

Des ondes pour observer et mesurer

CH IV PROPAGATION DES ONDES

TP 12 : LES ONDES ULTRASONORES : PRODUCTION ET TRACES DES DIAGRAMMES DE DIRECTIVITE ET DE RAYONNEMENT

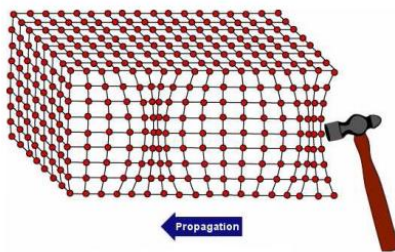
Objectifs :- Mettre en œuvre une source et un capteur piézoélectriques.

- Illustrer expérimentalement le principe d'un échographe unidimensionnel.
- Mesurer les coefficients de transmission et de réflexion énergétiques des ondes lumineuses ou ultrasonores d'une interface en incidence normale.
- Mesurer le coefficient d'absorption des ondes lumineuses ou ultrasonores dans un milieu.
- Tracer expérimentalement le diagramme de directivité d'un émetteur ultrasonore

Compétences travaillées : Réaliser et Analyser

I. Production des US.

Pour créer une onde mécanique il faut une excitation mécanique : L'onde peut être générée par un impact ou une force vibratoire externe. L'onde se propage ensuite de proche en proche grâce à l'oscillation des particules autour de leur position au repos.



Plusieurs phénomènes permettent de produire des ondes US. Le plus utilisé est la **piézo-électricité**. La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique (effet direct) et, réciproquement, de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique (effet inverse). L'effet piézoélectrique a été découvert en 1880 par Pierre et Jacques Curie.

Production d'ondes US

1. L'effet direct :

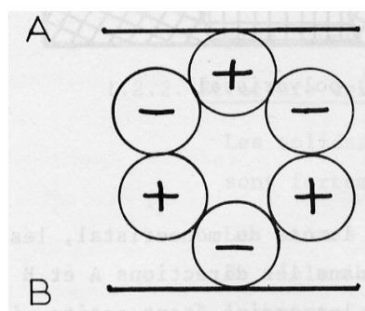


Figure a) : Cristal libre.

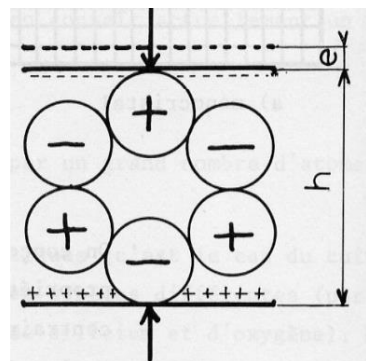


Figure b) : Cristal sous contrainte.

- Quand on exerce une pression sur une des faces de la lame de cristal (figure a) : Les ions positifs se rapprochent globalement de la face B qui se charge donc positivement. Phénomène similaire pour la face A qui se charge négativement.
- On montre que la différence de potentiel U qui se manifeste ainsi est proportionnelle à la pression appliquée.
- Si un cristal piézoélectrique reçoit une pression acoustique alternative, il se met à vibrer de manière alternative et génère alors entre les 2 faces une tension alternative.

2. L'effet indirect :

- Si on applique une tension électrique entre les faces A et B d'un cristal du type du précédent, les ions attirés ou repoussés vont contribuer à déformer le cristal.
- La déformation est proportionnelle à la tension appliquée.

- Si on applique une tension alternative à un cristal piézoélectrique, celui-ci se met à vibrer au même rythme que celui de la variation de la tension alternative. Ce phénomène est utilisé pour la génération des US par un transducteur (ou palpeur).

3. Principaux matériaux piézoélectriques :

- De nombreuses substances présentent l'effet piézoélectrique mais rares sont celles où le phénomène est important.

