THEME 01 ANALYSER & DIAGNOSTIQUER
Td 03 – Echographie Doppler

Exercice 1.

La sirène d'un camion de pompiers émet deux sons de fréquence f_1 = 488 Hz et f_2 = 435 Hz.

1. Des deux fréquences émises par la sirène du camion de pompiers, laquelle peut-on qualifier de plus aïgue ?
2. Le camion se rapproche d'un observateur immobile.

   Indiquer si l'observateur perçoit des fréquences identiques, inférieures ou supérieures à celles de la sirène ?

   En déduire si le son perçu par l'observateur est plus aigü ou plus grave.
3. Quel est le nom du phénomène observé ?

Exercice 2.

En essayant d'être le plus complet et clair, expliquer en quelques mots à quoi sert une échographie Doppler.

Indiquer :

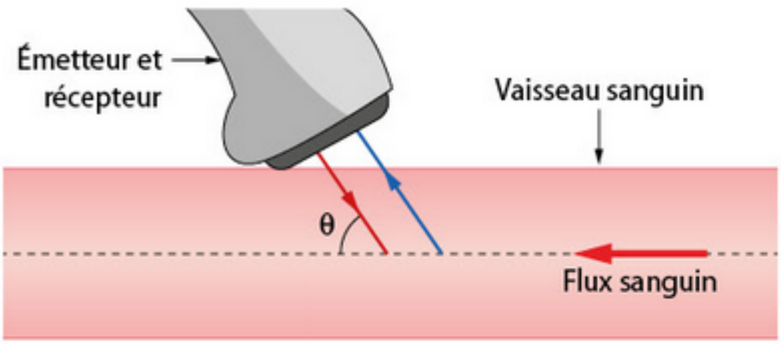
- Quelle grandeur est mesurée au cours de cet examen.
- Quels éléments du corps humain réfléchissent les ultrasons.

Exercice 3.

Lors d'une échographie Doppler on peut calculer la vitesse v des globules rouges dans un vaisseau sanguin par la relation :

$$v = \frac{v_{ultrasons} \times \Delta f}{2 \times \cos\theta \times f_e}$$

Où f_e est la fréquence de l'onde émise.



1. Le terme Δf de la relation donnée ci-dessus, signifie « différence de fréquence ».

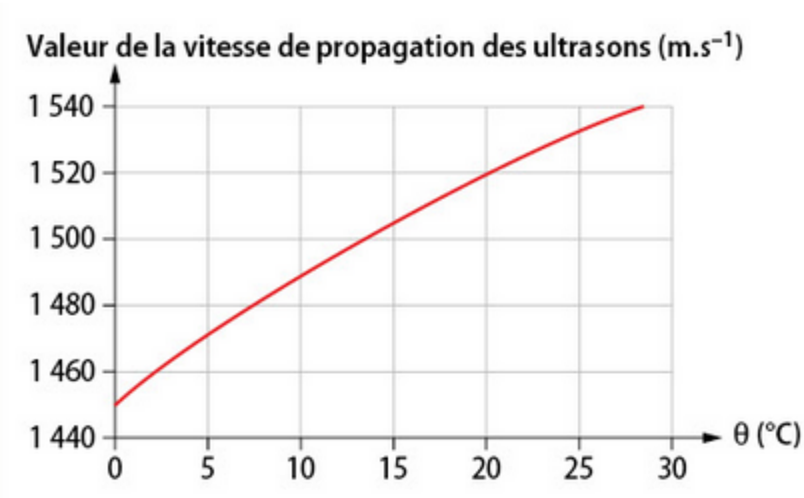
   De quelle différence de fréquence parle-t-on ?
2. Calculer la vitesse v des globules rouges. L'exprimer en cm/s.

   Données : f_e = 10,0 MHz $v_{ultrasons}$ = 1,57 x 10^3 m/s Θ = 45° Δf = 1,5 kHz.

$1\ MHz = 10^6\ Hz \qquad 1\ kHz = 10^3\ Hz.$

Exercice 4.

Un sonar émet des ultrasons à la verticale du bateau en direction des fonds marins. Les ultrasons sont réfléchis et renvoyés au bateau par les obstacles rencontrés.



