

Principe du vélocimètre sanguin à effet Doppler

Réflexion des ultrasons et effet Doppler

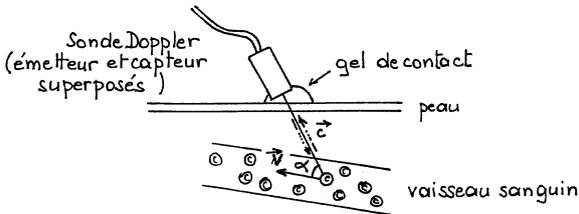
par R. MÉLIN
Lycée Ernest Bichat - 54301 Luneville

Les appareils médicaux de prospection médicale sont toujours des applications de phénomènes physiques ou chimiques. Les utilisations des ultrasons et de l'effet Doppler conduisent à des examens non traumatisants, classiques aujourd'hui dans un cabinet médical.

L'effet Doppler, appliqué à l'étude de la circulation sanguine est introduite en France dès 1963 par M. L. POURCELOT. La commercialisation d'appareils directionnels (c'est-à-dire sensibles au sens du débit sanguin) au lieu dans la période 1967-1968.

1. LE VÉLOCIMÈTRE SANGUIN À EFFET DOPPLER

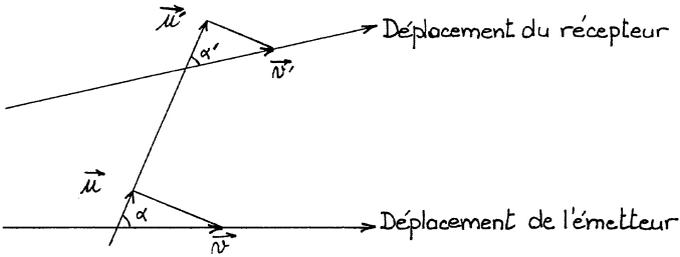
1.1. Principe



Les fréquences émises varient de 2 MHz (pour les tissus profonds) à 10 MHz (pour les tissus superficiels). La célérité des sons dans les tissus est de l'ordre de $1\,500\text{ ms}^{-1}$. La vitesse de déplacement du sang (les hématies servant majoritairement de réflecteurs) varie de 0 à $1,5\text{ ms}^{-1}$.

1.2. L'effet Doppler

(Christian DOPPLER - Physicien et mathématicien autrichien - 1803-1853)



$$\frac{N'}{N} = \frac{c - u'}{c - u}$$

c : célérité du signal dans le milieu considéré,

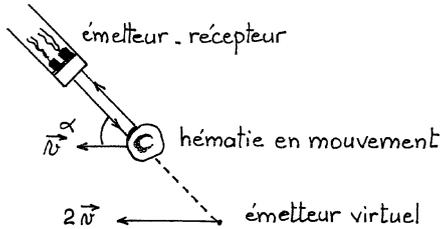
N' : fréquence du signal reçu par le récepteur,

N : fréquence du signal émis par l'émetteur,

$u' = v' \cos \alpha'$ \vec{v}' : vitesse de déplacement du récepteur,

$u = v \cos \alpha$ \vec{v} : vitesse de déplacement de l'émetteur.

1.3. Application au vélocimètre sanguin



Chaque hématie se comporte comme un miroir renvoyant au récepteur l'image virtuelle d'un émetteur se déplaçant à la vitesse $2\vec{v}$ d'où

$\frac{N'}{N} = \frac{c}{c - 2v \cos \alpha}$ si N' voisin de N ou $2v \cos \alpha \ll c$ alors :

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{2v \cos \alpha}{c}$$

Un premier traitement du signal reçu doit être effectué pour éliminer les réflexions sur les obstacles fixes : peau, paroi du vaisseau...

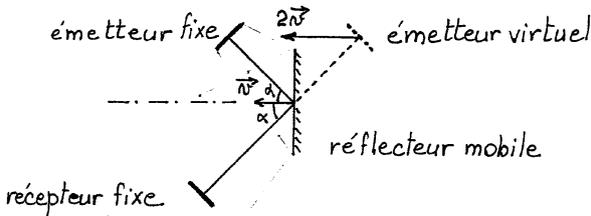
Un second traitement est réalisé pour faire apparaître $v = f(t)$ nécessaire à une observation médicale interprétable.

2. PRINCIPE DE LA MANIPULATION

2.1. But de la manipulation

Évidemment, on ne peut avoir la prétention de fabriquer un «Doppler sanguin» dans une classe de lycée. A partir des connaissances de la classe de seconde et d'une bonne maîtrise de la pratique de l'oscilloscope, la manipulation permet de réaliser une ouverture vers les applications (médecine, radar...) d'un phénomène physique.

