



CND

TD



**IUT CLERMONT
AUVERGNE**

Aurillac - Clermont-Ferrand - Le Puy-en-Velay
Montluçon - Moulins - Vichy

Métrie et contrôle avancés

PPN IUT GMP 2^{ème} année

| | | |
|--|--|------------|
| UE32 | INDUSTRIALISER ET GERER : MISE EN ŒUVRE | METROLOGIE |
| M3203C | Méetrologie et contrôle avancés | Semestre 3 |
| Objectifs du module : En fonction de l'environnement industriel local, développer les différents enseignements de métrologie ou de contrôle correspondant aux compétences visées. | | |
| Compétences visées : Préparer les contrôles à réaliser à partir de dossiers, gammes, commandes, consignes. Contrôler la conformité de fabrication de produits, pièces, sous-ensembles, ensembles. Réaliser des contrôles destructifs et non destructifs. Approfondir les méthodes de mesure et de contrôle des surfaces canoniques et les étendre aux surfaces complexes. Connaître les principes des autres technologies de mesure et participer à leur mise en œuvre. Réaliser la métrologie des moyens de production. | | |
| Prérequis : Outils mathématiques de résolution de systèmes d'équations. | | |
| Contenus : Mise en œuvre de procédures de contrôle. Analyse des spécifications des surfaces canoniques (approfondissement) et complexes. Mise en œuvre du processus de mesure avec ou sans contact. Mettre en œuvre des techniques de contrôle non destructif. Choix et utilisation d'une méthode d'investigation en fonction du défaut recherché. Mesure des défauts géométriques des moyens de production et évaluation de leur influence sur la pièce | | |

I - Défauts détectables

a) Calculer l'ordre de grandeur du plus petit défaut décelable dans un morceau d'acier avec un transducteur droit d'une fréquence de 500kHz.

b) Calculer l'ordre de grandeur du plus petit défaut décelable dans un morceau d'acier avec un transducteur droit d'une fréquence de 20MHz.

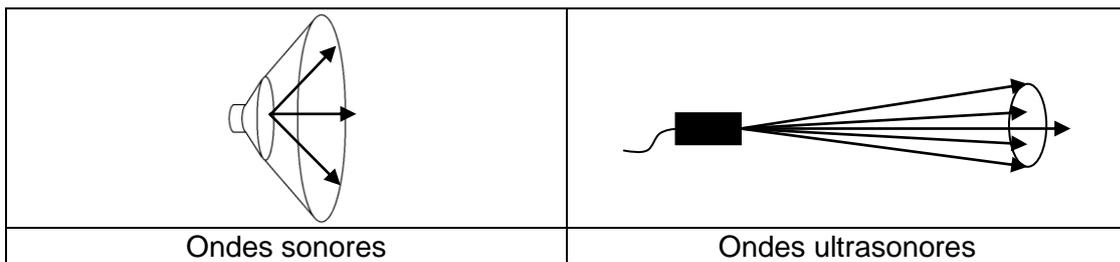
c) Conclure sur la relation entre fréquence et résolution.

d) Une pièce en acier comporte un défaut interne de diamètre 0,4mm. Sur quelle plage de fréquences celui-ci pourra-t-il être décelé lors d'un CND ultrasons avec un transducteur droit ?

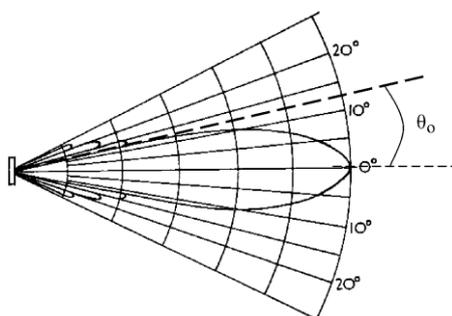
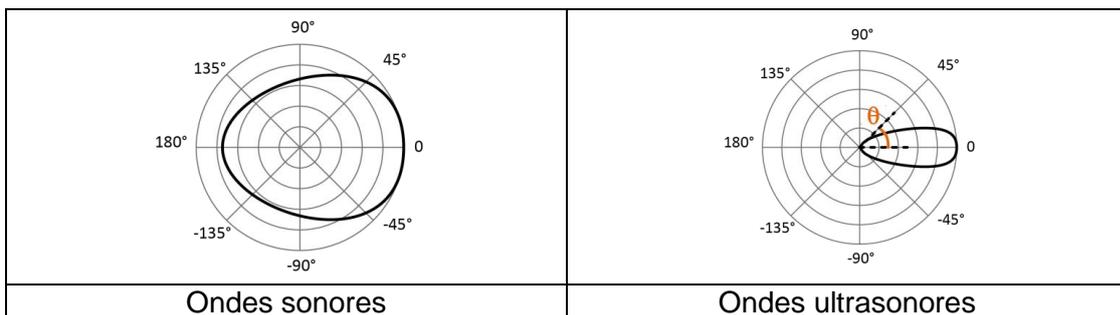
e) Une pièce en fonte grise comporte un défaut interne de diamètre 120µm. Sur quelle plage de fréquences celui-ci pourra-t-il être décelé lors d'un CND ultrasons avec un transducteur droit ?

