

## VOIE TECHNOLOGIQUE

Série STI2D : Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable

2<sup>DE</sup>

1<sup>RE</sup>

T<sup>LE</sup>

*Physique-chimie et mathématiques*

ENSEIGNEMENT  
 SPÉCIALITÉ

### MINI-PROJET LES ONDES ULTRASONORES APPLIQUÉES À L'ÉCHOGRAPHIE

#### *Document professeur*

#### Situation déclenchante

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.

#### Problématique développée

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.

#### Cadre

Ce mini projet s'associe au thème « Ondes et informations ». Les notions liées aux « Mesures et incertitudes » et au thème « ondes sonores » auront été traitées préalablement.

La ressource propose un document professeur et un document élève.

#### Références au programme

##### Mesures et incertitudes

Notions et contenu	Capacités exigibles
Dispersion des mesures, incertitude-type sur une série de mesure. Écriture d'un résultat Valeur de référence	Procéder à une évaluation par une approche statistique (type A) d'une incertitude type. Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée et en indiquant l'unité correspondante. Discuter de la validité d'un résultat en comparant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence d'une part et l'incertitude d'autre part.

**Ondes et informations**

Notions et contenu	Capacités exigibles
Ondes mécaniques. Phénomènes de propagation. Onde longitudinale, onde transversale.	Citer des exemples d'ondes mécaniques (sonores, sismiques, etc.) et leurs milieux matériels de propagation.
Ondes périodiques. Ondes sinusoïdales. Période. Longueur d'onde. Relation entre période, longueur d'onde et célérité.	Définir et déterminer (par une mesure ou un calcul) les grandeurs physiques caractéristiques associées à une onde périodique. Pour une onde sinusoïdale, citer et exploiter la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

**Ondes sonores**

Notions et contenu	Capacités exigibles
Propriétés, propagation des ondes sonores et ultrasonores.	Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore ou ultrasonore. Déterminer ou mesurer les grandeurs physiques associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde. Évaluer la célérité du son dans quelques milieux : air, eau, métal. Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.

**Organisation de la classe**

- Ce mini projet est conçu pour une classe de 36 élèves répartis en 8 groupes de 4 à 5 élèves.
- Cinq ou six groupes rendent un compte rendu écrit comportant des schémas, des textes ou autres documents.
- Deux ou trois groupes restituent leur projet à l'oral avec un support numérique.
- Au cours de l'année, le programme de première de la série STI2D recommande l'organisation de mini projets à la fin des thèmes. Aussi, s'ils sont mis en place à la fin de trois ou quatre thèmes, chaque groupe passera une fois à l'oral dans l'année.
- Les groupes travaillent sur la même problématique.
- La problématique peut-être découpée en deux parties : fonctionnement de l'échographe (partie 1) et étude du bon fonctionnement de la sonde (partie 2). Dans un même groupe, les élèves pourront former des sous-groupes pour traiter indépendamment ces deux parties.

## Organisation du temps

Pour réaliser leur mini-projet, les élèves sont encadrés 4 heures en classe réparties sur 4 séances pendant un mois et complètent leurs travaux par du travail hors la classe.

### Semaine 1 : 1 h

- La situation déclenchante est présentée aux élèves.
- Les élèves s'approprient la problématique et les documents.
- Les explications sur l'organisation sont données.
- Les groupes se forment.
- La consigne est donnée pour que, au sein de chaque groupe, les élèves se répartissent les tâches et les pistes de travail pour la semaine suivante.
- Le professeur accompagne pendant ce moment les élèves dans leur choix.

### Travail hors la classe : estimation 4 h par élève

Dans chaque groupe, les élèves doivent se partager les tâches. Le travail hors la classe s'articule autour de phases de concertation collectives et de phases individuelles. Chacun est amené à produire un travail équivalent à environ 4 h sur toute la durée du mini-projet. L'essentiel de ce travail hors la classe est mis à profit pour construire la restitution.

### Semaine 2 : 1 h

- La séance est consacrée à l'avancement du projet avec l'aide du professeur pour la réponse à la problématique.
- A la fin de cette séance, au sein de chaque groupe, les élèves se partagent les tâches et les pistes de travail pour la semaine suivante. Idéalement, le travail de recherche doit être terminé pour la séance suivante.

### Semaine 3 : 1 h

- Le travail de recherche doit être terminé.
- Dans chaque groupe, les élèves se répartissent les tâches pour préparer la présentation orale (support papier et support numérique) avec l'aide du professeur (organisation du support, et de la présentation orale).
- Au sein de chaque groupe, les élèves s'organisent en se partageant les tâches pour préparer et finaliser la présentation orale prévue pour la semaine suivante.

