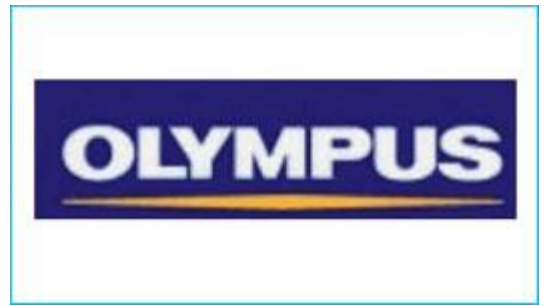




Licence Professionnelle
Gestion de la Production Industrielle
Option Métrologie



RAPPORT DE PROJET

Sujet : Métrologie et CND par ultrasons

Parrain de projet : M. BURGERT Gilbert
CND par ultrasons à Jet Aviation
Basel airport

Demon Christopher
Darigny Kévin
Année 2006 – 2007

Remerciements

Je tiens à remercier l'entreprise Jet Aviation et plus particulièrement M. BURGERT Gilbert pour son aide et ses précieux conseils.

Je remercie également M. UNTERNEHR Eric, de l'entreprise Olympus, pour ses explications sur le fonctionnement de l'Olympus 1000S+.

Je remercie enfin M. COLB, M. JEHIN, M KEMPF, M. SAMSO pour leurs disponibilités et l'aide qu'ils nous ont apporté sur un plan technique.

1. Cahier des charges
2. Les différentes techniques de Contrôle Non Destructif (CND) page 4
3. Théorie sur les Ultrasons
 - 3.1 Principes des ultrasons
 - 3.2 Effet piézoélectrique
 - 3.3 Les ondes longitudinales et transversales
 - 3.4 Principe de mesure ultrasonique
 - 3.5 Effets sur la vitesse du son
 - 3.6 Réflexion
 - 3.7 Réfraction
 - 3.8 Diffraction
 - 3.9 Ondes stationnaires
 - 3.10 Atténuation des ultrasons
 - 3.11 Champs du faisceau
4. Présentation de l'appareil
 - 4.1 Principales fonctions
 - 4.2 Les performances de l'appareil
5. Applications des US en Traitements des matériaux page 13
 - 5.1 Mesures de module d'Young page 13
 - 5.2 Mesure d'épaisseur dans un assemblage page 14
6. Applications CND dans la recherche de défauts en collaboration avec Jet Aviation. page 20
7. Conclusion page 27

1. Cahier des charges

1.1 Définition du cahier des charges

L'objectif de ce chapitre est de saisir et d'énoncer le besoin, c'est-à-dire l'exigence fondamentale nécessitant la mise en œuvre du système.

1.2 Analyse du besoin

Dans le domaine de l'aéronautique, les vibrations et les nombreuses contraintes mécaniques provoquent à la longue, des fissures dites de « fatigue » dans les pièces présentant des possibilités de concentrations de contraintes.

Afin d'anticiper toutes prises de risques, les pièces concernées doivent donc être contrôlées régulièrement et ainsi pouvoir garantir la sécurité des passagers et du personnel navigant.

Des normes très strictes régissent la périodicité des contrôles pour chaque pièce susceptible de présenter un risque de fissuration progressive.

En effet, une fissure détectée à temps permet, en général, une réparation qui entre dans le cadre d'un entretien normal.

