

# **Chapitre 4 :**

# **Les ultrasons**

## Chapitre 4. Les ultrasons

### I. Introduction

Cette technique permet un contrôle non destructif assez performant des pièces. On peut ainsi :

- contrôler des fissures, des cavités, des inclusions métalliques, des occlusions gazeuses, etc...
- contrôler ou mesurer des épaisseurs quand des techniques traditionnelles ne sont pas utilisables (exemple : contrôle de l'épaisseur résiduelle de la paroi d'une cuve contenant un produit corrosif).

Le procédé est particulièrement indiqué pour des objets de forme géométrique simple (plaque, tube...).

### II. Définition

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques de la matière fluide ou solide, de même nature que les sons, dont la fréquence est supérieure au domaine audible d'une oreille humaine normale (16Hz à 16KHz).

Le phénomène initial du son ou d'un ultrason est toujours produit par un corps élastique animé de vibrations mécaniques dus par exemple à un choc (diapason), à une impulsion électrique (tonnerre) à un jet gazeux interrompues (sirène).

0-----16 Hz	16 Hz-----16.10 <sup>3</sup> Hz	16.10 <sup>3</sup> Hz-----150.10 <sup>6</sup> Hz	Plus que 150.10 <sup>6</sup> Hz
Infrasons sons	Zone audible	Ultrasons	Hyper sons

### III. Notion d'onde

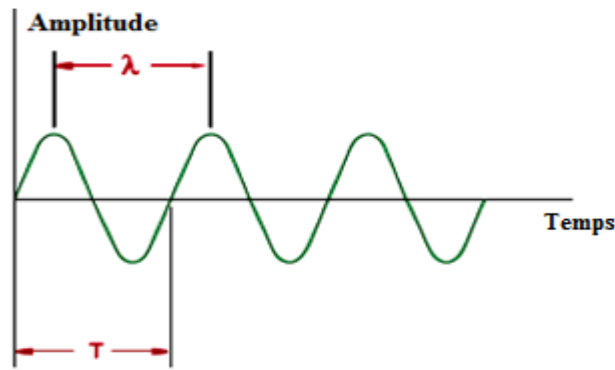
#### 1- Définition

Les sons d'une manière générale sont des ondes élastiques, elles ne se diffèrent entre eux que par leurs fréquences.

On parle généralement d'onde lorsqu'il s'agit d'un phénomène qui se répète après un certain temps (T) appelé période.

- La fréquence (f) de réapparition du phénomène est donc donnée par l'inverse du temps  $f = \frac{1}{T}$
- L'espace parcourue par l'onde pendant un cycle ou une période est dit longueur d'onde

$$\left( \lambda = V \times T = \frac{V}{f} \right)$$



En contrôle non destructif, pour qu'on puisse détecter un défaut, il faut que celui-ci ait une taille au moins égal à  $\lambda/2$ . C'est pourquoi, on utilise des fréquences élevées, comprises en général entre 1 et 20 MHz.

◆ **Application**

Calculer l'ordre de grandeur du plus petit défaut décelable dans un morceau d'acier pour ces deux fréquences. Données :  $V_{\text{acier}} = 5900 \text{ m.s}^{-1}$

◆ **Réponses**

**Pour  $f = 1 \text{ MHz}$ ,**

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{5900}{10^6} = 5,9 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 2,95 \text{ mm}$$

**Pour  $f = 20 \text{ MHz}$ ,**

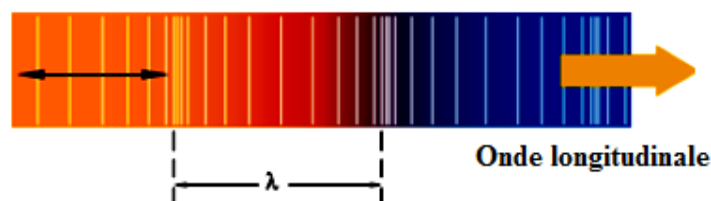
$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{5900}{20 \times 10^6} = 0,295 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 0,147 \text{ mm}$$

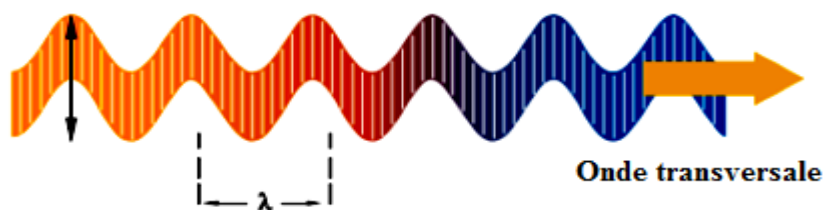
**2- Types d'ondes**

On distingue trois types d'onde :

- ✓ Onde longitudinale ou de compression : la direction des vibrations des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

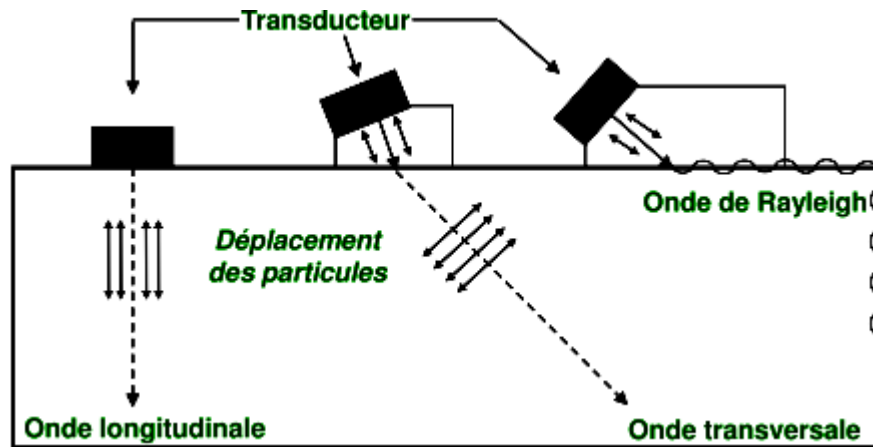


- ✓ Onde transversale ou de cisaillement : la direction des vibrations des particules est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.



- ✓ Onde de surface : ondes obtenues par superposition des deux ondes longitudinale et transversale parallèle à la surface du solide.

