho reçu avec un retard τ , l'onde a effectué un aller-retour entre la sonde et la zone réfléchissante. La distance parcourue vaut donc $2d$:

$$2d = c\tau \quad \Leftrightarrow \quad d = \frac{c\tau}{2}.$$

L'origine des dates est l'émission de la salve, et un écho commence à être reçu dès que son front atteint la sonde. Le retard τ se lit donc **au début de chaque écho**, là où le signal quitte la ligne de base — et non au maximum de l'enveloppe, qui correspond au milieu de la salve et parvient à la sonde plus tard.

Sur l'enregistrement 1, les trois échos débutent vers $37 \mu\text{s}$, $68 \mu\text{s}$ et $105 \mu\text{s}$. Ils correspondent respectivement aux profondeurs

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{1,54 \times 10^3 \times 37 \times 10^{-6}}{2} \simeq 28 \text{ mm}, \\ d_2 &= \frac{1,54 \times 10^3 \times 68 \times 10^{-6}}{2} \simeq 52 \text{ mm}, \\ d_3 &= \frac{1,54 \times 10^3 \times 105 \times 10^{-6}}{2} \simeq 81 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Les retards ne se lisant qu'à environ $1 \mu\text{s}$ près, les profondeurs sont données à deux chiffres significatifs. Seul le deuxième écho appartient à l'intervalle 50-60 mm :

l'écho qui débute vers $68 \mu\text{s}$ peut provenir de l'ACM.

Pourquoi pas le maximum. Relever les sommets des enveloppes (40 , 72 et $110 \mu\text{s}$) conduit à 31 , 55 et 85 mm : la sélection reste la même, mais chaque profondeur est surestimée de 3 à 4 mm , car on ajoute alors au trajet aller-retour la demi-durée de la salve. Seule la lecture du front de montée situe l'interface qui renvoie l'écho.

2. Décalage Doppler

Pour limiter l'incertitude de lecture, on mesure plusieurs périodes sur l'enregistrement 2. Cinq périodes occupent environ $1,39 \text{ ms}$:

$$T \simeq \frac{1,39 \times 10^{-3}}{5} = 2,78 \times 10^{-4} \text{ s}.$$

La fréquence du signal est égale à $|\Delta f|$. Ainsi,

$$|\Delta f| = \frac{1}{T} \simeq \frac{1}{2,78 \times 10^{-4}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{|\Delta f| \simeq 3,60 \text{ kHz.}}$$

3. Signe du décalage Doppler

D'après la figure de la géométrie de l'examen, les globules rouges qui jouent le rôle d'obstacles diffuseurs s'éloignent de la sonde. La fréquence reçue est donc inférieure à la fréquence émise :

$$f_{\text{reçue}} < f_{\text{émise}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta f < 0}.$$

Le traitement électronique ne fournit que la valeur absolue du décalage. Ici, le décalage Doppler physique vaut donc environ $\Delta f = -3,60 \text{ kHz}$.

4. Vitesse moyenne du sang

On isole v dans la relation fournie :

$$|\Delta f| = \frac{2f_E v \cos \theta}{c} \quad \Leftrightarrow \quad v = \frac{c|\Delta f|}{2f_E \cos \theta}.$$

Avec $f_E = 2,00 \times 10^6 \text{ Hz}$ et $|\Delta f| = 3,60 \times 10^3 \text{ Hz}$:

$$v = \frac{1,54 \times 10^3 \times 3,60 \times 10^3}{2 \times 2,00 \times 10^6 \times \cos(25^\circ)} \simeq 1,53 \text{ m s}^{-1}.$$

Pour confronter cette valeur au document 3, on la convertit :

$$\boxed{v \simeq 153 \text{ cm s}^{-1}.$$

5. Conclusion transmise au médecin

L'écho retenu correspond à une profondeur d'environ 52 mm, compatible avec la position recherchée de l'artère cérébrale moyenne. La vitesse moyenne mesurée, environ 153 cm s^{-1} , appartient à l'intervalle $150 \leq v < 200 \text{ cm s}^{-1}$.

La mesure est donc **compatible avec un vasospasme modéré**. Cette conclusion doit rester prudente : le Doppler seul ne suffit pas à établir définitivement un diagnostic médical.