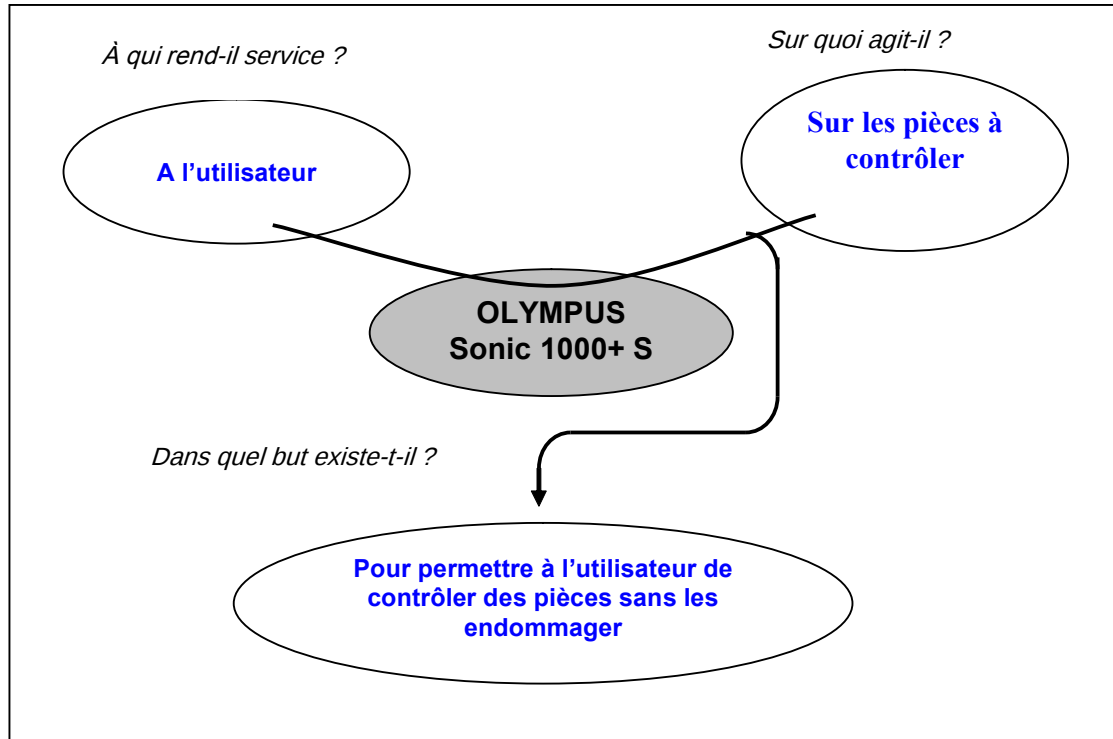
En revanche, une fissuration rapide, liée à une contrainte dépassant la résistance élastique du matériau, peut avoir des conséquences dramatiques si un organe vital de l'aéronef est concerné.

Les effets sont identiques à ceux provoqués par une fissuration progressive, non détectée qui peut alors aboutir à la rupture de la pièce.

Les pièces, de conception complexe, de réalisation coûteuses et de surcroît en matériaux optimisés pour le meilleur compromis résistance / légèreté, ne doivent être endommagées lors de leurs inspections.

Cette condition impose un contrôle non destructif (CND).

1.3 Enoncé du besoin



Cadre 1 : Diagramme bête à cornes

1.4 Validation du besoin

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

Pour garantir la sécurité lors des transports aériens de biens et de personnes.

Qu'est-ce qui peut le faire disparaître ? Le faire évoluer ?

La mise au point d'un matériau suffisamment résistant et léger au point de pouvoir être dispensé de contrôle.

Conclusion :

Ce besoin est bien réel, donc validé.

Le contrôle d'une pièce consiste à pouvoir certifier qu'une pièce sera apte à remplir la fonction pour laquelle elle est destinée et ce pour un laps de temps déterminé.

Lors d'un contrôle, on suit une procédure normalisée et propre à chaque pièce.

Les procédures suivies doivent être renouvelées à intervalle défini par la criticité de leurs effets.

Le remplacement automatique des pièces serait trop onéreux c'est pourquoi le contrôle non destructif ou CND s'impose et il est possible de :

- Détecter, positionner, identifier, dimensionner les défauts dans les pièces, les structures ou les assemblages.
- Mesurer de façon indirecte des caractéristiques des matériaux.
- Effectuer une mesure dimensionnelle
- ...