Sur la figure suivante, on illustre les trois types d'onde :



### 3- Vitesse de propagation :

La vitesse de l'onde dépend de la nature de matériaux que la transporte et de type d'onde :

- ✓ **Onde longitudinale :**

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

E : Module d'Young (module d'élasticité) du matériau N/m<sup>2</sup>.

ρ : Masse spécifique du matériau (Kg/m<sup>3</sup>).

ν : Coefficient de Poisson.

- ✓ **Onde transversale :**

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

E : Module d'Young (module d'élasticité) du matériau N/m<sup>2</sup>.

ρ : Masse spécifique du matériau (Kg/m<sup>3</sup>).

ν : Coefficient de Poisson.

- ✓ **Onde de surface :**

$$V_s = 0,9 \times V_t.$$

#### ◆ Application

- a-** Calculer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'acier, en onde longitudinale, onde transversale et onde de surface.

On donne : E = 21 10<sup>10</sup> N/m<sup>2</sup>      ρ = 7,8 10<sup>3</sup> Kg/m<sup>3</sup>      ν = 0,28

- b-** Calculer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'aluminium, en onde longitudinale, onde transversale et onde de surface.

On donne :  $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$      $\rho = 2,51 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$      $\nu = 0,34$

◆ **Réponse:**

a)  $V_L = 5866 \text{ m/s}$ ,  $V_T = 3240 \text{ m/s}$

b)  $V_L = 6550 \text{ m/s}$ ,  $V_T = 3225 \text{ m/s}$

◆ **Exemples de vitesses des ultrasons dans la matière :**

Matériau	Masse volumique ( $10^3 \text{ Kg/m}^3$ )	Vitesse des ondes longitudinales (m/s)	Vitesse des ondes transversales (m/s)	Impédance acoustique ( $10^6 \text{ Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )
Aciers	7.8	5900	3250	46
Fonte	7.2	4600	2150	33
Aluminium	2.7	6300	3100	17
Cuivre	8.9	4700	2250	42
Laiton	8.5	4500	2100	38
Béton	2.5	4500		11
Verre	2.5	5650	3400	14

#### IV. Transmission et réflexion des ondes

##### 1- Impédance acoustique

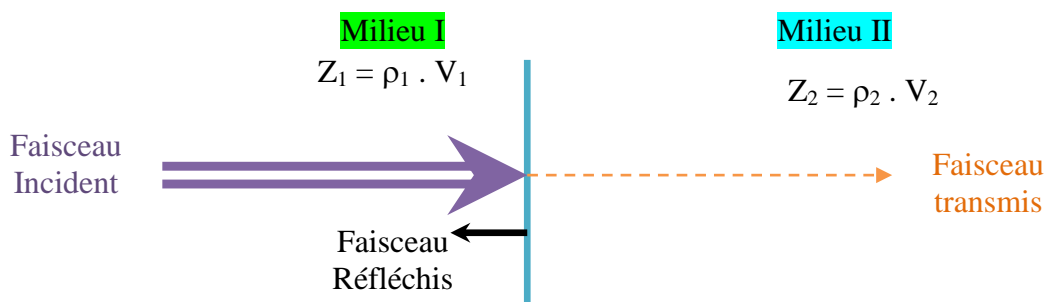
C'est la propriété qui détermine la transmission des ultrasons à travers la ligne adjacente à deux milieux, pour un matériau donné elle est égale aux produits de la masse spécifique de matériau par la vitesse de l'onde. ( $Z = \rho \cdot V$ ).

Les matériaux ayant de grandes impédances acoustiques sont dits « durs ».

Les matériaux ayant de faibles impédances acoustiques sont dits « mous ».

##### 2- Incidence normale

Une incidence est dite normale si la direction de propagation de l'onde incidente est perpendiculaire à la surface séparant les deux milieux.



On distingue 3 cas :

- 1<sup>er</sup> cas :  $Z_1 = Z_2$  : transmission totale
- 2<sup>ème</sup> cas :  $Z_1 \cong Z_2$  : transmission partielle
- 3<sup>ème</sup> cas :  $Z_1 \gg \gg \gg Z_2$  : réflexion totale

On note par :

$A_r$  : l'amplitude de l'onde réfléchie

$A_i$  : l'amplitude de l'onde incidente

$A_t$  : l'amplitude de l'onde transmise

Alors on a :  $\frac{A_r}{A_i} = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$  et  $\frac{A_t}{A_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$

Une partie de l'onde incidente est transmise dans le milieu 2, l'autre partie est réfléchie.

$$A_t + A_r = A_i$$

- **Coefficient de transmission** :  $t = \frac{A_t}{A_i}$
- **Coefficient de réflexion** :  $r = \frac{A_r}{A_i}$

Il est clair que  $t + r = 1$ .

On montre que :  $r = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$  et que  $t = \frac{4 \times Z_1 \times Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$

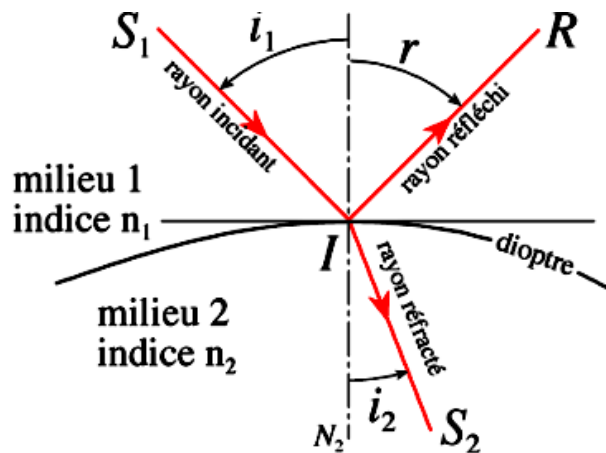
### ◆ Application

Pour une interface Acier / Aluminium  $r = \dots\%$ ,  $t = \dots\%$

### 3- Incidence oblique

Une onde incidente arrive à la surface de séparation de deux milieux sous un angle  $i_1$  autre que l'angle droit, l'onde réfléchie forme un angle  $r$  par rapport à la normale égal à  $i_1$ .

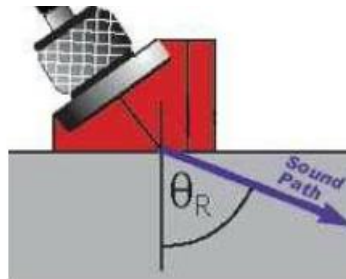
Lorsqu'une onde incidente franchie obliquement une interface séparant les deux milieux elle subit un changement brusque de direction si la vitesse de propagation des angles est différente dans les deux milieux, l'onde réfracté dans le milieu II, forme un angle  $r$  par rapport à la normale cet angle est appelé angle de réfraction.



