

Etude documentaire - Echographie

Approche documentaire

Décrire la mise en œuvre des ondes ultrasonores pour l'échographie médicale.

L'échographie est une technique, permettant de réaliser une « carte » d'un milieu à l'aide d'échos d'ondes ultrasonores. Une sonde contenant une céramique piézoélectrique (par exemple du titanate de baryum) permet à la fois l'émission et la réception d'ultrasons, qui sont des ondes acoustiques de fréquences comprises entre 20 kHz et 500 MHz. Les matériaux piézoélectriques possèdent la propriété remarquable de vibrer lorsqu'ils sont soumis à une tension (mode émetteur : la vibration engendre l'onde ultrasonore) et réciproquement de délivrer une tension lorsque leur surface vibre, par exemple lorsqu'une onde les atteint (mode récepteur). Le principe de l'échographie est assez simple. La sonde émet une courte impulsion qui se propage dans le milieu à étudier. Toute discontinuité d'un milieu traversé par des ultrasons engendre une onde réfléchie (Fig. 5). Par exemple, le milieu de la figure 6 permet d'enregistrer les échos indiqués sur le signal reçu, comme illustré en figure 7. La mesure de la durée mise par l'onde pour effectuer le trajet sonde-discontinuité-sonde donne accès aux distances parcourues, et permet ainsi de cartographier le milieu.

La proportion R d'énergie réfléchie et T d'énergie transmise à une interface, pour une incidence normale, dépend des impédances acoustiques des milieux, notées Z_1 et Z_2 :

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad \text{et} \quad T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}.$$

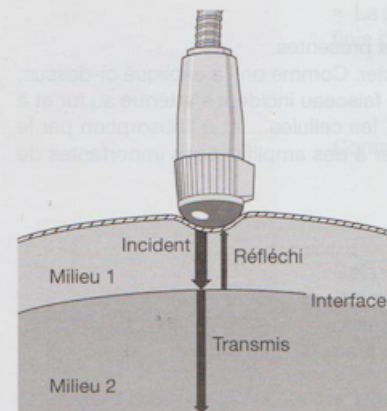


Figure 5

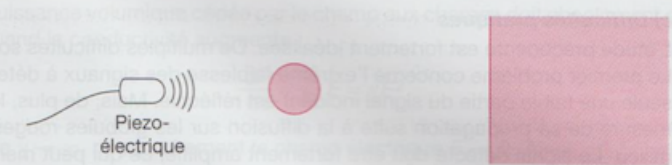


Figure 6

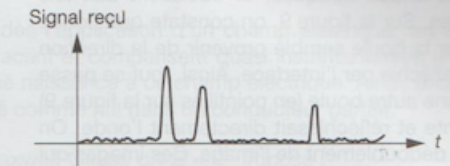


Figure 7

a) Quelques données biologiques

On dispose des données suivantes :

Milieu	air	eau	peau	sang
$Z(\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$	440	$1,52.10^6$	$1,62.10^6$	$1,66.10^6$
Milieu	graisse	muscle	foie	os
$Z(\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$	$1,33.10^6$	$1,70.10^6$	$1,64.10^6$	$3,65.10^6$ à $7,10.10^6$

À partir de ces données, il est possible d'en tirer quelques conclusions. Les caractéristiques du corps humain sont donc proches de celles de l'eau, sauf pour les os et l'air.

Le coefficient de transmission entre l'air et la peau est de l'ordre de $T \approx 10^{-3}$. Or, entre la peau et l'émetteur se trouve forcément de l'air. La transmission des ultrasons est donc très mauvaise dans cette configuration. Cela explique pourquoi on intercale un gel entre la peau et l'émetteur. L'impédance de ce gel est de l'ordre de celle de la peau, afin que l'onde puisse bien pénétrer dans le corps.

Dans le même ordre d'idées, une échographie des poumons ne donnera accès qu'au contour des poumons et non à leur structure alvéolaire, vu la réflexion quasi totale des ultrasons à une interface entre un tissu biologique et l'air. Le coefficient de réflexion entre un tissu mou et un os est de l'ordre de $R \approx 0,4$. Les os apparaissent donc nettement sur une échographie et cachent fortement ce qui se trouve derrière.

Le coefficient de réflexion entre un tissu mou (graisse) et le foie est de l'ordre de $R \approx 0,01$. C'est très peu mais exploitable. Par ailleurs, à la plupart des réflexions liées à des discontinuités intéressantes médicalement correspondent des coefficients de réflexion de cet ordre.

b) Un exemple

L'échographie bidimensionnelle présentée en figure 8 présente distinctement un plan de coupe de la tête et de la partie supérieure du torse d'un fœtus. Cela signifie que le récepteur est réglé de manière à visualiser le signal provenant d'une profondeur donnée, ce qui revient en pratique à sélectionner une gamme de durées entre le signal émis et les signaux reçus. L'acquisition du signal est ici faite en mode B (brillance) : le point est d'autant plus clair que l'amplitude de l'écho est importante.

On observe tout d'abord que le liquide amniotique dans lequel baigne le fœtus apparaît noir. En effet, le liquide est très homogène et n'engendre pas d'onde réfléchie. Le contour de la paroi crânienne est très brillant, ce qui est cohérent avec le fait que la réflexion sur les os est très importante. Enfin, l'intérieur du fœtus peut être de brillance intermédiaire. Cela signifie que le milieu est alors assez inhomogène et engendre des ondes réfléchies.



Figure 8

c) Difficultés pratiques

L'étude précédente est fortement idéalisée. De multiples difficultés sont présentes.