2. Les différentes techniques de Contrôle Non Destructif (CND)

- Courants de Foucault



Ce mode d'examen consiste à créer des courants induits par l'intermédiaire d'un champ magnétique alternatif (généré par un solénoïde) et variable dans le temps (basse ou haute fréquence) dans les matériaux conducteurs de l'électricité.

Ces courants induits et créés localement sont appelés Courants de Foucault.

Leur distribution et leur répartition dépendent du champ magnétique d'excitation, de la géométrie et des caractéristiques de conductivité électrique et de perméabilité magnétique de la structure examinée.

La présence d'un défaut dans la pièce perturbe la circulation des Courants de Foucault, entraînant une variation de l'impédance du solénoïde.

La méthode est applicable à tous les matériaux conducteurs d'électricité.

- Étanchéité

Les techniques de contrôle d'étanchéité permettent de détecter des fuites qui équivaldraient au passage d'un flux de gaz de 1 cm³ en 300 ans.

Les méthodes de détection sont diverses et peuvent être appliquées :
sous vide ou sous pression

à l'aide de différents gaz traceurs : hélium, ammoniac, hexafluorure de soufre,

à des volumes fermés dont la valeur varie de quelques cm³ à quelques milliers de m³.

- Gammagraphie

La gammagraphie est une méthode de Contrôle Non Destructif consistant à réaliser un cliché radiographique en utilisant le rayonnement électromagnétique gamma émis par un radioélément.

Le phénomène radioactif est spontané, mais n'est pas infini.

Au fur et à mesure que les atomes se transforment, la matière s'épuise en constituant radioactif.



- Magnétoscopie

Cette méthode consiste à créer un flux d'induction magnétique intense dans des structures ferromagnétiques entraînant, au droit des défauts, des flux de fuite qui sont mis en évidence par des traceurs magnétiques finement micronisés et déposés à la surface des matériaux. L'examen peut être effectué en lumière blanche avec des fonds contrastants et des traceurs colorés.

Les traceurs peuvent être secs ou humides :

traceurs secs : ferromagnétiques très mobiles sur la pièce et très visibles à l'œil.

traceurs humides : les liquides porteurs sont, soit des produits aqueux non inflammables, soit des produits au kérosène inflammables



- Rayons X

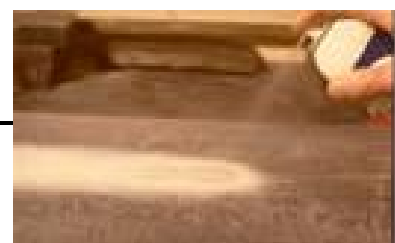
Le principe de la radiographie repose sur l'utilisation des rayonnements pénétrants (X, gamma, neutrons,...) générés par une source, qui sont plus ou moins absorbés dans la pièce à contrôler.

A l'inverse, sur la Terre, les rayons X naturels n'existent pas.

Leur production est parfaitement artificielle.

Dans le domaine du CND, ils sont obtenus généralement par le bombardement d'une cible en tungstène avec des électrons.

Un détecteur de rayonnement (film, écran,...) convertit le phénomène radiant invisible en image visible



- Ressuage

Un liquide pénètre à l'intérieur des défauts existants (fissures, porosités, piqûres).

L'excès de pénétrant est éliminé par lavage. La surface est recouverte d'une fine couche de révélateur qui, comme un buvard, aspire le liquide contenu dans les défauts et donne une empreinte colorée.



Cette méthode s'applique à une grande variété de matériaux compacts et non poreux (métalliques, plastiques, composites,...) de géométrie et de dimensions quelconques. Il permet l'examen de la totalité de la surface de la pièce.

- Ultrasons

Le principe des ultrasons est un examen échographique, examen par faisceau droit ou par faisceau incliné.

A l'émission, le transducteur génère une onde ultrasonore par effet piézoélectrique.

A la réception de l'onde, le transducteur convertit l'énergie mécanique perturbée en signal électrique.

Ils sont utilisés pour examiner des parois métalliques dont l'épaisseur peut varier de 0,3 mm à plus d'un mètre.