- Exemples :

- Quartz 2,3 pm/V (Pratiquement plus utilisé)
- Titanate de baryum 190 pm/V
- Titanate zirconate de plomb (PZT) 270 pm/V

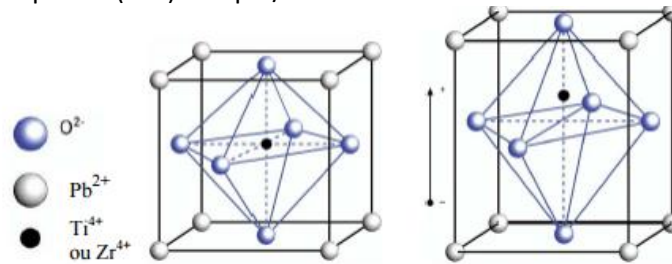
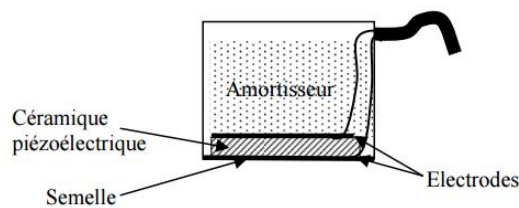


Figure 7 : Influence de l'application d'un champ électrique sur la structure cristallographique du PZT

4. Constitution d'un palpeur (ou transducteur) ultrasonore.

Un palpeur (Transducteur) ultrasonore est un dispositif permettant d'émettre et de recevoir des US.



Constitution d'un palpeur

- La fréquence d'émission dépend de l'épaisseur de l'élément piézoélectrique.
- Tension d'alimentation : 100 à 400 V généralement.
- Dans le but d'avoir une amplitude de vibration maximale, on utilise le phénomène de résonance en prenant une épaisseur égale à la demi-longueur d'onde des OL qui se propagent dans la céramique.
- Le niveau du signal à la réception est faible (~ 10 mV) : il faut amplifier le signal. Sur un appareil courant, le gain max est de 100 dB ce qui correspond à une amplification d'un facteur 10^5 !

Les transducteurs ultrasonores utilisés transforment directement l'énergie électrique en énergie mécanique.

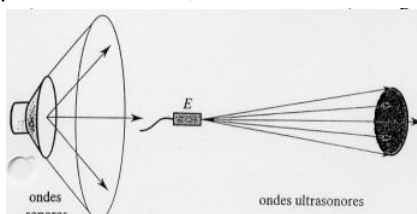
Ils sont constitués d'un matériau piézoélectrique (plaquette de céramique sur la figure) dont les deux faces opposées sont métallisées. Ces faces permettent l'application de la tension excitatrice.

Les vibrations de la plaquette sont ensuite communiquées au fluide qui l'entoure : il y a création d'ultrasons.

II. Diagramme de directivité et diagramme de rayonnement des US :

1. Diagramme de directivité :

En comparaison du son, les ultrasons sont relativement directifs :



La directivité d'un émetteur est son aptitude à émettre des ultrasons suivant une ou plusieurs directions. Un émetteur omnidirectionnel émet dans toutes les directions avec la même puissance; un émetteur directif émet dans une direction privilégiée.

Ainsi un laser est très directif :

Le laser He-Ne du labo présente une section du faisceau:

r = 0,4 mm

et un demi-angle au sommet du cône de divergence **θ = 1mrad**

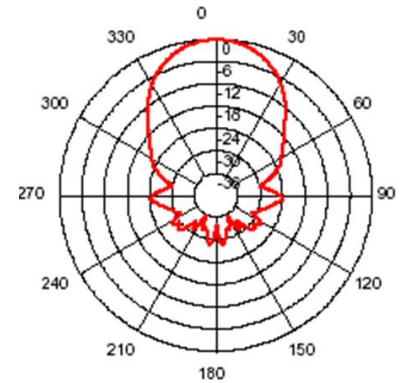
pour une intensité énergétique :

I = 1,3.10⁹ W.m⁻².Sr⁻¹.

Comment tracer un diagramme de directivité d'un émetteur ultrasonore ?

L'axe de l'émetteur est l'axe défini par l'angle θ = 0°, la cellule émettrice pointant vers la graduation 0°. On déplace un récepteur d'ultrasons le long d'un cercle centré sur l'émetteur. Chaque position du récepteur est repérée par un angle θ.

Le diagramme de directivité représente le niveau d'émission, L exprimé en dB, en fonction de l'angle θ (voir l'exemple ci-contre).