#### 4- Rappel d'optique géométrique : Lois de Snell-Descartes.

- **Première loi :** Le rayon réfléchi et le rayon réfracté appartiennent au plan d'incidence
- **Deuxième loi :** Les angles d'incidence et de réflexion sont égaux :  $r = i_1$
- **Troisième loi :** L'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  vérifient la relation :  
 $n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$  où  $n_1$  et  $n_2$  sont les indices de réfraction des deux milieux.

Cette relation est très importante dans la recherche des défauts avec des faisceaux d'ultrasons qui viennent percuter la matière suivant des angles d'incidence.



#### ◆ Application

- On veut un angle de  $70^\circ$  dans l'acier. Quel doit être l'angle du sabot en plexiglas?
- Avec le sabot précédent, quel sera l'angle du faisceau réfracté dans l'aluminium?

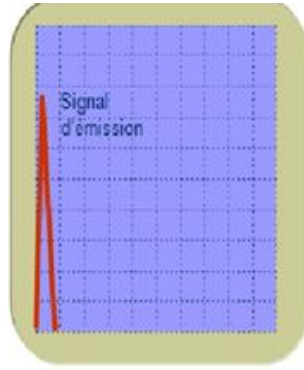
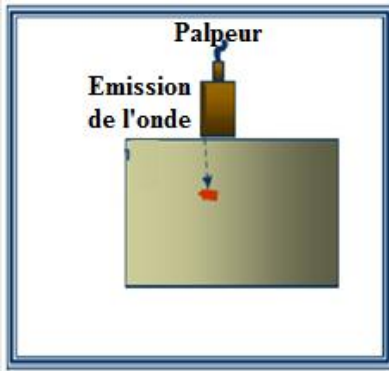
## V. Principe de contrôle par ultrasons

### 1- Principe

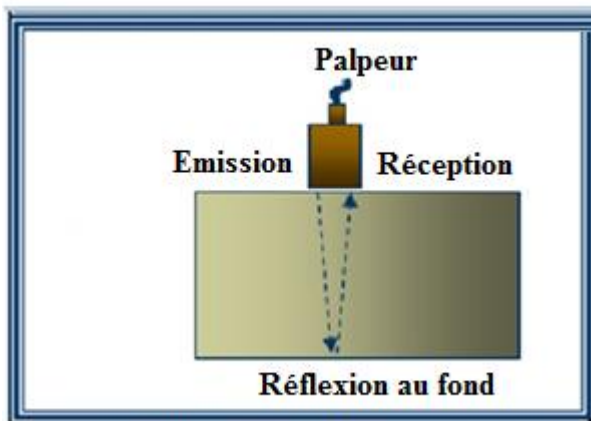
Une onde ultrasonore est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans celui-ci. Il est nécessaire d'ajouter un couplant (gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes.

Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion

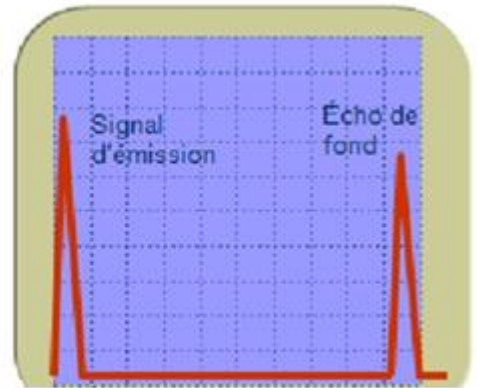
- Les ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho ».



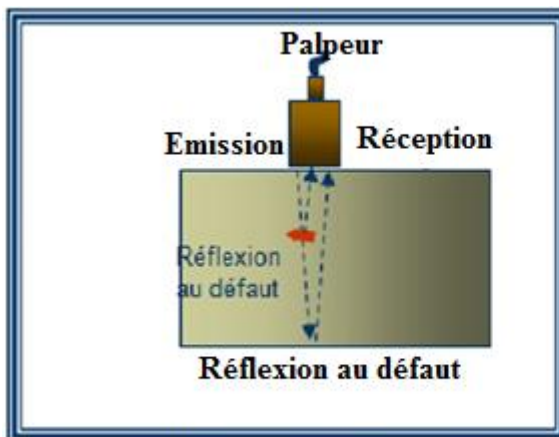
- Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut.



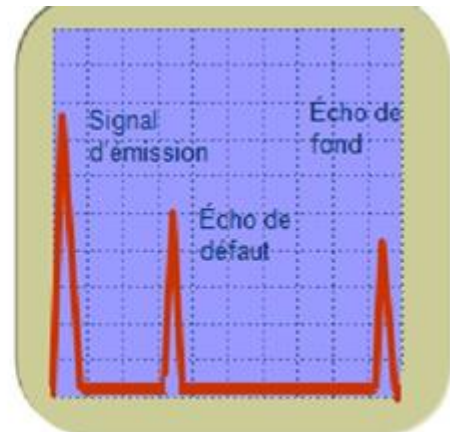
Pièce sans défaut



**Temps de pose** (temps de silence) : c'est le temps nécessaire pour lequel l'onde soit perturbé (se réfléchisse) par le fond de la pièce ou par le défaut.

