

Mini-projet

Les ondes ultrasonores appliquées à l'échographie

La société *Echoquartz* rachète des échographes d'occasion dans les cliniques et hôpitaux français. Ce sont plusieurs centaines d'échographes d'occasion révisés et garantis qui sont revendus, dans le cadre des législations en vigueur, à des prix permettant de faciliter l'accès aux soins médicaux dans le monde. L'essentiel du travail de cette entreprise est de vérifier le bon fonctionnement des sondes ultrasonores, et de les remplacer lorsque cela est nécessaire.

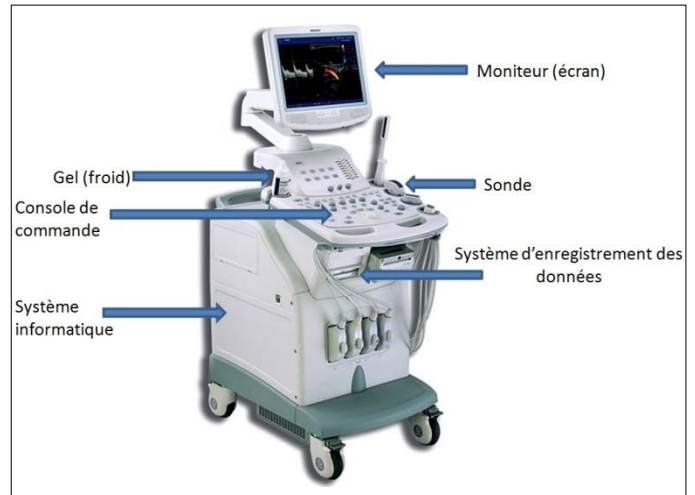


Figure 1 : échographe

L'objectif de ce mini projet est de comprendre le fonctionnement d'un échographe, puis de vérifier si la sonde ultrasonore de cet échographe fonctionne correctement.

Les deux séries de questions proposées ci-dessous peuvent être traitées indépendamment ce qui permettra de répartir les tâches au sein du groupe. Une présentation orale accompagnée d'un support numérique (vidéo, diaporama, ...) permettra de rendre compte de votre travail.

Principe de fonctionnement de l'échographe :



- Expliquer le principe de fonctionnement d'un échographe à l'aide des **documents 1, 2 et 3**.
- Après avoir expliqué dans quel milieu la propagation des ultrasons est la plus rapide, vous calculerez la vitesse des ultrasons dans l'eau en vous référant au **document 4**.
- À l'aide du **document 5** montrer que l'expression de la date t_R en fonction de la distance D et de la célérité v des ultrasons dans l'eau est $t_R = \frac{2D}{v}$ puis calculer la distance D à laquelle se trouve l'objet réflecteur.

Test de la sonde de l'échographe :



- L'échographe a été réglé pour réaliser l'échographie fœtale. En vous référant au **document 6**, vérifier que la fréquence de l'onde ultrasonore est adaptée à la réalisation d'une échographie fœtale, puis déterminer un encadrement pour la valeur de la longueur d'onde.
- Après avoir calculé la meilleure estimation f_{moy} de la fréquence des ultrasons émis par la sonde (**doc. 7**), vous écrirez le résultat de la mesure avec l'incertitude-type associée en vous référant au **document 8**.
- Le document fourni par le constructeur de la sonde indique que, dans le cas d'une échographie fœtale, la sonde doit émettre une onde ultrasonore de fréquence $f = 2,00 \pm 0,10 \text{ MHz}$. Conclure sur la fiabilité de la sonde.

DOC. 1 L'échographie

L'échographie est une technique d'imagerie médicale. Elle est fondée sur l'utilisation d'un faisceau d'ultrasons dont les échos, renvoyés par les organes internes et analysés par ordinateur, permettent de reconstruire l'image correspondante sur l'écran. Les fréquences utilisées dépendent des organes ou des tissus biologiques à sonder (2 MHz à 15 MHz).

Le médecin applique sur la peau un gel qui permet de supprimer la présence d'air entre la sonde et la peau (l'air empêche la transmission des ultrasons), puis il promène une sonde sur la région à examiner.

L'onde va se propager à l'intérieur du corps humain. A sa rencontre avec des tissus une partie va être transmise, l'autre réfléchi. En fonction de la nature des tissus, le signal est plus ou moins réfléchi. Par exemple une onde est réfléchiée dans sa presque totalité lorsqu'elle rencontre un os. Par contre une poche d'eau ne réfléchit aucun signal.

Pour réaliser une échographie, on va émettre une salve ultrasonore pendant un temps très court et on mesure l'écho de cette salve. Cet écho est récupéré afin de construire une image après traitement du signal.

