

Les ondes ultrasonores appliquées à l'échographie

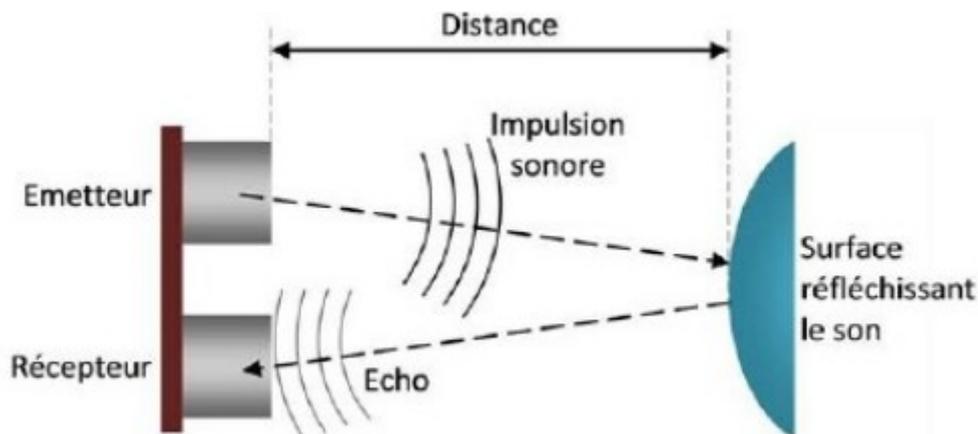
1- Introduction

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).



2. Principe de fonctionnement de l'échographie

L'écho est une réflexion du son par un obstacle, qui le répercute. Ce phénomène se produit parce qu'une onde sonore n'est pas rectiligne, mais longitudinale, et se répand comme des faisceaux allant dans différentes directions.



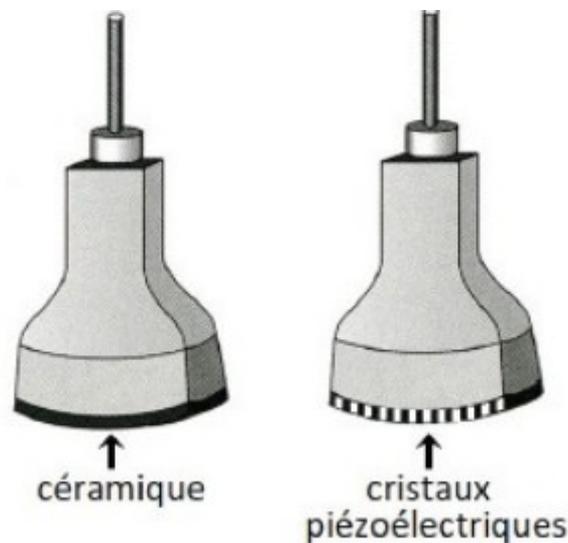
Le médecin applique sur la peau un gel qui permet de supprimer la présence d'air entre la sonde et la peau (l'air empêche la transmission des ultrasons), puis il promène une sonde sur la région à examiner.

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 réfléchi 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.

2.1 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.

2.2 Reconstitution d'une image

Pour obtenir une image, on utilise tous les cristaux de la sonde. C'est l'onde réfléchi qui est détectée et qu'on appelle « l'écho ultrasonore ». Un traitement informatique des données récoltées permet de reconstituer l'image en coupe des organes explorés. Cette technique est très utilisée dans le diagnostic prénatal chez la femme enceinte et n'est pas dangereuse, ni pour la mère ni pour le fœtus.

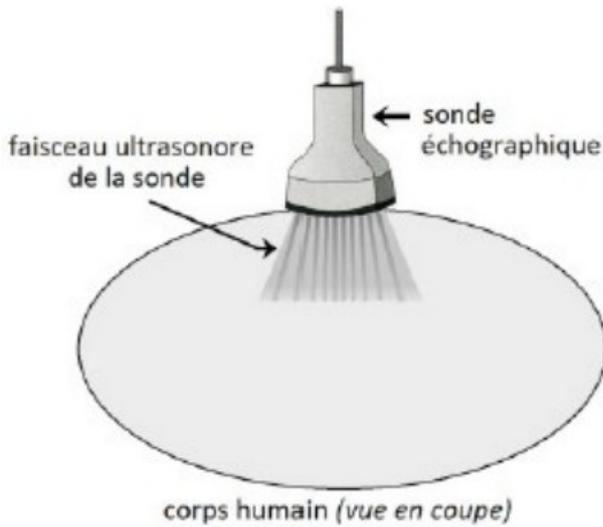


Image reconstituée à partir de tous les traits en nuance de gris obtenus par les cristaux de la sonde.