1. Rappeler la relation entre d (la distance navire-obstacle), v (vitesse des ultrasons) et Δt (temps de parcours entre l'émission et la réception des ultrasons),
2. A l'aide du graphe donné ci-dessus, déterminer la valeur de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'eau à une température de 13°C.

   Bien faire apparaître la méthode sur le graphe.
3. Calculer à quelle profondeur se trouve une épave dans l'eau à 13°C, si le sonar perçoit un signal réfléchi 0,48 s après l'émission.
4. Nommer la technique d'imagerie médicale qui fonctionne sur le même principe que le sonar.

Exercice 5.

Des musiciens à bord d'un train jouent un « La » de fréquence fe. D'autres musiciens postés le long de la voie ferrée, identifient une note entendue lorsque le train est en mouvement : pour eux c'est un La#

Doc 1. Relation entre fréquence émise f_E et fréquence reçue f_R :

$$f_R = f_E \times \frac{v_{Son}}{c \pm v_{Son}}$$

v_{son} étant la vitesse de l'onde et v la vitesse relative source/récepteur.

On rappelle $v_{Son} = 340$ m/s.

Le signe $\pm$ diffère selon que la source et le récepteur s'éloignent où se rapprochent l'un de l'autre. On retient que le signe sera

- « + » si la source et le récepteur s'éloignent ;
- « - » si la source et le récepteur se rapprochent.

Doc 2. Fréquences des notes de musique

Note	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si
f(Hz)	349	370	392	415	440	466	494

1. Expliquer pourquoi les musiciens perçoivent un « La# » et non un « La » ?
2. Comparer à l'aide du doc 2, la fréquence du « La » émis par les musiciens dans le train, et la fréquence du « La# » perçue par les musiciens sur le quai.
3. En déduire si le train est en approche du quai de gare ou au départ ?
4. Choisir alors la relation correcte pour calculer f_R :

   a°) $f_R = f_E \times \dfrac{c}{c+v}$ ou b°) $f_R = f_E \times \dfrac{c}{c-v}$

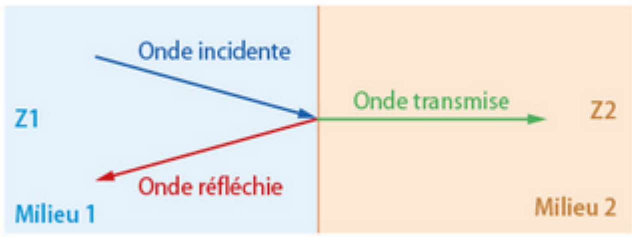
   A partir de la réponse donnée à la question précédente, déterminer la valeur de la fréquence reçue par les musiciens au bord du quai, lorsque le train roule à une vitesse v = 68,3 km/h.`
   Donnée : 1 m/s = 3,6 km/h.

   Retrouve-t-on la fréquence du La# perçu par les musiciens sur le quai ?

Exercice 6.

L'impédance acoustique d'un milieu Z, dépend de la masse volumique ρ (en kg/m^3) du milieu et la vitesse v (en m/s) de l'onde sonore. On calcule Z (en kg.m^{-2}.s^{-1}) grâce à la relation $Z = \rho \times v$

Une onde sonore qui se propage vers un milieu de plus grande impédance acoustique sera en grande partie réfléchie à l'interface des deux milieux.



On donne les impédances acoustiques de l'air et de la peau

	Air	Peau
Impédance acoustique en kg.m^{-2}.s^{-1}	442	$1{,}40 \times 10^6$

1. Indiquer ce qui se passe lorsque des ultrasons se propagent de l'air vers la peau. Expliquer.
2. Calculer l'impédance Z du gel que l'on applique sur la peau lors d'une échographie. Justifier l'utilisation de ce gel.

   Données : ρ = 1 070 kg/m^3 et v = 1500 m.s^{-1}.