2.2. Principe

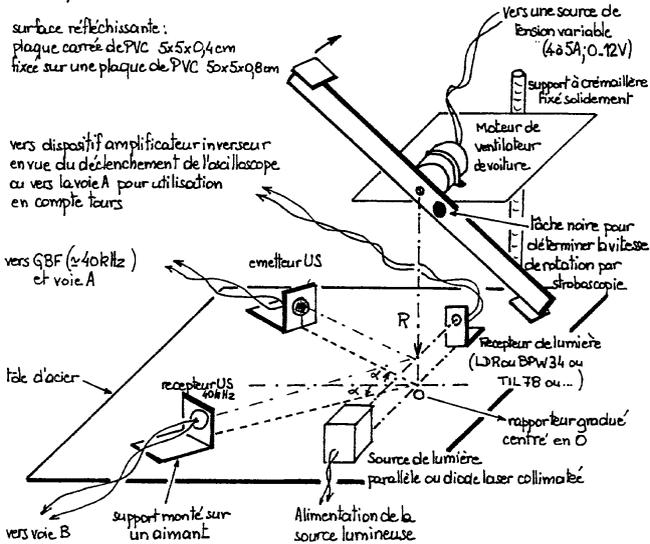


Comme dans le vélocimètre sanguin, il est facilement réalisable de «superposer» ou presque émetteur et récepteur et d'utiliser un réflecteur sphérique, mais l'intensité du faisceau réfléchi ne permet pas, sans amplification (qui complique le montage) d'obtenir un signal facilement observable. Aussi, le choix d'un réflecteur plan et de la dissociation émetteur-récepteur est justifié ; il permet de plus, d'effectuer une étude de l'influence de l'angle α dans l'effet Doppler.

3. RÉALISATION

3.1. Dispositif expérimental

La vitesse linéaire du réflecteur ne dépasse pas 10 ms^{-1} . Pour simplifier les mesures, il est nécessaire que le temps de celles-ci soit bref de façon à admettre que $2v \cos \alpha = \text{Cste}$. Il faut remarquer que le temps de mesure correspond à un déplacement angulaire approximatif du réflecteur de 2° .



3.2. Mesure de N'

Elle peut s'effectuer pendant ce temps bref de deux façons différentes.

a - Utilisation d'un oscilloscope à mémoire numérique

On enregistre le signal émis et le signal reçu visualisés grâce au déclenchement de l'oscilloscope obtenu par l'extinction du faisceau lumineux (l'utilisation d'un montage inverseur est nécessaire pour traiter le signal issu du récepteur de lumière). On peut alors déduire ou lire N' .

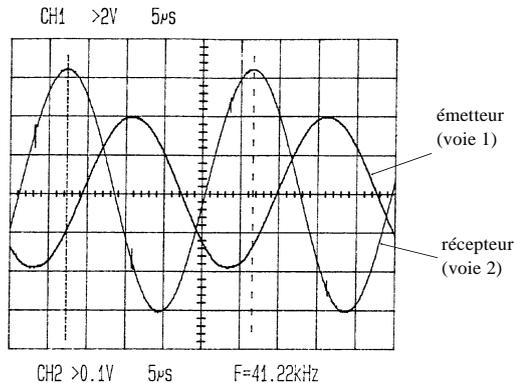


Figure 1

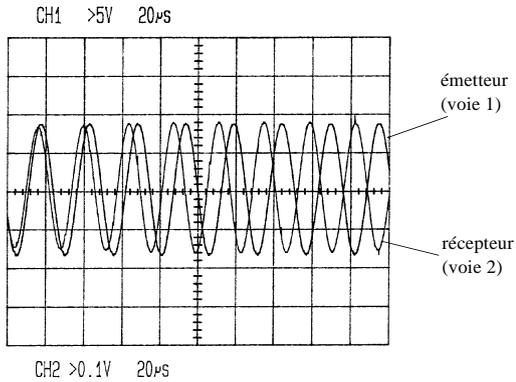


Figure 1 bis

b - Utilisation d'un oscilloscope analogique

Deux cas peuvent se présenter :

- l'oscilloscope possède le mode de déclenchement Vert., alors on peut déterminer sur l'écran les mêmes indications que précédemment,
- l'oscilloscope est plus simple, mais possède la fonction $Y_1 + Y_2$. On somme alors les informations des voies A et B et on obtient un phénomène de battement correct (en approchant ou éloignant le récepteur du point O pour obtenir deux signaux de tension égale) dont la fréquence $\Delta N = N' - N$.

N est lu grâce à un fréquencemètre.