II - Champ d'un émetteur ultrasons

En comparaison des ondes sonores, les ondes ultrasonores sont relativement directives.



Pour quantifier la directivité d'un faisceau ultrasonore, on relève un diagramme de rayonnement $I=f(\theta)$, aussi appelé diagramme de directivité, où I est l'intensité ultrasonore (correspond à une énergie par unité de surface et de temps) et θ est l'angle par rapport à l'axe de l'émetteur :



θ_0 : angle de divergence
= angle de demi-ouverture du lobe principal

(les lobes secondaires sont de très faibles intensités, et ne seront donc pas détectables en TP)

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

- a) Pour un transducteur de fréquence 5MHz et de diamètre 13mm, quel est l'angle de divergence dans l'acier ?
- b) Pour un transducteur de fréquence 20MHz et de diamètre 13mm, quel est l'angle de divergence dans l'acier ?
- c) Que peut-on en déduire sur l'influence de la fréquence sur la directivité du faisceau US ?

III - Atténuation d'un faisceau US

Dans un milieu atténuant, une onde plane décroît avec la distance parcourue. Ce phénomène peut être modélisé par une loi de type Beer-Lambert :

$$A(z) = A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$

$A(z)$: Amplitude ultrasonore (Pa) ayant parcourue une distance z (m)

A_0 : Amplitude ultrasonore émise (Pa)

α : Coefficient d'atténuation :

- Dans l'acier à une fréquence de 2,25 MHz : $\alpha = 25$ dB/m
- Dans l'acier à une fréquence de 5MHz : $\alpha = 75$ dB/m

z : Distance parcourue par l'onde dans le matériau (m)

L'atténuation peut être exprimée en pourcents de A_1 / A_0 ou plus souvent en décibels :

$$1\text{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_0}\right)$$

A_0 : Amplitude du signal émis (Pa)

A_1 : Amplitude du signal reçu (Pa) (après parcours d'une distance z)

- a) Calculer l'atténuation en décibels d'une onde ultrasonore, faisant un aller-retour dans une pièce en acier d'épaisseur 1,5cm à une fréquence de 2,25MHz, en pourcents, puis en décibels.

b) Calculer l'atténuation en décibels d'une onde ultrasonore, faisant un aller-retour dans une pièce en acier d'épaisseur 1,5cm à une fréquence de 5MHz, en pourcents, puis en décibels.

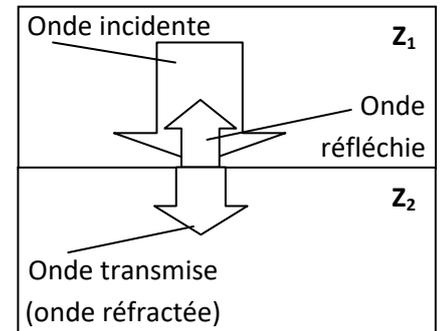
c) A une fréquence de 2,25MHz, si une onde faisait un aller-retour dans une pièce en acier, et que l'atténuation était de -19,5dB, quelle serait l'épaisseur de cette pièce ?

d) Conclure sur le rapport entre fréquence d'une onde et distance parcourue par celle-ci.

IV - Transmission entre 2 milieux

1) Incidence normale

En incidence normale, lorsqu'une onde passe d'un milieu 1 à un milieu 2, une partie de l'onde incidente est transmise dans le milieu 2, l'autre est réfléchie.