### Semaine 4 : 1 h

Les élèves rendent les dossiers écrits et les trois groupes désignés passent à l'oral présenter leur projet (présentation orale accompagnée du support numérique de leur choix...).

## Éléments de correction

- Les élèves présentent le principe de fonctionnement de l'échographe en s'appuyant sur les documents 1 et 2.
- Les graphiques du document 3 montrent que, à distance égale, les ultrasons mettent plus de temps à se déplacer dans l'air (environ 600  $\mu\text{s}$ ) que dans l'eau (environ 150  $\mu\text{s}$ ). On en déduit que les ultrasons sont plus rapides dans l'eau. On peut calculer la vitesse des ultrasons dans l'eau avec la relation  $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{20,0 \cdot 10^{-2}}{150 \cdot 10^{-6}} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

- L'expérience présentée dans le document 4 montre que l'onde ultrasonore fait un aller-retour. Ainsi, on en déduit la relation suivante :

$$v = \frac{2D}{t_R - t_0}$$

avec  $D$  : distance séparant la sonde de l'objet réflecteur (m)

$t_R$  : instant de réception de l'onde ultrasonore (s)

$t_0$  : instant d'émission de l'onde ultrasonore (s)

$v$  : célérité de l'onde ultrasonore (m.s<sup>-1</sup>)

Comme  $t_0 = 0$ , il vient  $v = \frac{2D}{t_R}$ . Ainsi, on peut écrire  $t_R = \frac{2D}{v}$

De cette relation, il vient :

$$D = \frac{v \cdot t_R}{2}$$

$$\text{A.N.: } D = \frac{1,33 \cdot 10^3 \cdot (140 \cdot 10^{-6} - 0)}{2} = 9,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

L'objet réflecteur se trouve à 9,31 cm de la sonde S.

- Sur l'oscillogramme du document 5, on peut mesurer une période  $T = 500$  ns. Cela correspond à une fréquence  $f = \frac{1}{500 \cdot 10^{-9}} = 2,00 \cdot 10^6$  Hz.

Le document 5 précise, d'une part, que la fréquence des ondes ultrasonores émises est comprise entre 2 MHz et 20 MHz, et d'autre part que les échographies fœtales sont réalisées avec une fréquence peu élevée. La fréquence calculée est donc bien adaptée à la réalisation d'une échographie fœtale.

On peut donc déterminer un encadrement pour la valeur de la longueur d'onde avec la relation  $\lambda = \frac{c}{f}$  :

$$\lambda \in [7,69 \cdot 10^{-4}; 7,70 \cdot 10^{-4}] \text{ m}$$

$$\text{Ainsi, } \lambda_{\min} = \frac{1539}{2,00 \cdot 10^6} = 7,69 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad \lambda_{\max} = \frac{1541}{2,00 \cdot 10^6} = 7,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

- Calcul de la meilleure estimation de la fréquence des ultrasons émis par la sonde :

$$f_{\text{moy}} = \frac{1,94 + 1,98 + 2,03 + 1,99 + 2,05 + 2,01 + 2,01 + 1,97 + 1,95 + 2,07}{10}$$

$$f_{\text{moy}} = 2,00 \text{ MHz}$$

Calcul de l'écart-type :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(-0,06)^2 + (-0,02)^2 + 0,03^2 + (-0,01)^2 + 0,05^2 + 0,01^2 + 0,01^2 + (-0,03)^2 + (-0,05)^2 + 0,07^2}{9}}$$

$$\sigma_{n-1} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ MHz}$$

Calcul de l'incertitude-type :

$$u(f) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}} = \frac{4,2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{10}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ MHz}$$