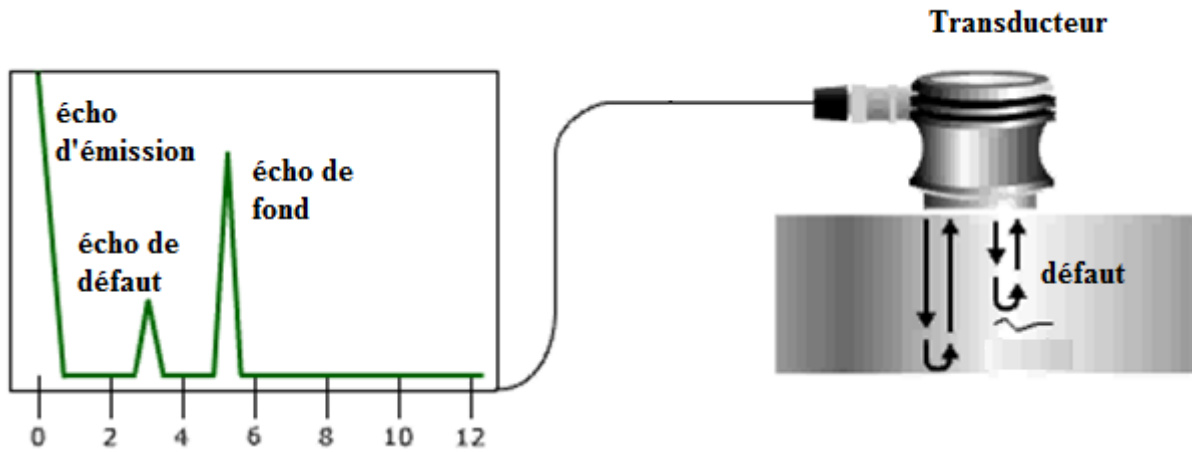


Pièce avec défaut



D'un point de vue pratique, on utilise un écran d'oscilloscope. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran.





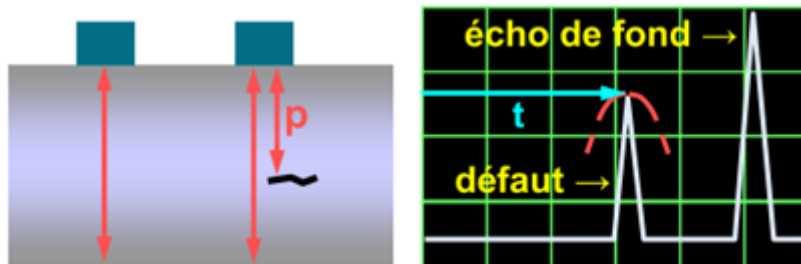
2- Profondeur de l'existence du défaut :

◆ Pour un capteur droit (0°, ondes L):

On note par :

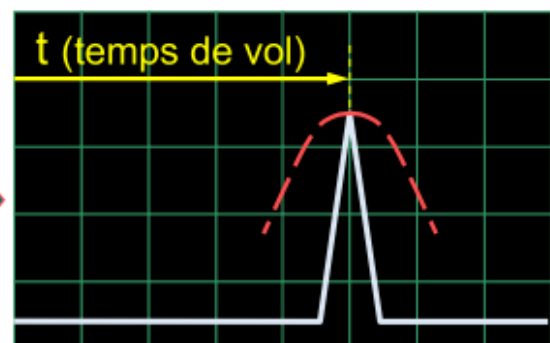
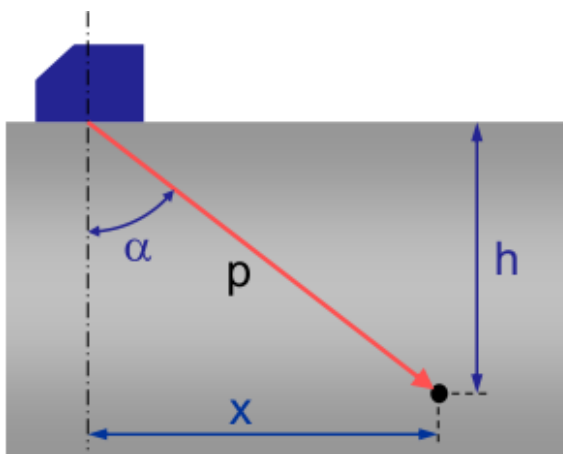
**p** : la profondeur de l'existence du défaut par rapport à la surface supérieure de la pièce à contrôler.

**t** : le temps qui sépare l'écho d'émission et l'écho du fond.



$$p = \frac{V_L \times t}{2}$$

◆ Pour un capteur d'angle (0°, ondes L):



$$x = p \sin \alpha \quad h = p \cos \alpha$$

$$p = V t / 2$$

◆ **Application**

Un écho apparait 10 $\mu$ s après l'émission dans une pièce en acier ( $V_L = 5850\text{m/s}$ ). Quelle est la profondeur où se trouve le défaut?

◆ **Réponse**

Vitesse:  $V = 5\ 850\ 000\ \text{mm/s}$

Temps :  $t = 10 \cdot 10^{-6}\ \text{s}$

Donc distance:  $d = V \times t = 58.5\text{mm}$

**3- Notion de "Zone morte" :**

Si la surface réfléchissante (le défaut ou le fond) est située trop près de la surface de sondage, l'écho peut se superposer avec l'impulsion initiale. Le palpeur est dit "aveugle".

◆ **Application**

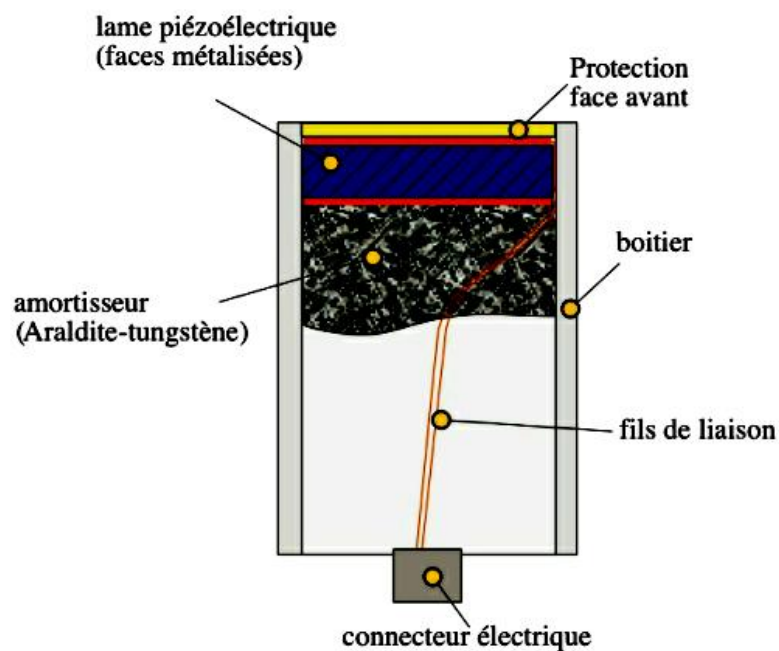
Soit une durée d'impulsion de 500 ns.

Déterminer l'épaisseur de la zone non contrôlable dans l'acier.