DOC. 2 Animation sur l'échographie

http://www.ostralo.net/3_animations/swf/echographie.swf



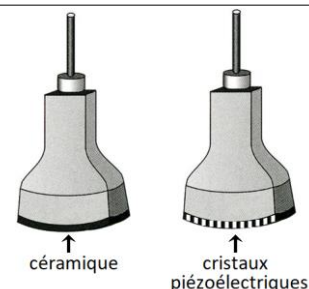
DOC. 3 La sonde échographique

La sonde échographique émet les ondes ultrasonores et récupère le signal réfléchi par le corps humain.

La sonde est constituée d'une céramique qui contient des cristaux piézoélectriques. Ces cristaux permettent de convertir un signal électrique en une onde ultrasonore, et vice versa.

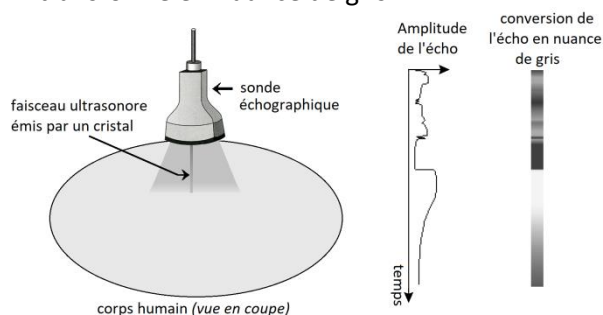
Le même cristal piézoélectrique peut être utilisé comme générateur et récepteur d'ultrasons. Une céramique est constituée de plusieurs cristaux placés côte à côte et isolés acoustiquement les uns des autres.

Chaque cristal émet une salve courte d'ondes ultrasonores dont la fréquence est de l'ordre de quelques mégahertz.



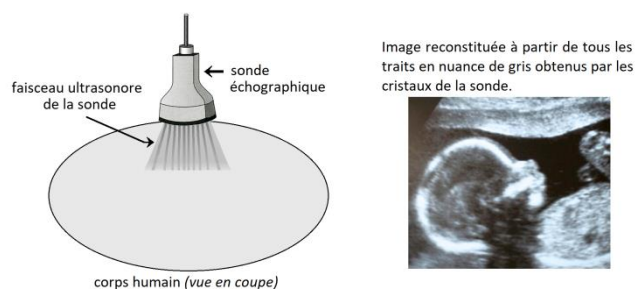
Reconstitution d'une ligne :

L'écho reçu sur un cristal de la céramique est transformé en nuance de gris :



Reconstitution d'une image :

Pour obtenir une image, on utilise tous les cristaux de la sonde.



DOC. 4 Expérience n°1 : mesure de la vitesse du son dans différents milieux

L'expérience suivante a été réalisée avec le matériel du lycée.

Un émetteur ultrasonore est relié à un générateur émettant des salves très brèves. Le récepteur transforme l'onde ultrasonore reçue en signal électrique de même fréquence que cette onde.

L'émetteur et le récepteur placés dans un même milieu, l'un en face de l'autre et à une distance $d = 20,0 \text{ cm}$, sont reliés à un oscilloscope.

Les graphes ci-dessous donnent le signal capté par le récepteur. L'émetteur ultrasonore **émet une salve à l'instant $t = 0 \text{ s}$** . Selon les milieux traversés on obtient les deux enregistrements **figure 1** et **figure 2** ci-dessous.

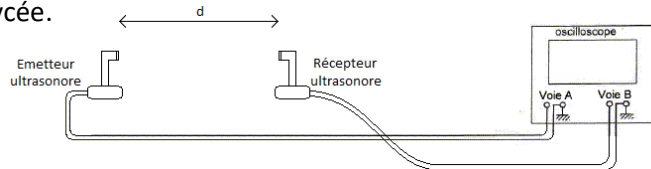


Figure 1

Signal reçu par le récepteur dans l'air

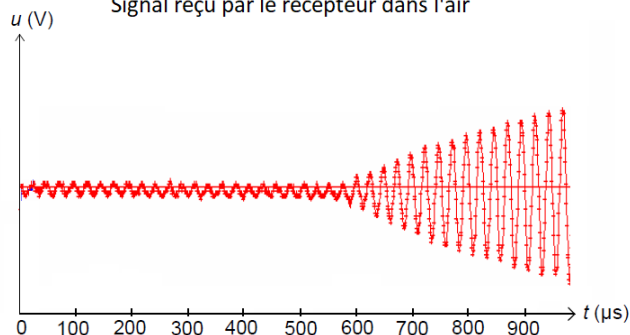
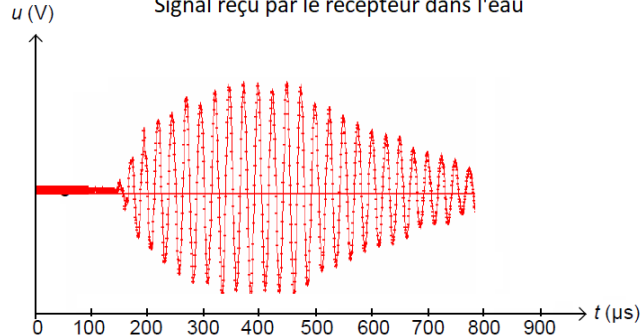