Cette méthode s'applique à une grande variété de matériaux métalliques et autres.

- Emission acoustique

L'Emission Acoustique (EA) résulte d'une libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires au sein d'un matériau comportant une dégradation active ou se propageant sous l'effet d'une sollicitation externe judicieusement choisie. Différents phénomènes physiques peuvent être générateurs d'EA :

- propagation de fissures
- déformation plastique
- relaxation de contraintes dans les soudures
- corrosion
- frottements
- fuites (de liquides ou de gaz)

Le principe de mesure de l'émission acoustique réside dans la détection des ondes ultrasonores générées par l'activité de la structure. La détection est généralement réalisée par des capteurs de type piézo-électrique placés au contact de celle-ci. L'acquisition et le traitement des données enregistrées sont alors réalisés par le système proprement dit.

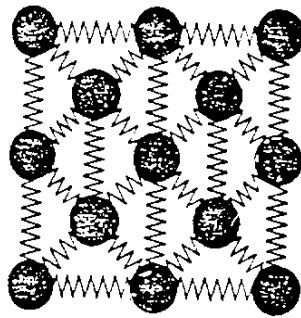
3. Théorie sur les ultrasons.

3.1 Principes des ultrasons

Les ultrasons sont des ondes mécaniques dont la fréquence est supérieure à 20 KHz, ces sons sont inaudibles pour l'être humain.

<i>40 à plus de 100 M Hz</i>	<i>◇ applications spéciales</i>
<i>7 500 K Hz</i>	<i>◇ Échelle normale pour métaux, muscle</i>
<i>2 000 K Hz</i>	
<i>20 K Hz</i>	<i>◇ limite supérieure des sons audibles</i>
<i>160 Hz</i>	<i>◇ fréquence utilisée par les baleines</i>
<i>20 Hz</i>	<i>◇ limite inférieure des sons audibles</i>

Le son se propage dans les solides sous forme de vibrations des atomes appelées phonons. Seule la vibration se propage, et non les atomes qui ne font que vibrer très faiblement autour de leur position d'équilibre.



La longueur d'onde, la célérité ou vitesse de propagation et la fréquence sont reliées par

$$\lambda = C \cdot T = \frac{C}{f}$$

f : fréquence de l'onde, en hertz (Hz)

T : période de l'onde, en seconde (s) et $T = 1 / f$.

C : célérité de l'onde, en m/s

λ : longueur d'onde en m.

En contrôle non destructif, la longueur d'onde doit être du même ordre de grandeur que

les défauts rencontrés, c'est pourquoi, on utilise des fréquences élevées, comprises en général entre 1 et 15 MHz.

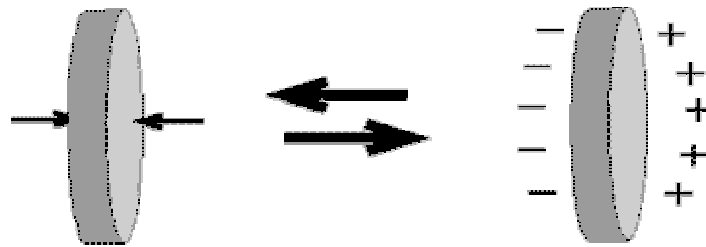
Les ultrasons trouvent de nombreuses applications dans différents domaines :

- militaire (sonar)
- médical (échographie)
- industriel
- télémétrie
- Loisir pour créer des brouillards d'eau (fontaines...)