**VI. Capteur ultrasonore**

**1- Composition**

Dans le sens large du mot, un transducteur une traduction du mot anglais "transducer", est un élément qui converti une énergie en une autre. Les transducteurs ultrasoniques convertissent l'énergie électrique en un son à haute fréquence (équivalent à une vibration à haute fréquence) et vis versa.



Il existe plusieurs familles de palpeurs piézoélectriques adaptées aux différents modes d'utilisation : contrôle par contact ou en immersion, nature du produit à sonder, des défauts, etc. Les 4 types de palpeurs les plus utilisés dans l'industrie sont les suivants.

- palpeur droit cylindrique, palpeur d'angle à sabot, palpeur droit focalisé, palpeur droit double avec émission et réception séparées (palpeurs SE). Certaines applications particulières font appel à des palpeurs spéciaux tels que les palpeurs droits rectangulaires, les palpeurs à focalisation cylindrique et les barrettes multi-palpeurs, nées dans le domaine médical et dont l'emploi se développe dans l'industrie.

## 2- Choix du traducteur

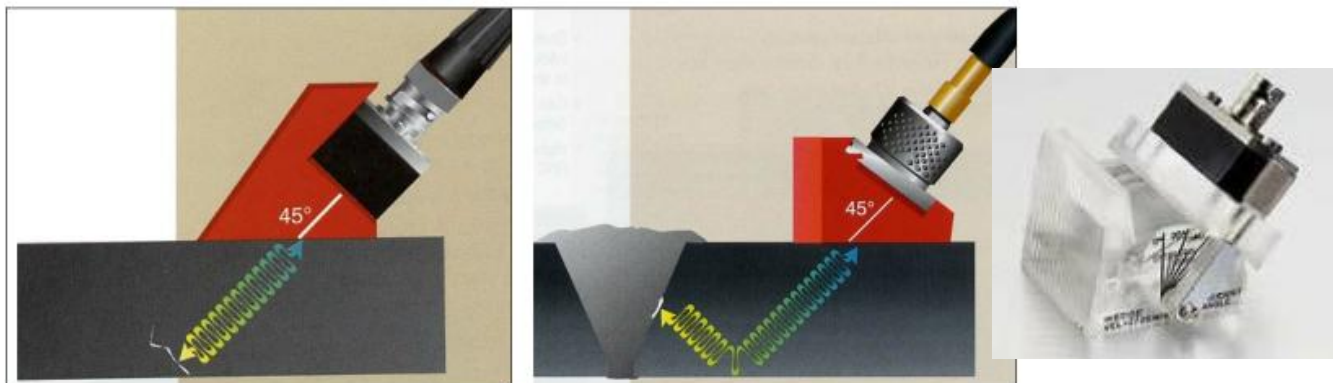
### a- Choix de la fréquence

Le choix du palpeur est subordonné au contrôle à effectuer. Le tableau suivant illustre l'influence de la fréquence sur la longueur d'onde (mm) dans différents milieux.

Fréquence	1MHz	2 MHz	3 MHz	5 MHz
Acier	5.85	2.93	1.95	1.16
Aluminium	6.22	3.11	2.07	1.24
Cuivre	4.7	2.35	1.57	0.94
Plexiglass	2.7	1.35	0.90	0.54
Fonte grise	4.6	2.3	1.53	0.92

### b- Utilisation de palpeurs obliques

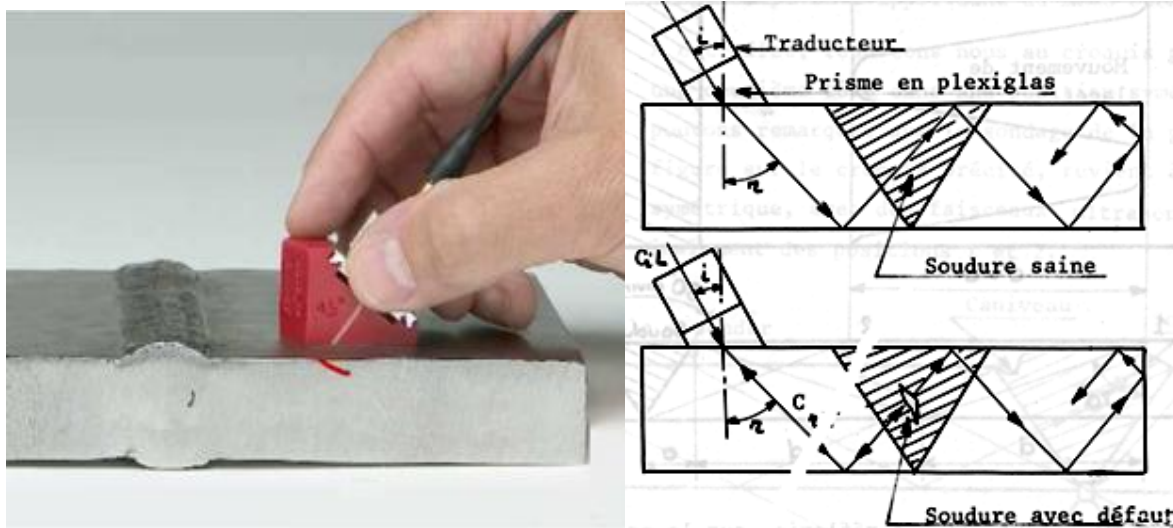
- Pour que l'écho revienne sur le palpeur, il faut que la direction du réflecteur (défaut) soit orthogonale au faisceau.
- On choisit généralement des angles d'incidences de manière à n'avoir que des O.T. dans le matériau à contrôler.



Les angles les plus courants dans le commerce sont : 45°, 60° et 70° (sous-entendus dans l'acier).

Certains sabots permettent l'ajustement de l'angle d'incidence.

L'utilisation de la technique de contrôle avec un traducteur à angle est très utilisée dans le contrôle des soudures.



**c- Un capteur est caractérisé par:**

- son type (droit, angle...),
- sa fréquence,
- son diamètre (quelques mm à 300 mm),
- son amortissement.

## VII. Atténuation de l'amplitude de l'onde ultrasonore

L'amplitude d'une vibration qui se propage dans un milieu n'est pas constante durant sa propagation. Elle va s'atténuer jusqu'à disparaître. Les causes d'atténuation sont essentiellement liées au matériau proprement dit, cependant la fréquence de la vibration est également un facteur qui influe sur cette atténuation, donc l'atténuation sera fonction de :

- La fréquence de l'onde,
- Le matériau,
- La distance parcourue par l'onde.