I_0 : Onde incidente ($W.m^{-2}$)

I_t : Onde transmise ($W.m^{-2}$)

I_r : Onde réfléchie ($W.m^{-2}$)

$$I_0 = I_t + I_r$$

Coefficient de transmission : $t = \frac{I_t}{I_0}$

Coefficient de réflexion : $r = \frac{I_r}{I_0}$

L'opposition au déplacement des ondes ultrasonores dans un milieu est caractérisée par l'impédance acoustique de ce milieu :

Z : Impédance acoustique d'un milieu ($Pa \cdot s/m$)

μ : Masse volumique du milieu ($g.cm^{-3}$)

C_L : Célérité ($m.s^{-1}$)

$$Z = \mu \cdot C_L \cdot 1000$$

Avec :

$$r = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad \text{et} \quad t = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

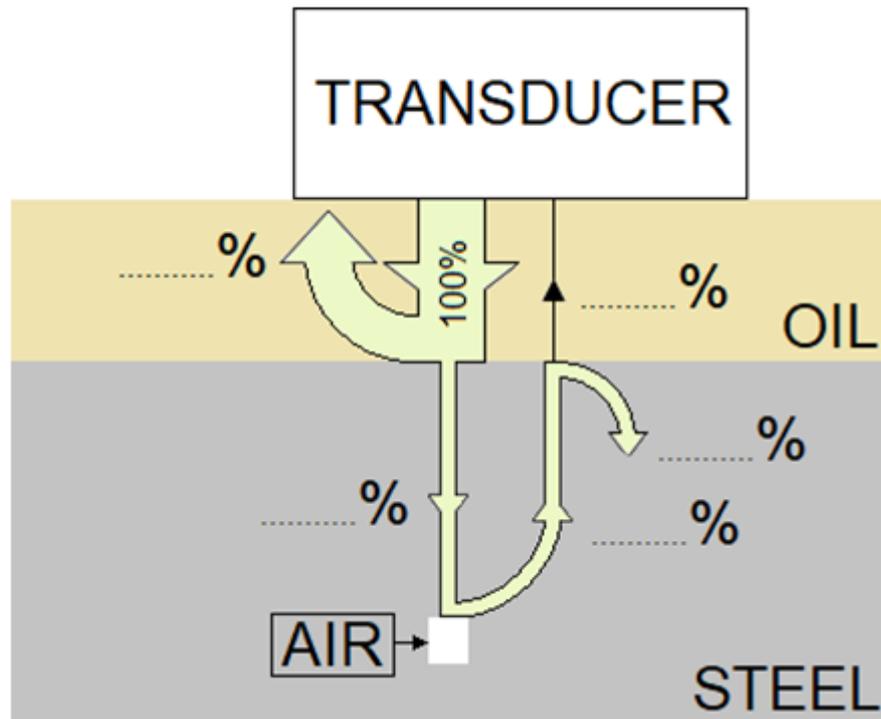
a) Calculer la réflexion et la transmission pour le passage d'une onde, de l'huile (qui peut être utilisée comme liquide de couplage) vers l'acier.

b) Calculer la réflexion et la transmission pour le passage d'une onde de l'acier vers l'air.

c) Expliquer en quoi cette propriété permet le CND par ultrasons.

d) Calculer la réflexion et la transmission pour le passage d'une onde de l'acier vers l'huile (qui peut être utilisée comme liquide de couplage).

e) Compléter le schéma récapitulatif suivant en indiquant les pourcentages d'ondes transmises et réfléchies :



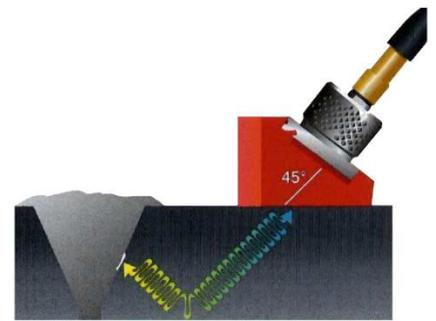
f) Justifier le fait que le signal reçu doit être amplifié