Le résultat de mesure peut donc être noté :  $f = 2,00 \pm 0,02$  MHz

Retrouvez éducol sur

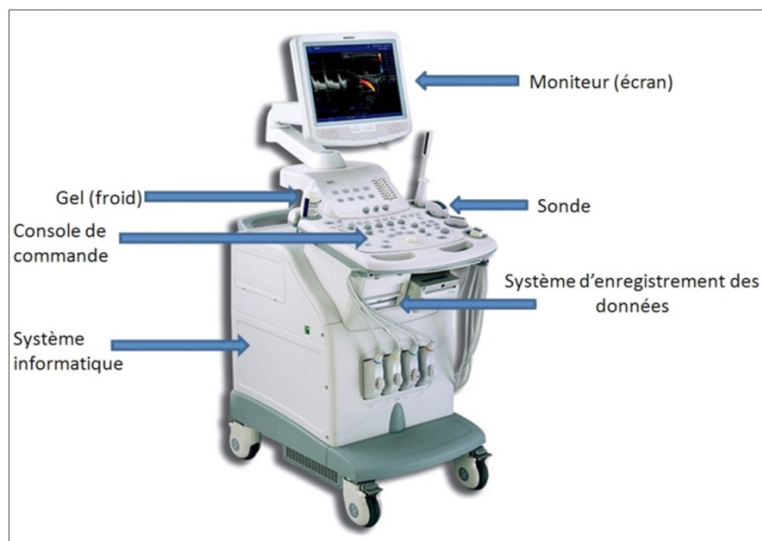


- Le document fourni par le constructeur indique que la sonde doit émettre une onde ultrasonore  $f = 2,0 \pm 0,1$  MHz. Les résultats précédents permettent de conclure que la sonde testée est fiable.

## Document élève

### Situation déclenchante

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.



### Problématique

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.

### Questions permettant de guider les élèves dans leur démarche

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 et 2**.
- 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 3**.
- À l'aide du **document 4** 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.

Retrouvez éducol sur



### Test de la sonde de l'échographe

- L'échographe a été réglé pour réaliser l'échographie fœtale. En vous référant au **document 5**, vérifiez que la fréquence de l'onde ultrasonore est adaptée à la réalisation d'une échographie fœtale, puis déterminez un encadrement pour la valeur de la longueur d'onde.
- Après avoir calculé la meilleure estimation  $f_{\text{moy}}$  de la fréquence des ultrasons émis par la sonde (**document 6**), vous écrirez le résultat de la mesure avec l'incertitude-type associée en vous référant au **document 7**.
- 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  $f = 2,00 \pm 0,10 \text{ MHz}$ . Concluez sur la fiabilité de la sonde.

### Documents de travail

#### Document 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.

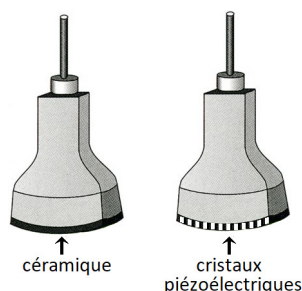
L'onde va se propager à l'intérieur du corps humain. A sa rencontre avec des tissus une partie va être transmise, l'autre réfléchi. En fonction de la nature des tissus, le signal est plus ou moins réfléchi. Par exemple une onde est réfléchi dans sa presque totalité lorsqu'elle rencontre un os. Par contre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

#### Document 2 : 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.

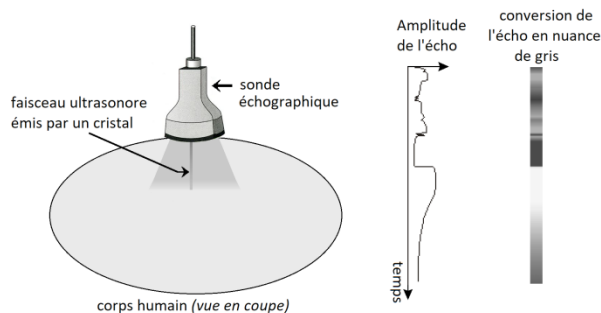


Le même cristal piézoélectrique peut être utilisé comme générateur et récepteur d'ultrasons. Une céramique est constituée de plusieurs cristaux placés côte à côte et isolés acoustiquement les uns des autres.