Comment calculer le niveau d'émission L ?

On compare la réponse du récepteur pour une position, à celle obtenue lorsque le récepteur était en θ = 0°. Cela permet de calculer un niveau d'émission, noté L exprimé en dB, par la relation :

$$L = 20 \times \log\left(\frac{U}{U_0}\right)$$

où U est la tension mesurée par le récepteur suivant l'angle θ et U₀ est la tension mesurée pour θ = 0°.

Une valeur négative traduit qu'un émetteur émet moins puissamment les ultrasons dans la direction d'angle θ que dans la direction de référence (0°).

2. Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement du transducteur représente la courbe de l'intensité acoustique US émise en fonction de la direction θ.

Remarques :

I : intensité ultrasonore. Correspond à une énergie par unité de surface et de temps (Unité :). Cela peut aussi être vu comme une(Unité :)

On montre que $I = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot c \cdot \omega^2 \cdot X^2$

avec ρ₀ : masse volumique du milieu de propagation

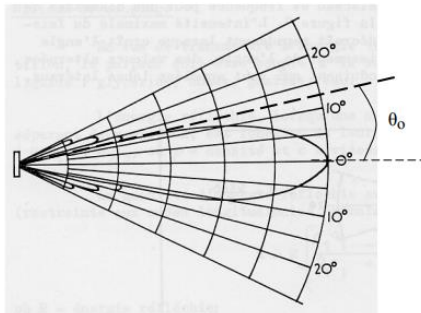
c : vitesse des US

ω : pulsation ω = 2πf

X : amplitude du mouvement des particules par rapport à leur position au repos.

Plus concrètement, on dira que l'intensité I est proportionnelle au carré de l'amplitude du signal électrique reçu au niveau du palpeur (récepteur).

Un exemple de diagramme de rayonnement :



θ₀ : angle de divergence = angle de demi-ouverture du lobe principal (les lobes secondaires sont de très faibles intensités : pas détectables en TP).

On montre que :

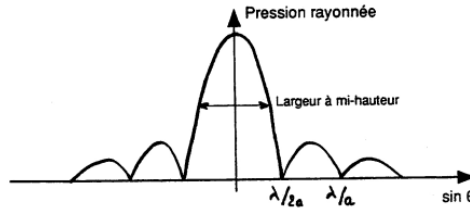
$$\sin \theta_0 = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Avec D : diamètre du récepteur et λ la longueur d'onde des US.

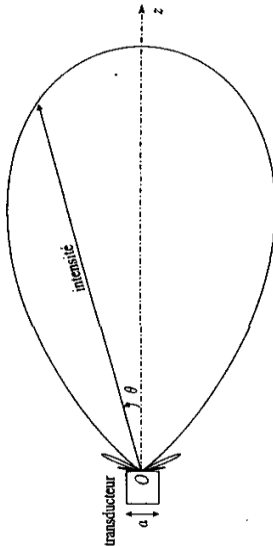
Explications :

Vous avez déjà rencontré cette formule pour les interférences d'ondes sinusoïdales émises par des sources synchrones. En effet la source ultrasonore étendue peut être considérée comme une

succession de sources synchrones qui interfèrent entre elles, avec des interférences successivement constructives et destructives.



On peut ainsi montrer que le diagramme de rayonnement a la forme suivante :



On constate immédiatement plusieurs choses importantes :

* La source possède une directivité matérialisée par la largeur du lobe principal. La directivité angulaire appréciée à mi-hauteur du maximum vaut approximativement $\lambda/2a$, soit le rapport longueur d'onde sur ouverture. Autrement dit, le faisceau sera d'autant plus directif que l'ouverture contiendra un grand nombre de longueur d'onde.

Ou encore :

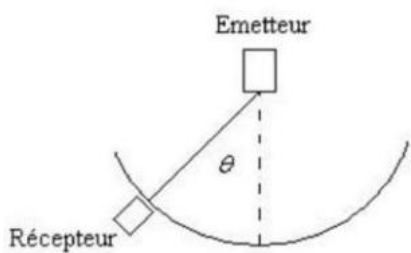
- A une fréquence donnée, la directivité est meilleure avec une grande ouverture, i.e. une grande sonde.
- pour une taille de sonde donnée, on sera d'autant plus directif que la fréquence est élevée.