2) Angle d'incidence

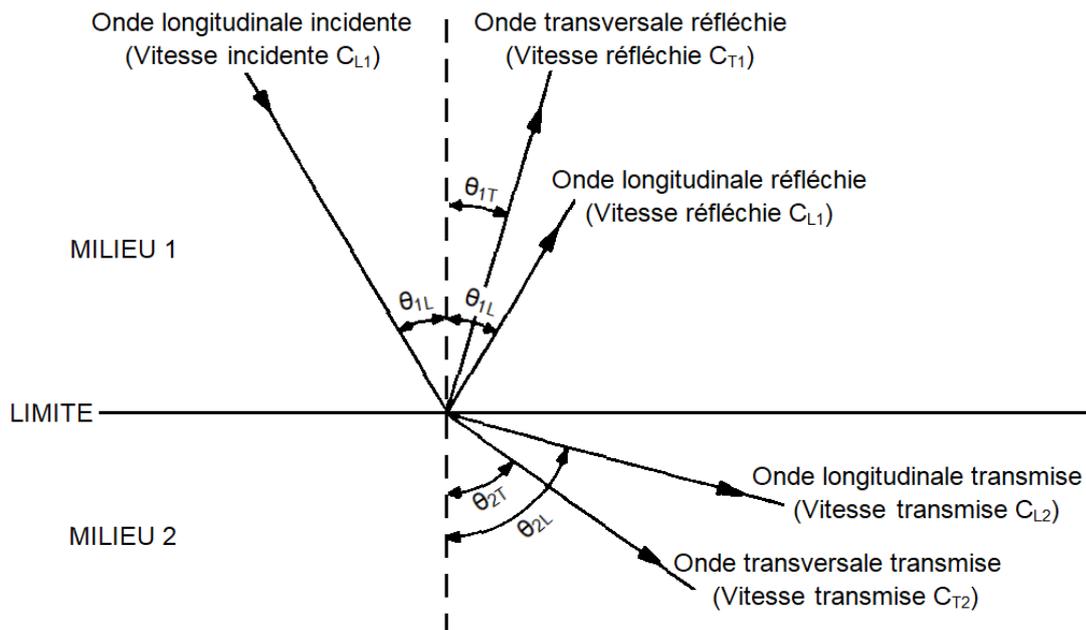
Pour des défauts très désorientés par rapport à la parallèle de la surface, il faut travailler avec un angle.

En incidence non normale, lorsqu'une onde passe d'un milieu 1 à un milieu 2, avec un angle θ_{1L} , une partie de l'onde incidente est transmise dans le milieu 2 avec un angle θ_{2L} différent de l'angle d'incidence. Une autre partie est réfléchiée avec un angle θ_{1L} égale à l'angle d'incidence.

Des ondes transversales apparaissent sous leurs propres angles : θ_{1T} pour l'onde transversale réfléchiée et θ_{2T} pour l'onde transversale transmise.



Recherche de défaut dans une soudure avec un angle de 45°



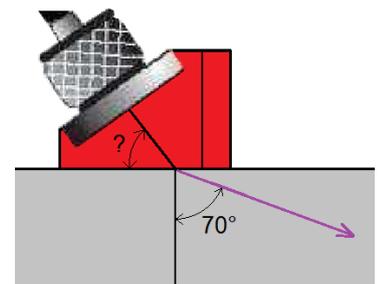
La loi de Snell-Descartes appliquée aux ultrasons donne les relations suivantes :

$$\frac{\sin \theta_{1L}}{C_{L1}} = \frac{\sin \theta_{1T}}{C_{T1}} = \frac{\sin \theta_{2L}}{C_{L2}} = \frac{\sin \theta_{2T}}{C_{T2}}$$

a) Notre traducteur est placé sur un sabot en plexiglas ayant lui-même un angle de 0°. Quel sera l'angle de l'onde longitudinale transmise dans l'aluminium ? Dans l'acier ? Expliquer les résultats.

b) D'après ta réponse précédente, comment est déviée l'onde lors de l'utilisation d'un capteur droit ?

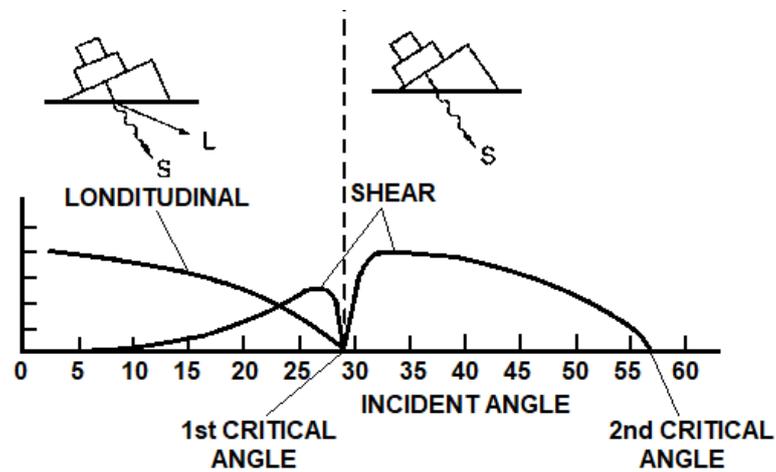
c) On souhaite obtenir un angle de 70° pour l'onde **longitudinale** transmise dans l'acier. Quel doit être l'angle du sabot en plexiglas (arrondir au degré supérieur) ?



d) Avec le sabot de la question précédente (arrondi au degré supérieur), quel sera l'angle de l'onde longitudinale transmise dans l'aluminium ? Expliquer le résultat.