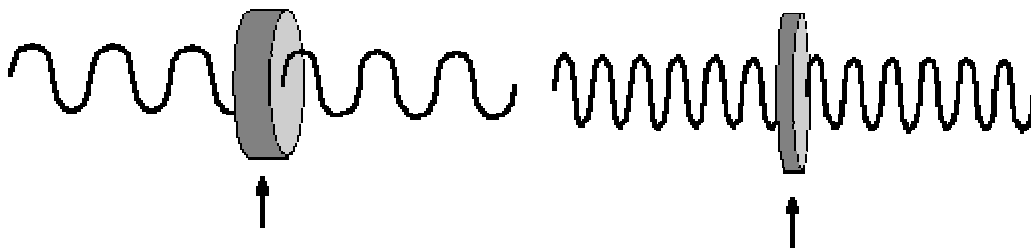
Pour du contrôle non destructif, les ultrasons sont générés à partir d'un élément piézo-électrique excité à une fréquence comprise pour de nombreuses applications entre 2 et 5 MHz. Cet élément est souvent fixé d'un côté sur une semelle en matière plastique et de l'autre à un amortisseur, l'ensemble constituant le transducteur.

3.2 Effet piézoélectrique

L'effet piézoélectrique a été découvert en 1880 par Pierre et Jacques Curie. Son principe est que certains matériaux, comme les cristaux de quartz, ont la propriété de se charger lorsqu'ils sont comprimés et, inversement, de se déformer (comprimer) lorsqu'ils sont chargés. Les transducteurs contenus dans les sondes d'échographie sont généralement des céramiques de Plomb Zirconate de Titane (PZT).



En appliquant un courant alternatif sur un cristal piézoélectrique, le cristal se comprime et se décomprime alternativement et émet donc un son. Dans une sonde d'échographie, l'excitation du cristal piézoélectrique est réalisée par une impulsion électrique, à la manière d'une cloche que l'on frappe. Le cristal entre alors en résonance et émet des ultrasons dont la fréquence dépend de l'épaisseur du cristal. La fréquence est d'autant plus élevée que le cristal est mince.



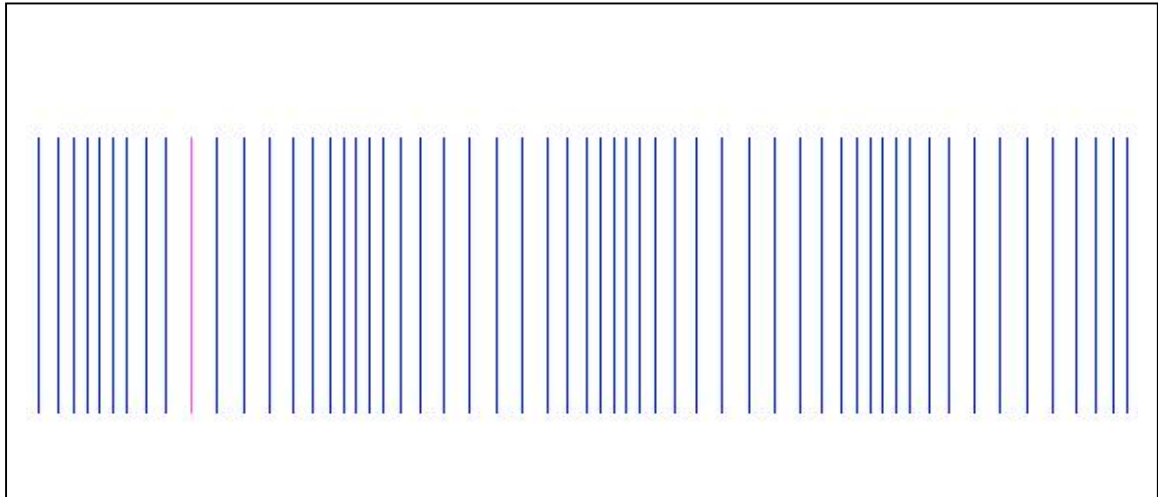
Mode émetteur : Signal électrique $\diamond$ Ultrasons

Mode récepteur : Ultrasons $\diamond$ Signal électrique

3.3 Les ondes longitudinales et transversales

Ondes longitudinales (O.L) :

La direction de vibration est parallèle à la direction de propagation.