*Le faisceau est loin d'être parfait : il possède des lobes latéraux, c'est-à-dire qu'on croit regarder droit devant mais on peut aussi observer, avec une

moindre amplitude les échos d'objets situés sur les côtés. Si ces objets sont particulièrement échogènes, on risque d'obtenir des fausses images ou artéfacts très gênants en échographie.

III. ACTIVITE EXPERIMENTALE :

A. TRACE DU DIAGRAMME DE DIRECTIVITE :



- Placer l'émetteur au centre du cercle gradué.
- placer le récepteur au bord du cercle gradué, l'orienter vers le centre ;
- identifier l'angle θ entre la direction de référence en pointillé sur le schéma ci-contre (0°) et celle du récepteur.
- penser à régler la fréquence de l'émetteur pour se placer à la résonance.

1. Relever l'amplitude des ultrasons reçus par le récepteur en fonction de l'angle θ :

Angle θ (en degrés)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Amplitude U (V)									

-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5

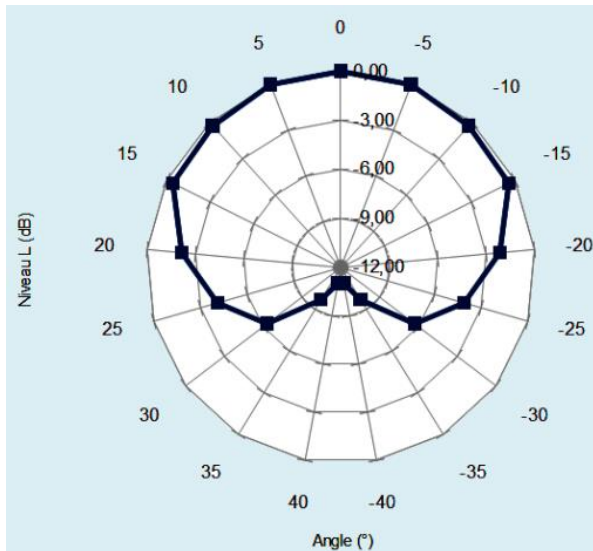
2. A l'aide du tableur Excel, entrer les valeurs expérimentales θ et U.

3. Faire calculer par le tableur la valeur du niveau d'émission L (en dB). On rappelle que :

$$L = 20 \times \log\left(\frac{U}{U_0}\right)$$

où U est la tension mesurée par le récepteur suivant l'angle θ et U_0 est la tension mesurée pour $\theta = 0^\circ$.

4. Tracer le diagramme de directivité sous Excel en utilisant le type de graphique « radar ».



5. Tracer le diagramme de directivité sur la feuille de diagramme jointe.

6. On considère que l'émission US est significative quand le niveau d'émission L est supérieur à 3 dB, en déduire l'angle de directivité de l'émetteur US étudié.

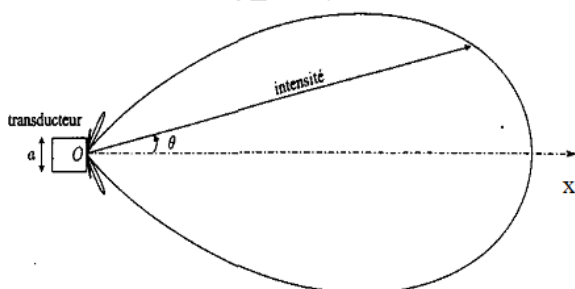
7. Pourquoi dit-on que le faisceau ultrasonore est directif ?