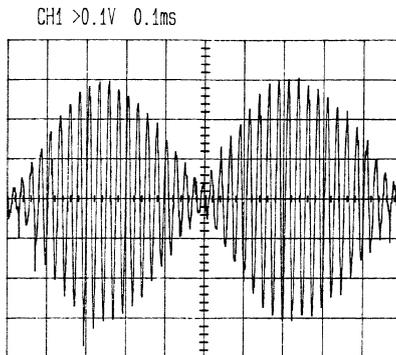


Figure 2

3.3. Mesure de v

Elle peut être obtenue de deux façons différentes

a - Le dispositif de déclenchement de l'oscilloscope est relié à la voie A (avec déclenchement sur voie A). Le temps de passage entre chaque réflecteur est déterminé directement sur l'écran de l'oscilloscope.

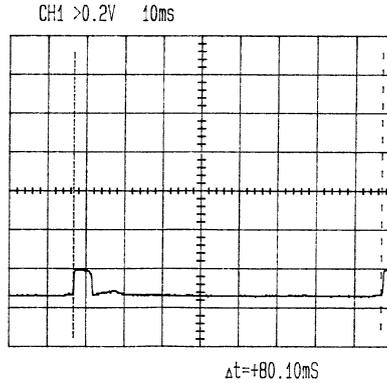


Figure 3

b - La vitesse de rotation d'un diamètre portant les réflecteurs est déterminée grâce à un stroboscope.

3.4. La mesure de α

La mesure de α est plus délicate vu la technique employée : un rapporteur gradué de grande taille, solidaire du support permet d'orienter émetteur et récepteur selon les rayons du rapporteur.

4. EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS

4.1. On fixe $\alpha = 25^\circ$

R_1 distance de l'axe de rotation à l'axe des émetteur, récepteur : 0,24 m.

4.2. Mesures de N et N'

N a été fixée à la limite inférieure de la bande passante du récepteur.

a - Utilisation de l'oscilloscope numérique (voir figure 1 ou 1 bis)

$$N = 39,2 \cdot 10^3 \text{ Hz} \quad N' = 41,2 \cdot 10^3 \text{ Hz.}$$

b - Utilisation de l'oscilloscope analogique (voir figure 2)

$N = 39,2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ mesurée au fréquencemètre

$\Delta N' = 2,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ fréquence des battements

d'où $N' = 41,2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$.

4.3. Vitesse linéaire du réflecteur

a - Utilisation de l'oscilloscope (voir figure 3)

Intervalle de temps entre deux passages d'un réflecteur : 80,1 ms
d'où $T = 160,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ (le dispositif comporte deux réflecteurs)

$$\text{d'où } v = \frac{2 \pi R}{T} = \frac{2 \pi \cdot 0,24}{160,2 \cdot 10^{-3}} = 9,4 \text{ ms}^{-1}.$$

b - Utilisation du stroboscope

On lit $N_R = 376 \text{ trs. min}^{-1}$ d'où :

$$v = 2 \pi R N_R = \frac{2 \pi \cdot 0,24 \cdot 376}{60} = 9,45 \text{ ms}^{-1}.$$

Les deux résultats sont compatibles : $v = 9,4 \text{ ms}^{-1}$.

4.4. Vérification de la relation $\frac{N'}{N} = \frac{c}{c - 2 v \cos \alpha}$

c est mesurée à 342 ms^{-1} (mesure préliminaire). Ce qui conduit à
 $v = 9,2 \text{ ms}^{-1}$.

5. CONCLUSIONS

5.1. Les incertitudes de mesures

Elles proviennent surtout de la détermination de l'angle α qui nécessiterait un dispositif mécanique lourd, non disponible dans les lycées classiques.

5.2. Manipulation

Cette manipulation peut être exploitée de différentes manières

- étude de l'effet Doppler : influence de v , influence de α ,
- étude et utilisation de dispositifs électroniques,
- utilisation de l'oscilloscope.

5.3. Application

Mesure d'une vitesse instantanée d'un solide en translation avec un oscilloscope numérique : c'est le principe du cinémomètre de la Police.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier M. P. MALLEUS (I.P.R. des Sciences Physiques) pour l'intérêt qu'il a porté à l'interprétation de la manipulation et M. V. ROYAUX (Docteur en médecine, ancien élève du Lycée Bichat) pour l'aide documentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- R. FAUCHER - *Physique* - Classe de Mathématiques et Sciences Expérimentales Programme 1957 - Éditions 1966 - Hatier.
- C. KITTEL, W.-D. KNIGHT et M.-A. RUDERMAN - *Berkeley* - Cours de Physique - A Colins.
- P. PERONNEAU - *Application médicales des ultrasons* - Revue du Palais de la Découverte n° 89 - Volume 9.
- L. POURCELOT - *Application de l'examen Doppler à l'étude de la circulation sanguine périphérique* - Specia.