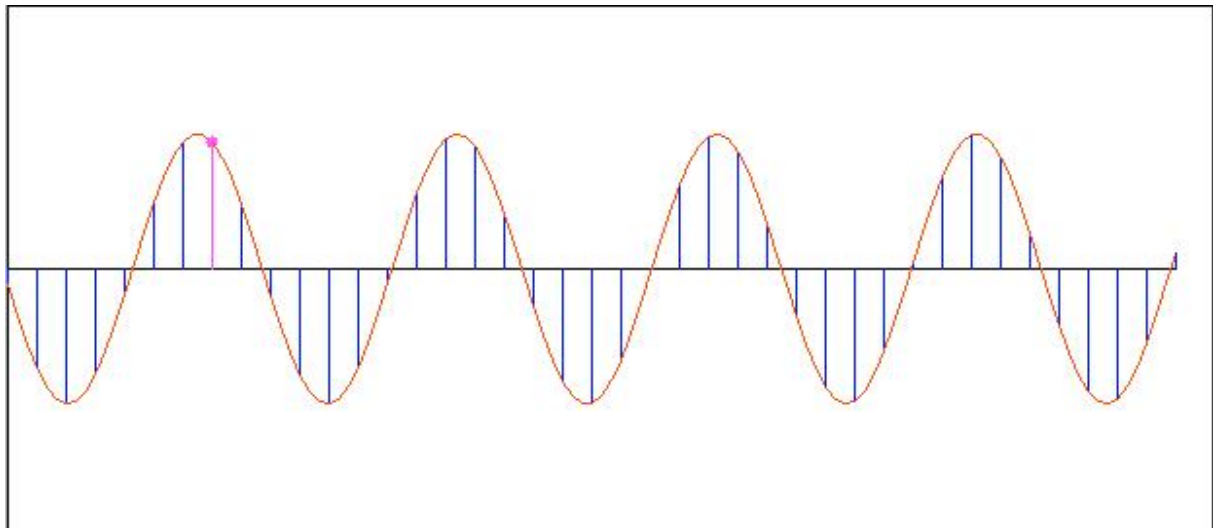


Tous les matériaux sont susceptibles de propager ce type d'ondes. On les appelle aussi ondes de compression. Signalons que le vide est incapable de transmettre les ondes élastiques mais qu'il transmet les ondes électromagnétiques.

La célérité de ces ondes est notée C_L ; dans un milieu homogène, isotrope et illimité elle est indépendante de f mais dépend de la nature du matériau. Elle est en outre liée aux constantes suivantes: E , module d'Young; G , module de Coulomb; σ , coefficient de Poisson et μ , masse volumique, par la formule :

$$C_L = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \sigma)}{\mu \cdot (1 + \sigma) \cdot (1 - 2\sigma)}}$$

Ondes transversales



La direction de vibration est perpendiculaire à la direction de propagation.

Seuls les matériaux solides sont susceptibles de propager ce type d'ondes. On les appelle aussi ondes de cisaillement.

La célérité de ces ondes est notée C_T ; dans un milieu homogène, isotrope et illimité, elle est indépendante de f mais dépend de la nature du matériau. On a :