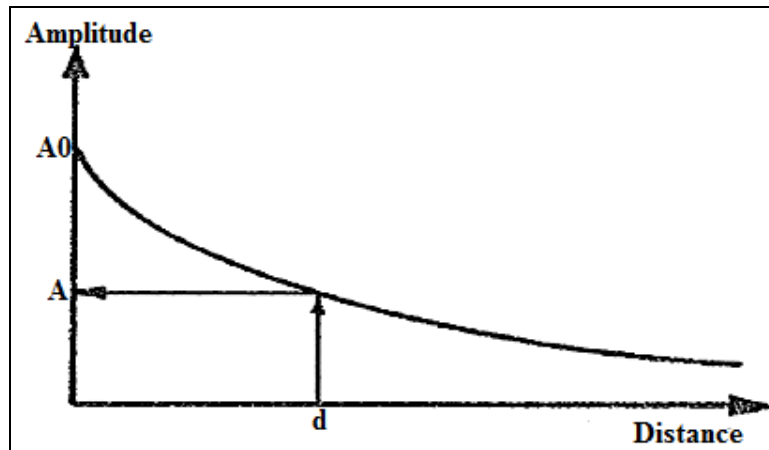
Si à un instant donné, l'onde a une amplitude  $A_0$  lorsqu'elle aura parcouru une distance, l'amplitude restante sera  $A$ .

$$A = A_0 \times e^{-\alpha \times d} \quad \text{avec : } A_0: \text{ Amplitude de l'onde émise,}$$

$A$ : Amplitude de l'onde qui a parcourue la distance  $d$ ,

$d$ : Distance parcourue,

$\alpha$ : Coefficient dépendant du matériau et de la fréquence au carré  $\alpha = k \times f^2$ .



◆ Exemples de valeurs de  $\alpha$  (pour onde longitudinale 2 MHz) :

Matériau	Valeur de $\alpha$ (dB/m)
Aluminium	1 à 5
Acier	5 à 50
Fonte	20 à 200
Plexiglas	500

Avec un appareil de contrôle par ultrason, on peut compenser partiellement l'amortissement en jouant sur le gain de l'amplificateur. Mais l'inconvénient c'est d'amplifier également le bruit.

◆ **Application**

Vous devez contrôler un matériau atténuant comme la fonte. Vous avez à votre disposition deux palpeurs : l'un de 2,25 MHz, l'autre de 5 MHz. Lequel allez-vous privilégier?

◆ **Réponse**

Il faut choisir un capteur de faible fréquence puisque l'amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence au carré : capteur de 2,25 MHz.

### VIII. Matériel mis en œuvre

- Postes ultrasonore analogiques ou numériques,
- Transducteurs d'onde longitudinale, d'onde transversale et à angles variables,
- Mesureurs d'épaisseurs,
- Logiciels de saisi et de suivi des mesures d'épaisseurs



Appareil de contrôle par US



Traducteurs

## IX. Exemples d'applications

- Défaut de soudage : porosité, manque de fusion, défaut de pénétration, inclusions de laitier, fissures sur les bords, fissures en racines.
- Contrôle des pièces moulées.
- Mesures d'épaisseurs.
- Recherche de fissures sur les installations en service.

## X. Avantages et inconvénients

### 1. Avantages

- Contrôle sur métaux, plastiques, matériaux divers
- La détection des défauts à l'intérieur des matériaux
- Grande précision possible.
- Localisation et dimensionnement des défauts.
- Rapidité de mise en œuvre et transportabilité.
- Contrôle en service possible, large domaine d'application.
- Contrôle en temps réel

### 2. Inconvénients

- La sensibilité de la méthode est fortement influencée par l'orientation de la surface du défaut vis-à-vis de la direction principale du faisceau acoustique.
- Il est nécessaire d'interposer un milieu de couplage intermédiaire entre le traducteur et la pièce pour assurer la continuité de la propagation.
- L'interprétation de la nature des défauts et de leur dimension nécessite du personnel qualifié ayant une grande expérience.
- La mise en œuvre est difficile sur certains matériaux (matériaux absorbants).

## **XI. Exercices d'application**

### **Exercice 1**

Cocher la/les bonne(s) réponses:

**1- Dans le cas d'une onde transversale, le déplacement des éléments constitutifs du milieu est:**

- Perpendiculaire à la direction de propagation,
- Parallèle à la direction de propagation,
- Nul,
- Quelconque.

**2- En contrôle ultrasonore, il est nécessaire d'utiliser un milieu de couplage entre le transducteur et la pièce à contrôler pour :**

- Lubrifier le transducteur afin de limiter son usure,
- Eviter qu'une couche d'air réfléchisse les ondes ultrasonores,
- Permettre à l'élément actif du transducteur de vibrer,
- Réaliser le circuit électrique dans le transducteur.

**3- La vitesse de propagation des ondes ultrasonores est fonction de :**

- La longueur d'onde,
- La fréquence,
- La nature du matériau dans lequel l'onde se propage,
- La période.

**4- L'amplitude d'une vibration n'est pas constante durant sa propagation dans un milieu. Elle va s'atténuer jusqu'à disparaître. L'atténuation est fonction :**

- De la fréquence de l'onde émise, du matériau à contrôler et de la distance parcourue par l'onde.

De la fréquence de l'onde émise et du type de capteur.

- De la distance parcourue par l'onde et du diamètre du palpeur.

**5- En contrôle par ultrason :**

- Plus la fréquence est élevée, plus l'onde sera atténuée rapidement.
- Plus la fréquence est basse, plus l'onde sera atténuée rapidement.
- La fréquence n'a aucune influence sur l'atténuation de l'onde.

**6- L'analyse d'huile usagée permet d'avoir rapidement une vue détaillée :**

- Seulement de l'état du lubrifiant.
- Seulement de l'équipement.
- Non seulement de l'état du lubrifiant mais également de l'équipement.