Figure 2

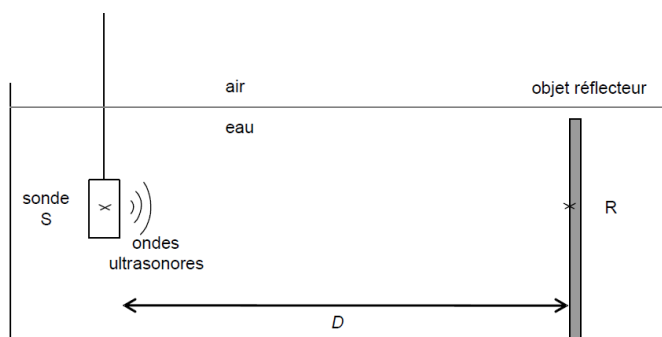
Signal reçu par le récepteur dans l'eau



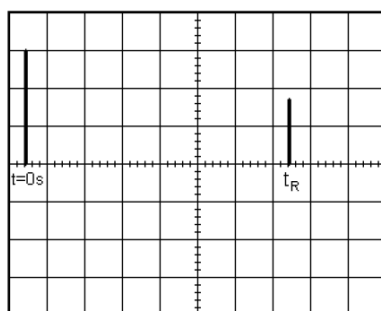
DOC. 5 Expérience n°2 : Simulation en laboratoire du principe de l'échographie

Dans un récipient rempli d'eau, on place une plaque de Plexiglas® d'épaisseur e . L'eau simule le corps humain dont la composition est de 65 à 90 % d'eau (excepté pour les os et les dents). La plaque de plexiglas simule un muscle dense.

Une sonde échographique constituée d'un émetteur et d'un récepteur est plongée dans l'eau. Les signaux émis et reçus par la sonde sont très brefs. Sur les oscillogrammes, on représentera par un pic simple les signaux nécessaires à l'exploitation. Schéma de principe :



L'oscillogramme **figure 3** est obtenu sans la plaque de Plexiglas®. À l'instant $t = 0 \text{ s}$ on visualise le signal émis par la sonde. À l'instant t_R , on visualise l'écho réfléchi sur l'objet réflecteur, on l'appellera écho de référence.



La durée de balayage de l'oscilloscope est $20 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$

Figure 3

DOC. 6 Salve émise par la sonde de l'échographe

La sonde ultrasonore peut émettre des salves d'ondes ultrasonores comprises entre 2 MHz et 20MHz :

- Une fréquence élevée permet d'obtenir une image très précise mais pour des tissus peu profond (faible pénétration de l'onde) : ophtalmologie, dermatologie, dentaire, ...
- Une fréquence peu élevée permet des échographies profondes mais donne une image moins précise : échographie fœtale, ...

À l'aide d'un capteur, on a mesuré l'onde émise par la sonde ultrasonore. L'oscillogramme correspondant est donné ci-contre :

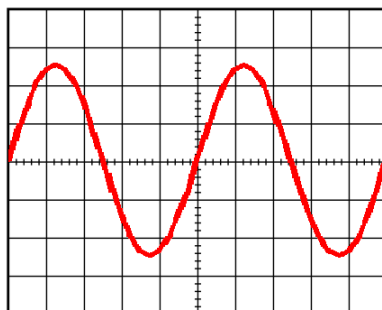


Figure 4

La durée de balayage de l'oscilloscope est 100 ns.div^{-1}

La vitesse de propagation notée v , des ultrasons dans l'organisme est donnée avec un intervalle de confiance de 95 % : $v_{95\%} = (1540 \pm 1) \text{ m.s}^{-1}$.

DOC. 7 test de la sonde de l'échographe

On a réalisé dix mesures de la fréquence des ultrasons émis par la sonde de l'échographe. Les mesures ont été consignées dans le tableau ci-dessous :

Numéro de la mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f (MHz)	1,94	1,98	2,03	1,99	2,05	2,01	2,01	1,97	1,95	2,07

DOC. 8 Ecriture d'un résultat de mesure avec l'incertitude-type associée

Pour exprimer un résultat de mesure avec l'incertitude-type associée, il faut procéder par étapes :

- On calcule l'écart-type σ_{n-1} correspondant à la série de mesures réalisées : $\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (m_k - m_{\text{moy}})^2}{n-1}}$
Avec : n : nombre de mesures m_k : mesure réalisée m_{moy} : moyenne des mesures
- On calcule l'incertitude-type $u(f)$ à l'aide de la relation $u(f) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ avec N : nombre de mesures
- On note le résultat sous la forme $f = f_{\text{moy}} \pm u(f)$