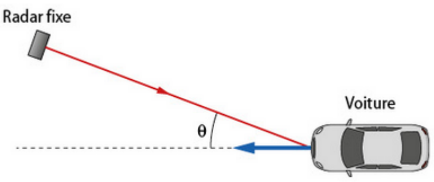
Correction :

1. D'après le document, on me dit qu'une onde sonore qui se propage vers un milieu de plus grande impédance acoustique sera en grande partie réfléchie à l'interface des deux milieux.

   Or justement la peau a une impédance (Z_{Peau} = 1,40 x 10^6 kg.m^{-2}.s^{-1}) bien plus grande que l'air (Z_{Air} = 442 kg.m^{-2}.s^{-1})

   Ce qui fait que les onde ultrasonores a la surface de la peau rebondissent en quasi-totale et très peu sont transmises dans le ventre de la mère.
2. J'applique la relation donnée $Z_{Gel} = \rho_{Gel} \times v = 1070 \times 1500 = 1{,}60 \times 10^6\ kg.m^{-2}.s^{-1}$ On voit que l'impédance du gel et de la peau sont voisines. De sorte qu'il y a beaucoup moins de réflexion des ondes ultrasonores au passage du gel à la peau…Le gel permet donc une meilleure transmission des ondes ultrasonores dans le ventre de la mère.

Exercice 7.



Les radars utilisent l'effet Doppler pour mesurer la vitesse des véhicules. Ils émettent une onde qui est réfléchie par les véhicules. Cette onde réfléchie possède une fréquence légèrement différente de celle émise. C'est la mesure de cette différence qui permet de calculer la vitesse d'un véhicule.

L'expression de la différence de fréquence est la suivante :

$$\Delta f = f_{émise} \times \frac{2 \times v \times \cos\theta}{c}$$

Avec Δf : différence de fréquence en hz

v : vitesse du véhicule

c : vitesse (célérité) de propagation de l'onde dans l'air c = 3,0 x 10^8 m/s.

Les radars utilisés en France vérifient les conditions suivantes d'utilisation :

Fréquence d'émission	Angle	Marge d'erreur
25,125 GHz	25°	5 km.h^{-1}

Il vous est proposé de choisir entre deux possibilités de résolution d'exercices : une version guidée et une version où vous devez développer le raisonnement tout(e) seul(e). A vous de choisir.

Version « difficile » en autonomie.

Sur une autoroute où la vitesse est limitée à 130 km/h, lors du passage d'un véhicule devant le radar on mesure Δf = 5 200 Hz. Développer votre raisonnement et vos calculs pour déterminer si le conducteur est en infraction.

Rappel : 1 m/s = 3,6 km/h.

Version « plus facile » guidée.

1. A partir de la formule $\Delta f = f_{émise} \times \frac{2 \times v \times \cos\theta}{c}$, montrer que la vitesse du véhicule peut s'exprimer par la relation $v = \frac{\Delta f \times c}{2 \times f_{émise} \times \cos\theta}$. On considère cette relation pour la suite de l'exercice.
2. Remplacer par les données de l'énoncé pour montrer que la vitesse du véhicule vaut environ 28 m/s.
3. Exprimer cette valeur en km/h et en déduire si le conducteur est en infraction.
   Rappel : 1 m/s = 3,6 km/h.

Correction :

1. On me donne une formule qui permet de calculer la différence de fréquence $\Delta f = f_{émise} \times \frac{2 \times v \times \cos\theta}{c}$

   On en déduit la relation $v = \frac{\Delta f \times c}{2 \times f_{émise} \times \cos\theta}$
2. On remplace par les valeurs de l'énoncé $v = \frac{5200 \times 3{,}0 \times 10^8}{2 \times 25{,}125 \times 10^9 \times \cos(25)} = 28{,}13 m/s$
3. On exprime la vitesse en km/h par la relation 1m/s = 3,6 km/h, ce qui donne $v = 28{,}1 m/s = 28{,}1 \times 3{,}6 = 101{,}2 km/h$

   On me dit qu'on accepte une marge de 5 km/h, cela signifie que l'on accepte que la vitesse mesurée est de $v = 101{,}2 \pm 5 km/h$

   Donc au pire la vitesse est de 106,2 km/h soit largement inférieure au 130 km/h.

   Le conducteur n'est pas en infraction