Si la vitesse du milieu 2 est plus grande que dans le milieu 1, il existe des angles d'incidence au-delà desquels il n'existe plus de rayon réfracté. On choisit généralement des angles d'incidences de manière à n'avoir que des ondes transversales dans le matériau à contrôler.

Exemple : Milieu 1 = Plexiglas
Milieu 2 = Acier

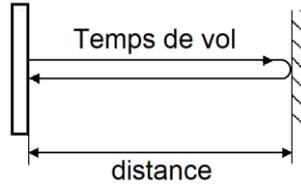


e) Déterminer graphiquement les valeurs des différents angles critiques, puis retrouver ces valeurs par le calcul.

f) Lors d'un CND ultrasons avec un traducteur comportant un angle (ou placé sur un sabot incliné), le traducteur émet uniquement des ondes longitudinales et ne doit recevoir que les ondes transversales. Il est impossible de garder des ondes longitudinales et transversales dans le matériau, car le traducteur recevrait différents échos qu'il serait impossible de différencier. Quels sont les angles de sabots permettant de respecter ce principe dans l'acier ?

V - Emplacement d'un défaut

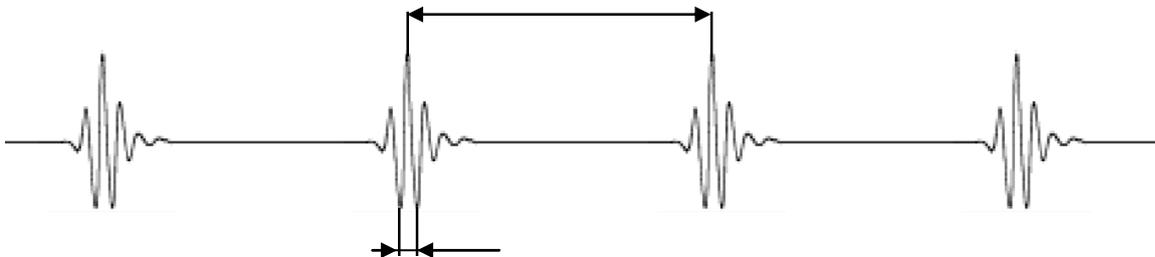
Le principe de base, est de mesurer le temps écoulé entre l'émission d'une impulsion US et la réception de celle-ci :



a) Donner le lien entre le temps de vol (Δt) et la distance (d), sachant que le temps de vol dans le liquide de couplage est négligé :

b) Pourquoi l'émission ne peut pas être continue ?

c) Il y a donc une « fréquence d'examen » de 500KHz à 20MHz, vue précédemment, et une « fréquence de récurrence » de 50Hz à 1KHz. Placer sur ce schéma les périodes correspondant à ces 2 fréquences :



Tr : temps récurrence

T : temps examen

Avec un transducteur mono-élément, l'émetteur est aussi le récepteur. Donc, si la surface réfléchissante (défaut ou fond) est située trop près de la surface de sondage, l'écho reçu ne sera pas détecté, car le transducteur sera entraîné d'émettre. Le transducteur est alors dit « aveugle ».

d) Déterminer l'épaisseur de la zone non contrôlable avec un transducteur mono-élément dans l'acier pour un temps d'examen de 500ns.

e) D'après les données, déterminer où se trouve le défaut par rapport au transducteur :

- Transducteur droit mono-élément avec une fréquence de 5MHz
- Matériau testé : acier
- Ondes longitudinales : $\Delta t = 12\mu s$

f) D'après les données, déterminer où se trouve le défaut par rapport au palpeur :

- Transducteur droit mono-élément avec une fréquence de 10MHz
- Matériau testé : aluminium
- Ondes longitudinales : $\Delta t = 8\mu s$

- g) D'après les données, déterminer où se trouve le défaut par rapport au palpeur :
- Transducteur droit mono-élément avec une fréquence de 5MHz sur sabot plexiglas incliné de 45°
 - Matériau testé : fonte grise
 - Ondes transversales en tir d'angle : $\Delta t = 20\mu s$