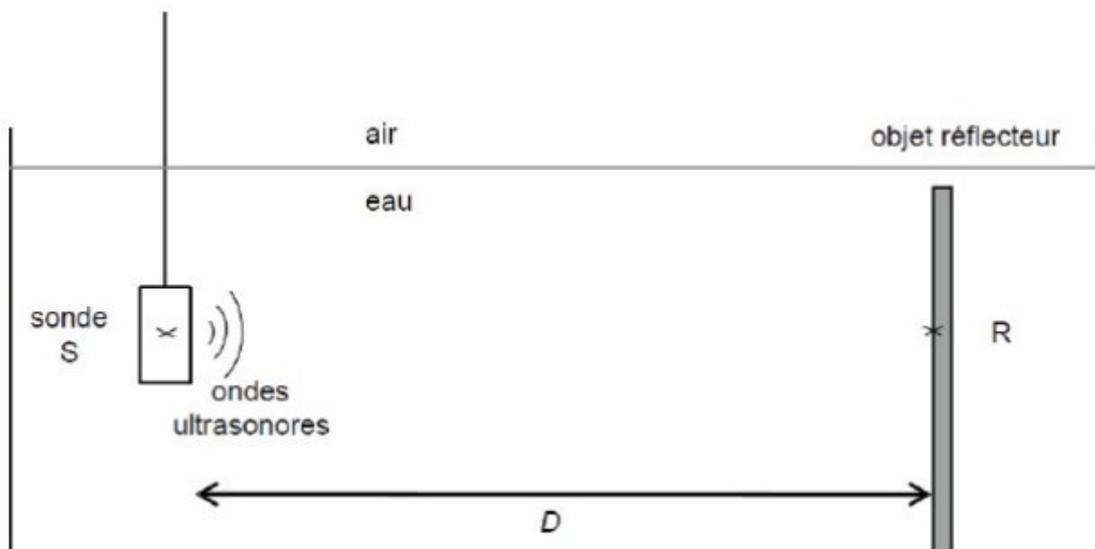


2.3 Simulation du principe de l'échographie

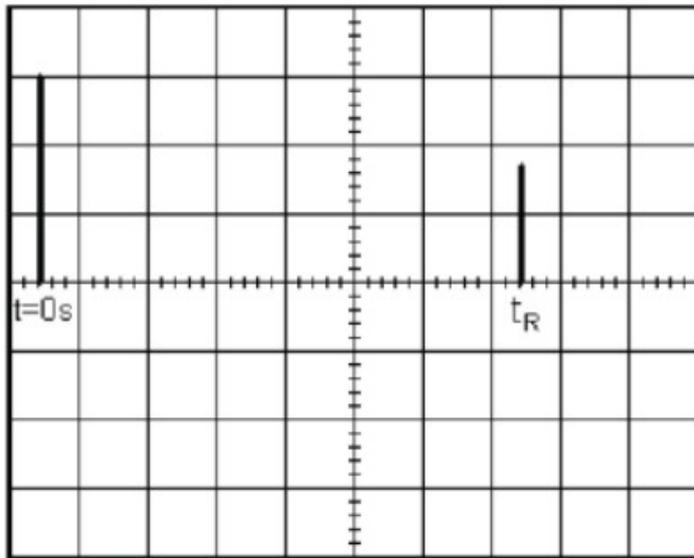
Dans un récipient rempli d'eau, on place une plaque de Plexiglas® d'épaisseur e . L'eau simule le corps humain dont la composition est de 65 à 90 % d'eau (excepté pour les os et les dents). La plaque de plexiglas simule un muscle dense.

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 $t = 0$ s on visualise le signal émis par la sonde. À l'instant tR , on visualise l'écho réfléchi sur l'objet réflecteur, on l'appellera écho de référence



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

figure 3

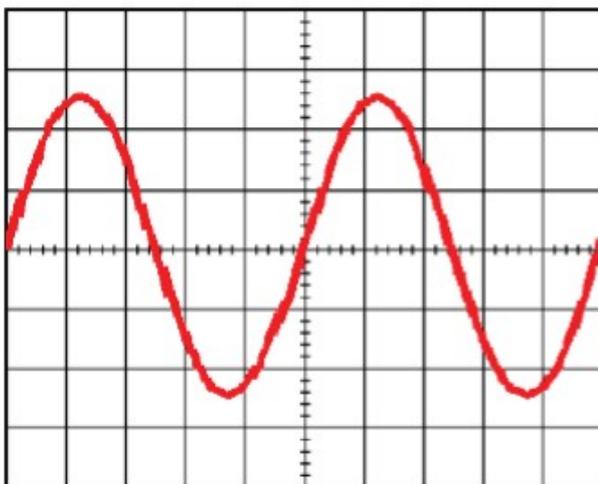
2.4 Salve émise par la sonde échographique

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

1 une fréquence élevée permet d'obtenir une image très précise mais pour des tissus peu profond (faible pénétration de l'onde) : ophtalmologie, dermatologie, dentaire...