Le premier problème concerne l'extrême faiblesse des signaux à détecter. Comme on l'a expliqué ci-dessus, seule une faible partie du signal incident est réfléchi. Mais, de plus, le faisceau incident s'atténue au fur et à mesure de sa propagation suite à la diffusion sur les globules rouges, les cellules... et à l'absorption par le milieu. Le signal détecté doit être fortement amplifié, ce qui peut mener à des amplifications importantes de bruits.

Les ondes ultrasonores se comportent largement comme des ondes optiques, et obéissent aux lois de Descartes. Sur la figure 9, on constate que l'onde réfléchi par la boule semble provenir de la direction de l'onde réfléchi par l'interface. Ainsi, tout se passe comme si une autre boule (en pointillés sur la figure 9) était présente et réfléchissait directement l'onde. On observe un dédoublement de l'image. Ces images qui n'ont aucune réalité physique sont nommées *artefacts*.

La résolution de l'image obtenue doit évidemment être la meilleure possible. Il est possible de jouer sur la longueur d'onde de l'onde. En effet, la longueur d'onde est alors l'échelle spatiale de référence. Pour distinguer des détails plus fins, il est nécessaire de diminuer la longueur d'onde, c'est-à-dire augmenter la fréquence. Par exemple, vu la célérité $c \approx 1500 \text{ m.s}^{-1}$ des ondes acoustiques dans les milieux biologiques, $\lambda \approx 1,5 \text{ mm}$ pour $f = 1 \text{ MHz}$ et $\lambda \approx 0,1 \text{ mm}$ pour $f = 15 \text{ MHz}$. Néanmoins, les fréquences élevées sont davantage atténuées par la matière... En pratique, des fréquences entre 1 et 20 MHz sont utilisées.

On n'a pas encore évoqué la manière dont la sonde émettait et détectait les ondes, pas plus que la forme du faisceau, les problèmes de diffraction et de focalisation, les techniques de balayage des différentes directions... Toutes ces difficultés n'empêchent pas l'échographie d'être une technique médicale utile et efficace. Elle reste le sujet de nombreuses recherches afin de l'améliorer. Depuis quelques années, il est par exemple possible de réaliser des échographies à trois dimensions.

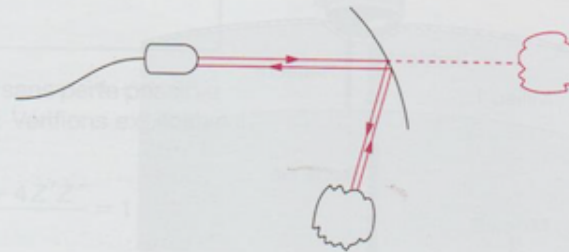
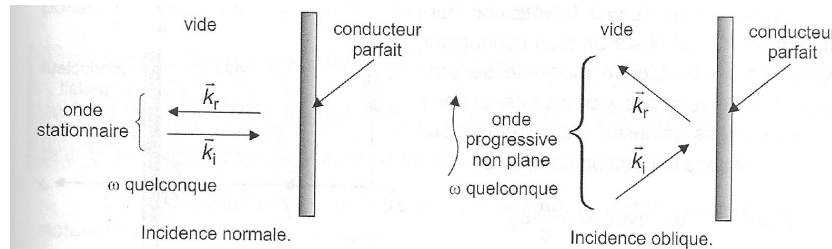
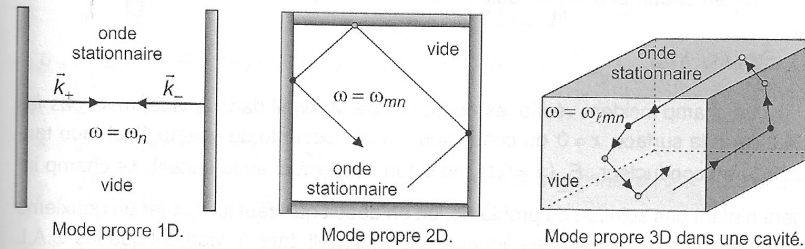


Figure 9

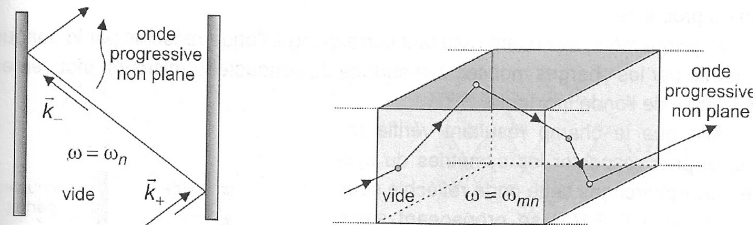
Réflexion sur un conducteur parfait



S'il y a plusieurs plans conducteurs, on peut avoir des ondes stationnaires :



On peut aussi avoir des ondes progressives, mais non planes :



Modes de propagation dans un guide d'onde.

Bien que le milieu de propagation (le vide) soit non dispersif, la présence des conducteurs impose des C.A.L qui rendent possible la propagation d'ondes *non planes*. *De telles ondes peuvent être dispersées*, c'est-à-dire se propager à une vitesse de phase $v_\phi = \omega / k$ qui dépend de la pulsation ω .

Les ondes sont forcément stationnaires à l'intérieur d'une cavité parallélépipédique, et il faut trois nombres quantiques pour décrire un mode propre. On peut avoir des ondes stationnaires entre deux plans parallèles ou dans un guide à section rectangulaire, mais dans le cas général, l'onde est progressive et se propage selon des modes de pulsations quantifiés. Les conducteurs plans, ou cylindriques comme le câble coaxial, permettent de guider les ondes électromagnétiques.