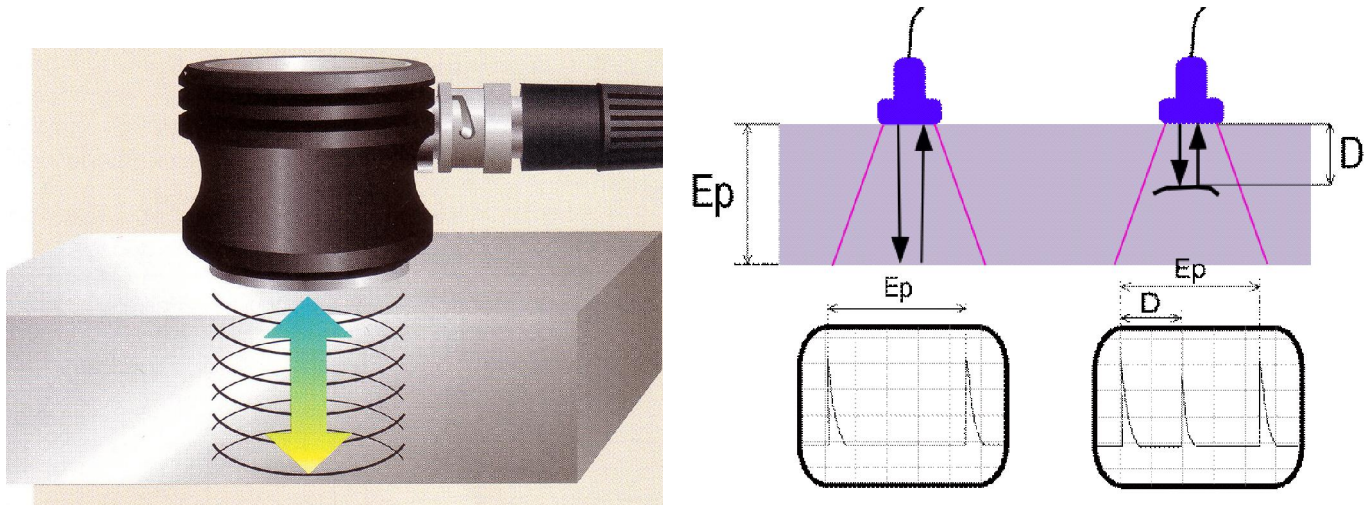
$$C_T = \sqrt{\frac{E}{2\mu(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{G}{\mu}}$$

3.4 Principe de mesure ultrasonique

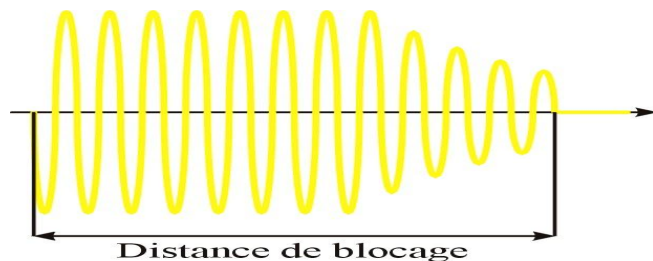
Pour déterminer une distance, on mesure le temps mis par une slave d'ondes pour effectuer un aller-retour entre la surface qui renvoie les ondes et le palpeur.

On utilise la relation suivante qui lie distance et temps :

$$V=2d/t \text{ d'où } D = (t \cdot v) / 2$$



Le palpeur émet une slave d'onde, puis capte le signal retour et le transforme en signal électrique grâce au principe inverse de la propriété des piézo-électriques. De ce fait, un palpeur ne peut émettre et recevoir un signal simultanément ce qui crée une zone aveugle. Cette zone est propre à chaque palpeur, la distance minimale à respecter doit laisser le temps au palpeur d'être suffisamment amorti afin de pouvoir exploiter le signal retour.



Les ultrasons sont transmis dans la pièce à contrôler par l'intermédiaire d'un milieu de couplage, et se propagent à une vitesse qui dépend du matériau.

Lorsque les ultrasons rencontrent un défaut favorablement orienté par rapport à l'onde incidente, un écho revient vers le transducteur. Cette énergie mécanique réfléchiée est transformée en signal électrique par l'élément piézo-électrique et se signale par un écho sur le système de visualisation de l'appareil à ultrasons. La position de l'écho permet de déterminer la profondeur de l'indication dans la pièce et d'en apprécier le caractère volumique ou non volumique.

3.5 Effets sur la vitesse du son

La vitesse de propagation du son (on parle également de la célérité) dépend de la nature, de la température et de la pression du milieu.

Les ondes sonores se déplacent à environ 344 mètres par seconde dans de l'air à 20 °C. Dans des milieux solides (non gazeux) le son peut se propager encore plus rapidement. Ainsi dans l'eau, sa vitesse est de 1482 m/s et dans l'acier de 5900 m/s. Le son ne se propage pas dans le vide, car il n'y a pas de matière pour supporter les ondes produites (isolation phonique).