7- La thermographie utilise la bande spectrale qui s'étend de :

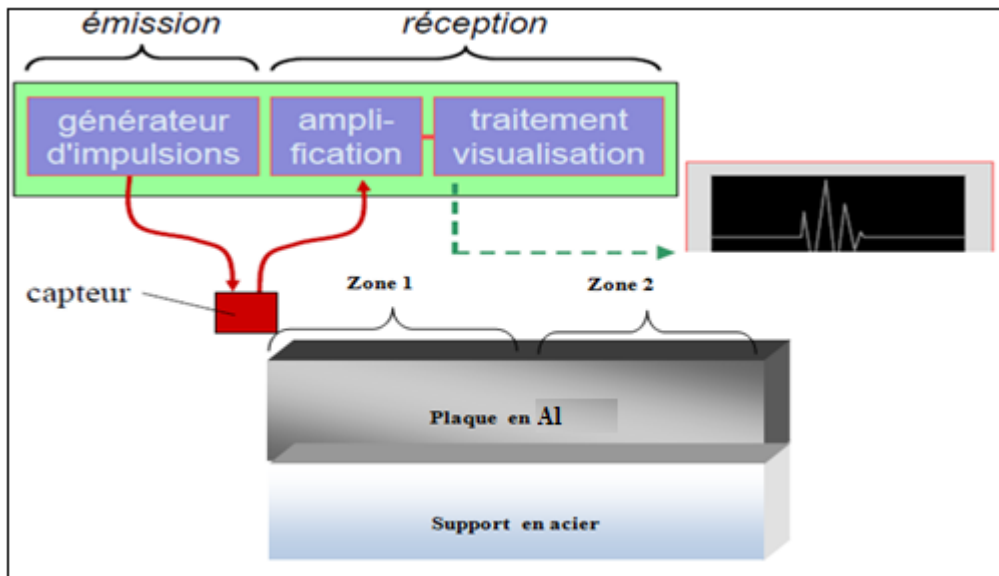
- 0.8  $\mu\text{m}$  à 1mm.
- 0.4  $\mu\text{m}$  à 0.8  $\mu\text{m}$ .
- 0.5  $\text{\AA}$  à 100  $\text{\AA}$ .

8- La vitesse longitudinale de propagation d'une onde ultrasonore dans un acier inoxydable de module d'Young  $E = 190\text{GPa}$ , de masse volumique  $\rho = 7900 \text{ Kg/m}^3$  et de coefficient de Poisson  $\nu = 0,3$  est :

- 5689,97 m/s
- 3041,42m/s
- 2737,27 m/s

**Exercice 2**

On se propose d'examiner la présence de défauts dans une plaque prismatique en aluminium de masse volumique  $\rho_{\text{Al}} = 2510 \text{ Kg/m}^3$ , de module d'élasticité longitudinale  $E_{\text{Al}} = 70 \text{ GPa}$  et de coefficient de poisson  $\nu_{\text{Al}} = 0,34$  montée dans un montage sur un support en acier de masse volumique  $\rho_{\text{acier}} = 7800 \text{ Kg/m}^3$ , de coefficient de poisson  $\nu_{\text{acier}} = 0,28$  et de module d'élasticité longitudinale  $E_{\text{acier}} = 210 \text{ GPa}$  par la technique de contrôle par l'ultrason.



1. Par la technique de contrôle par ultrason, est-il possible d'identifier le défaut ? Sa taille ? Sa profondeur ? Comment ?

*Par la technique de contrôle par ultrason on peut identifier :*

- *Le défaut en comparant les amplitudes des échos et les intervalles du temps qui les séparent,*
- *La taille du défaut en balayant la surface de la pièce à contrôler jusqu'à la disparition de l'écho du défaut,*



- La profondeur du défaut en comparant le temps mis pour faire un aller retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut.

2. Calculer les vitesses longitudinales  $V_{L(Al)}$ ,  $V_{L(acier)}$  et transversales  $V_{T(Al)}$ ,  $V_{T(acier)}$  de propagation de l'onde ultrasonore respectivement dans la plaque en aluminium et dans le support en acier.

La vitesse longitudinale est :  $V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$

La vitesse transversale est :  $V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$  avec  $\rho$  est la masse volumique du matériau

(Kg/m<sup>3</sup>),  $E$  est le module d'élasticité longitudinale (N/m<sup>2</sup>),  $\nu$  est le coefficient de Poisson.

**Pour le cuivre :**

$$V_{L(Al)} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} = \sqrt{\frac{70 \times 10^9 \times (1-0,34)}{2510 \times (1+0,34) \times (1-2 \times 0,34)}} = 6550 m.s^{-1}$$

$$V_{T(Al)} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{70 \times 10^9}{2 \times 2510 \times (1+0,34)}} = 3225 m.s^{-1}$$

**Pour l'acier :**

$$V_{L(Acier)} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} = \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot (1-0,28)}{7800 \cdot (1+0,28) \cdot (1-2 \cdot 0,28)}} = 5866,74 m.s^{-1}$$

$$V_{T(Acier)} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9}{2 \cdot 7800 \cdot (1+0,28)}} = 3242,96 m.s^{-1}$$

3. Calculer l'impédance acoustique  $Z_{Al}$  dans la plaque en aluminium puis dans le support en acier  $Z_{acier}$ .

$$Z_{Al} = Z_1 = V_{L(Al)} \cdot \rho_{Al} = 6650 \times 2510 = 16,44 \cdot 10^6 \text{ Kg} / m^2 \cdot s$$

$$Z_{acier} = Z_2 = V_{L(acier)} \cdot \rho_{acier} = 5866,74 \cdot 7800 = 45,76 \cdot 10^6 \text{ Kg} / m^2 \cdot s$$

On considère maintenant la transmission de l'onde à travers la ligne adjacente qui sépare les deux milieux aluminium/acier :

4. Calculer les coefficients de transmission  $t$  et de réflexion  $r$ .

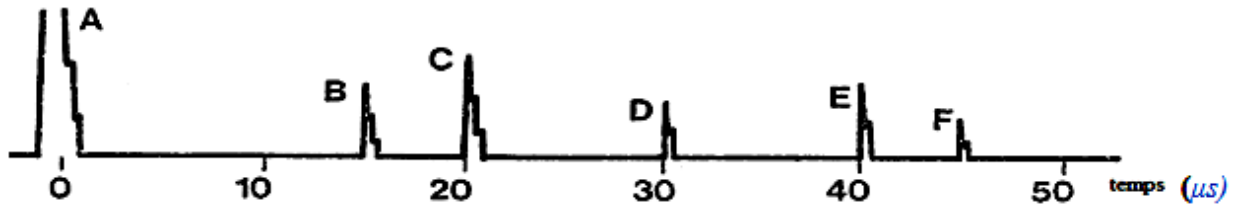
$$t = \frac{A_T}{A_I} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = \frac{4 \times 16,44 \times 10^6 \times 45,76 \cdot 10^6}{(16,44 \times 10^6 + 45,76 \cdot 10^6)^2} = 0,77$$

$$r = 0,33$$

5. S'agit-il d'une transmission totale ? Partielle ? ou d'une réflexion totale ? Justifier.

On a  $t \neq 1$  }  $\blacktriangleright$  Il s'agit d'une transmission partielle.  
 $r \neq 1$  }