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

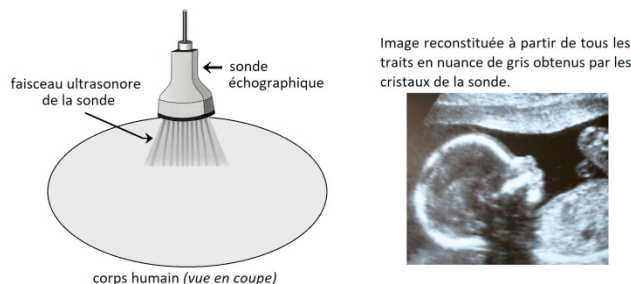
### Reconstitution d'une ligne

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



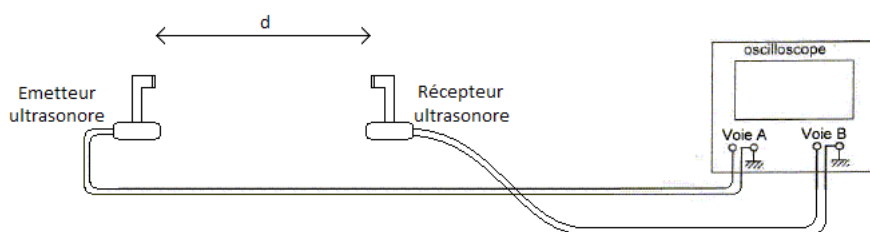
### Reconstitution d'une image

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



### Document 3 : expérience n°1 – mesure de la vitesse du son dans différents milieux

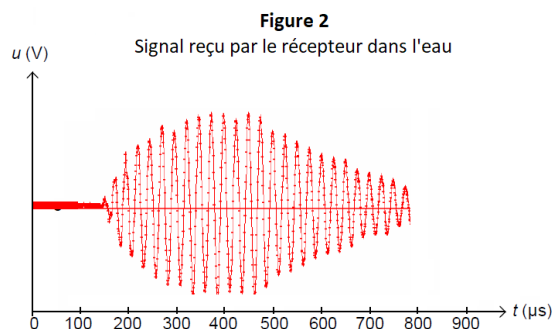
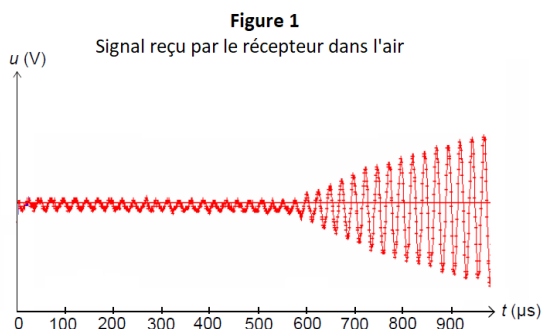
L'expérience suivante a été réalisée avec le matériel du lycée.



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.

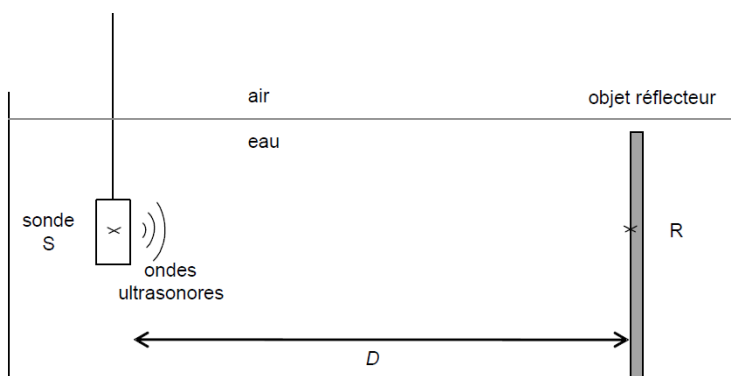


**Document 4 : expérience n°2 – simulation en laboratoire du principe de l'échographie**

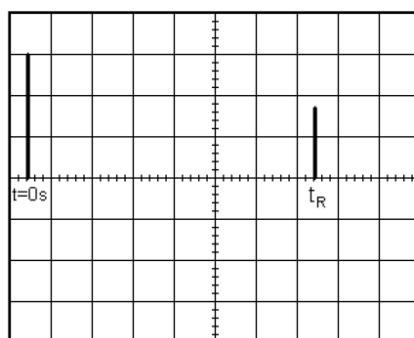
Dans un récipient rempli d'eau, on place une plaque de Plexiglas® d'épaisseur  $e$ . L'eau simule le corps humain dont la composition est de 65 à 90 % d'eau (excepté pour les os et les dents). La plaque de plexiglas simule un muscle dense.

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  $t = 0$  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  $20 \mu s \cdot div^{-1}$

Figure 3

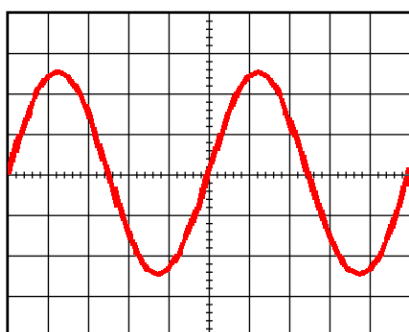


### Document 5 : Salve émise par la sonde de l'échographe

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

- 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 :



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

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

### Document 6 : 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

### Document 7 : écriture 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  $\sigma_{n-1}$  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  $n$  le nombre de mesures ;

$m_k$  la mesure réalisée ;

$m_{\text{moy}}$  la 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  $N$  le nombre de mesures.

- On note le résultat sous la forme :

$$f = f_{moy} \pm u(f)$$