2 une fréquence peu élevée permet des échographies profondes mais donne une image moins précise : échographie foetale...

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

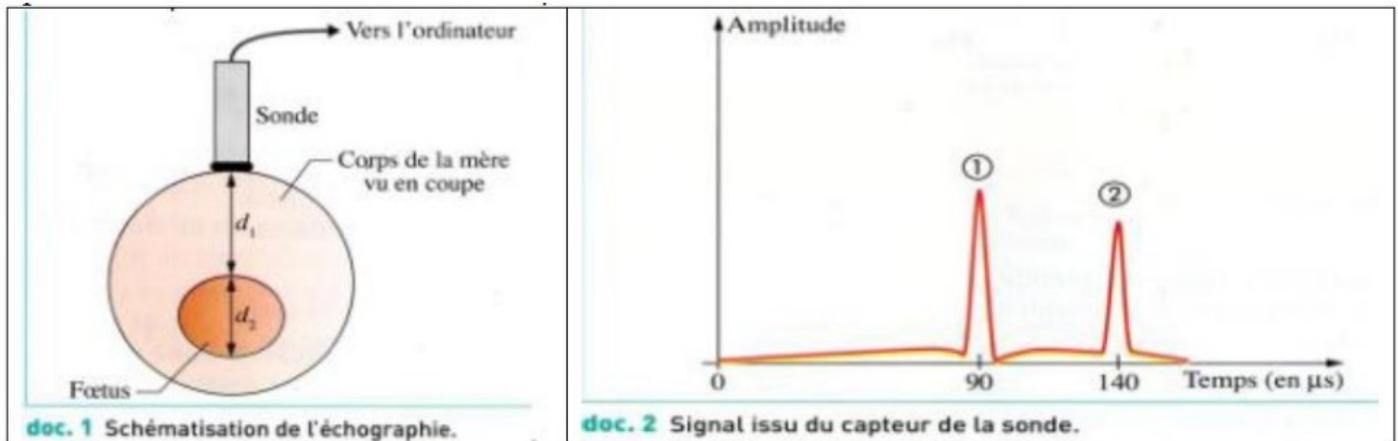


La durée de balayage de l'oscilloscope est $100 \text{ ns}.\text{div}^{-1}$

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

3. Exemples d'application

Mesure de distance par échographie L'échographie d'un fœtus (doc.1) et le signal issu du capteur (doc.2) sont schématisés ci-dessous. Lors de cette échographie, une salve ultrasonore est émise par l'émetteur de la sonde à la date 0 μs .



1. Lorsqu'une onde rencontre un obstacle, que peut-il lui arriver ? (3 possibilités)
2. Seuls les ultrasons réfléchis par une surface séparant deux milieux différents sont reçus par le récepteur. Pourquoi observe-t-on deux pics sur le graphique (doc.2) ?
3. À quoi correspondent ces pics, enregistrés aux dates 90 μs et 140 μs ?
4. On admet que la vitesse des ondes ultrasonores est égale à 1540 m.s⁻¹ dans le corps humain. a) Calculer la distance d₁ entre la sonde et le fœtus. b) Calculer l'épaisseur d₂ du fœtus.

Corrigé

1. Lorsqu'une onde rencontre un obstacle, elle peut soit le **traverser**, soit **être réfléchi** sur l'obstacle, soit **être absorbée** par l'obstacle.
2. On observe deux pics sur le graphique car les ultrasons sont réfléchis sur **chacune des deux surfaces de séparation** : la surface **corps/fœtus** à la distance d₁ de la sonde et la surface **fœtus/corps** à la distance d₂ de la sonde.
3. Le pic n°1, enregistré à la date 90 μs correspond à la **réflexion sur la première paroi du fœtus** situé à la distance d₁ de la sonde. Le pic n°2, enregistré à la date 140 μs correspond à la **réflexion sur la deuxième paroi du fœtus** situé à la distance d₂ de la sonde.
4.
 1. Les ondes font un **aller-retour** et la distance parcourue est égale à **2 x d₁**.

$$d_1 = \frac{2 \times d_1}{2} = \frac{v \times \Delta t}{2} = \frac{1540 \times 90 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,069\text{m} = 6,9\text{cm}.$$
 La distance d₁ est de **6,9 cm**.
 2. On applique la même formule. On trouve que la taille du fœtus est de **3,9 cm**.

$$d_2 = \frac{v \times \Delta t}{2} = \frac{1540 \times (140 \cdot 10^{-6} - 90 \cdot 10^{-6})}{2} = \frac{1540 \times 50 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,039\text{m} = 3,9\text{cm}.$$