Le balayage de la zone 1 de la plaque en aluminium permet de visualiser les échos de la figure suivante :



6. Montrer l'existence d'un défaut à l'intérieur de la pièce en aluminium en identifiant les indications A, B, C et D?

*Si la pièce est « saine », l'amplitude des échos doit diminuer en fonction du temps, de plus les intervalles du temps qui séparent deux échos consécutifs doivent être réguliers, ce que n'est pas le cas : donc la pièce présente un défaut intérieur.*

Echo A : écho d'interface                      Echo B : écho de défaut  
 Echo C : écho du fond                          Echo D : écho de défaut

7. Justifier l'atténuation de l'amplitude des échos ?

*L'atténuation de l'amplitude est fonction :*

- De la fréquence de l'onde,
- Du matériau,
- De la distance parcourue par l'onde.

8. Ecrire la loi décrivant cette atténuation.

$$A = A_0 \times e^{-\alpha \times d} \quad \text{avec}$$

$A_0$ : Amplitude de l'onde émise,

A: Amplitude de l'onde qui a parcourue la distance d,

d: Distance parcourue,

$\alpha$ : Coefficient dépendant du matériau et de la fréquence au carré  $\alpha = k \times f^2$ .

9. On dispose de trois traducteurs ultrasonores, 5MHz, 10MHz et 15MHz. Quel capteur faut-il choisir pour que l'onde ne soit pas atténué rapidement. Justifier.

*L'amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence de l'onde émise. Ainsi pour que l'onde ne soit pas atténué rapidement, il est conseillé d'utiliser un palpeur de faible fréquence. Le capteur de fréquence 5Mhz est à choisir.*

10. Utiliser la figure ci-dessus pour déterminer l'épaisseur de la pièce en cuivre ?

L'épaisseur de la pièce est déterminée en utilisant la formule :  $e = (V \times t_p)/2$  avec  $V$  : Vitesse longitudinale de propagation de l'onde dans le matériau,  $t$  est le temps de pose.

$V =$  m/s. et d'après le diagramme  $t = t_C - t_A = 20\mu s$  ; donc  $e = (6550 \times 20 \times 10^{-6})/2 = 65,5$  mm

11. Déterminer la profondeur du défaut par rapport à la surface supérieure de la pièce.

L'écho de défaut B apparaît après  $15 \mu s$  de l'émission de l'onde ultrasonore. :

$$P = (V \times t)/2 = 49,12 \text{ mm.}$$

12. Le balayage de la zone 2 de la plaque en cuivre avec le palpeur montre qu'un écho de fond qui disparaît rapidement :

a- Interpréter cette constatation.

*Un écho disparaissant lors du balayage avec le palpeur peut montrer la présence d'un défaut avec surface limite plane qui est incliné par rapport à la direction d'incidence. Le faisceau réfléchi ne revient plus vers le palpeur et se perd dans la pièce.*

b- Quelles sont les recommandations à faire pour bien apparaître l'écho de défaut ?

*Utilisez un palpeur d'angle pour localiser l'endroit exact du défaut.*

### Exercice 3

1- Quelle méthode peut-on utiliser pour la surveillance d'une ligne électrique à haute tension ?

*La surveillance d'une ligne électrique à haute tension nécessite un outillage de contrôle à distance (laisser l'utilisateur en dehors de tout danger) pour la détection des « points chauds ». Ceci est possible avec une caméra thermique IR.*

2- Quelle est (sont) la (les) technique (s) de CND à utiliser pour la détection :

- d'une fissuration à l'intérieur d'une plaque en acier ?

*Pour la détection d'une fissure intérieure, on peut utiliser la technique de contrôle par ultrason.*

- d'une fissuration sous-jacente dans un support en fonte à graphite sphéroïdal ?

*Pour la détection d'une fissure sous-jacente dans un support en fonte à graphite sphéroïdal (matériau ferromagnétique), on peut utiliser la technique de contrôle par magnétoscopie.*

- d'une fissuration extérieure dans un cordon de soudage ?

*Pour la détection d'une fissure extérieure dans un cordon de soudage, on peut utiliser le ressuage.*

3- Lors d'un contrôle par ultrason sur des pièces en matériaux différents, l'oscillogramme a enregistré les formes suivantes : interpréter les échos observés.



Figure 1 :

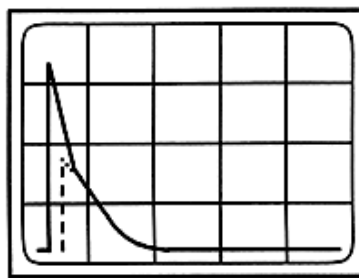


Figure 2 :

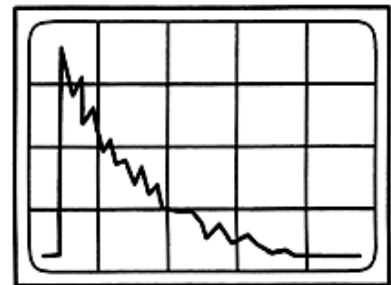


Figure 3 :

**Figure 1 :**

*Echo de fond disparaissant lors du balayage avec le palpeur. Défaut avec surface limite plane qui est inclinée par rapport à la direction d'incidence. Le faisceau réfléchi ne revient plus vers le palpeur et se perd dans l'éprouvette. Utilisez un palpeur d'angle pour localiser l'endroit exact du défaut.*

**Figure 2 :**

*Echo d'un défaut à proximité de la surface. Augmentez la fréquence supérieure de la bande passante pour amincir l'impulsion d'émission.*

**Figure 3 :**

*Grand nombre d'échos dus à une microstructure grossière (fontes) ou matériau composite. Les joints de grains réfléchissent et empêchent l'onde de traverser la pièce. Choisissez un palpeur de fréquence plus faible.*