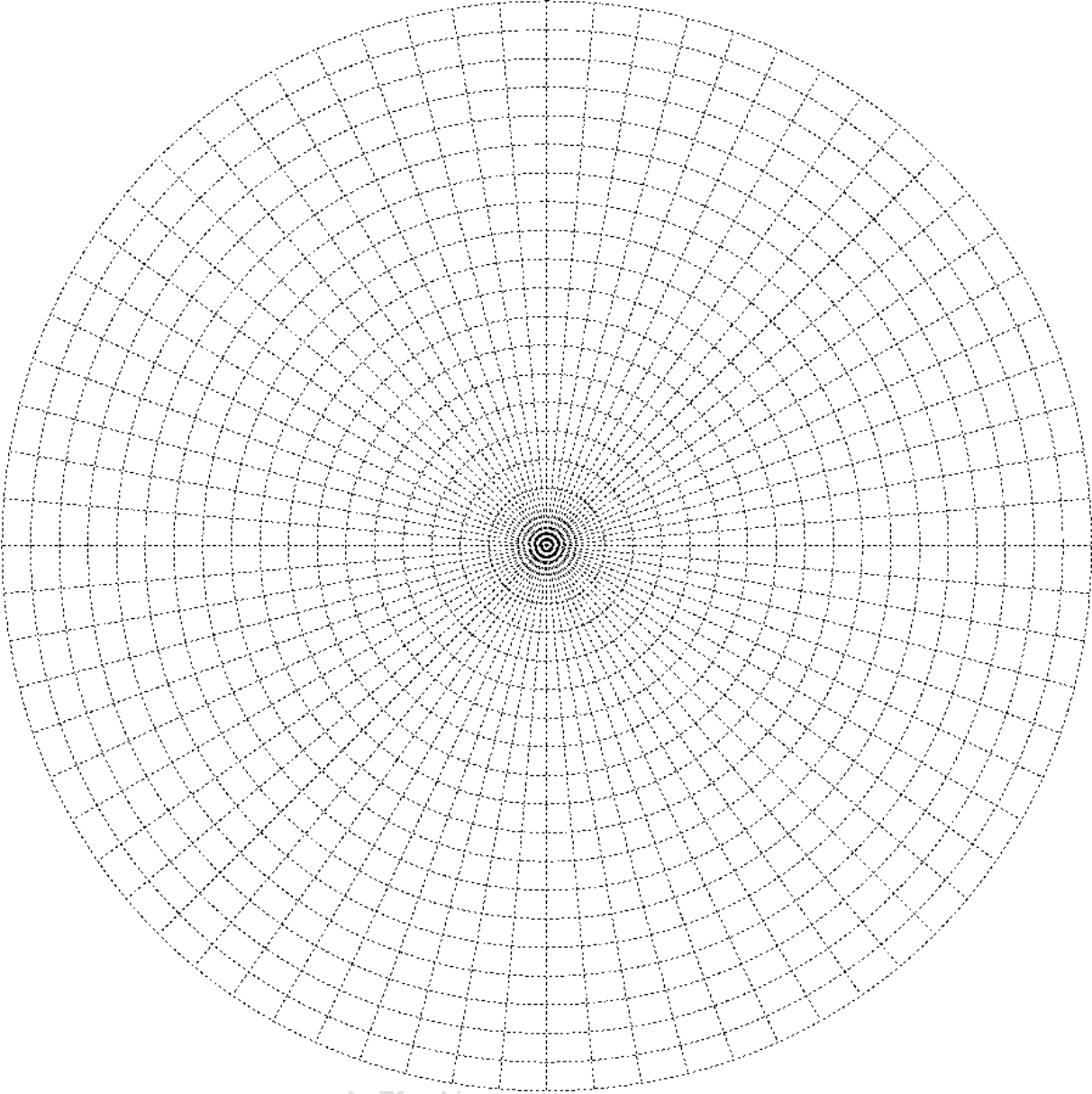
B. TRACE DU DIAGRAMME DE RAYONNEMENT :

1. Utiliser le dispositif précédent. Placer le récepteur en face de l'émetteur suivant Ox et ajuster l'amplitude de l'émetteur de façon à ce que le signal du récepteur soit d'amplitude _____. Placer un premier point sur la feuille.

2. Déplacer le récepteur suivant les différents axes de la feuille et repérer sur la feuille les différents points de **même amplitude** en la mesurant à l'oscilloscope.

3. On obtient alors le lobe principal du digramme de rayonnement. Comparer à celui présenté ci-dessous :





LYCÉE