Vitesses des U.S dans:

Aluminium	6 300 m/s
Acier	5 920 m/s
Plexiglas	2 730 m/s
Muscle	1 620 m/s
Eau	1 480 m/s

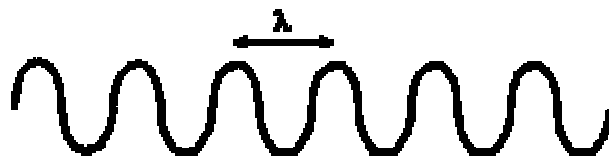
Dans un solide, la vitesse des ondes mécaniques est dépendante de la masse volumique ρ et du module d'élasticité. Dans le cas des ondes de compression, c'est le module de Young E qui entre en compte, et la vitesse se calcule ainsi :

$$c_{\text{solide}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Notons que les ondes de cisaillement ne se propagent pas dans les fluides.

L'onde sonore en déplacement dans un milieu donné est caractérisée par sa fréquence (f) et sa longueur d'onde (λ). Ces 2 caractéristiques permettent de déterminer la vitesse de propagation des sons (v) dans le milieu :

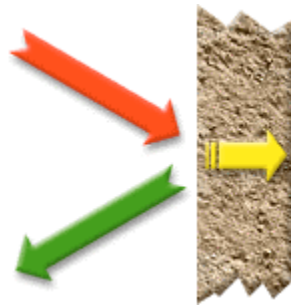
$$v = \lambda \times f$$



3.6 Réflexion

Un écho est un son qui est réfléchi et qui est réceptionné après un temps de latence, correspondant à son temps de déplacement dans le milieu concerné. Lorsque un faisceau d'ultrason arrive sur une interface placée à angle droit par rapport à sa direction initiale, une partie est réfléchi et repart dans le sens opposé, et l'autre partie traverse l'interface et continue sa route sans changer de direction. La proportion d'ultrasons réfléchis ou coefficient de transmission est directement proportionnel à la différence d'impédance acoustique entre les 2 milieux.

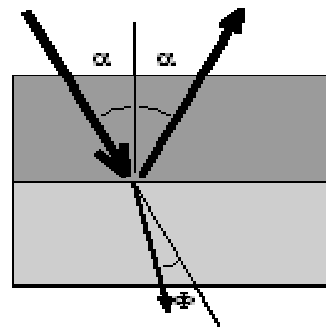
De telles interfaces, très réfléchissantes (très "échogène") se retrouvent lorsque les tissus mous organiques sont en contact avec de l'air (poumon, tube digestif).



3.7 Réfraction

Lorsque le faisceau ultrasonore arrive sur une surface réfléchive avec un angle oblique, une partie du faisceau est réfléchi avec un angle de réflexion égal à l'angle incident. La partie transmise est déviée avec un angle qui dépend de la vitesse de propagation des 2 milieux concerné. Il s'agit du phénomène de réfraction.

En échographie l'interaction du faisceau ultrasonore avec une surface oblique lisse entraîne une disparition du signal, car aucun son ne revient directement sur la sonde après la réflexion oblique et le faisceau change de direction après la réfraction. Ce phénomène est à l'origine d'un artefact fréquent appelé "ombre de bord".



L'influence de l'angle des ultrasons sur l'aspect échographique des structures organiques observées est plus ou moins marquée.

3.8 Ondes stationnaires

Les ondes stationnaires se produisent lorsque deux surfaces réfléchissantes se trouvent face à face (comme deux faces opposés). Pour certaines fréquences liées à la distance entre les deux surfaces parallèles, l'onde réfléchie interfère avec l'onde incidente et crée une forme stationnaire avec des minimums et des maximums de volume sonore.

Ce phénomène crée des résonances très désagréables à l'oreille. Les ondes stationnaires apparaissent lorsque la longueur d'onde de la source est un multiple d'une 1/2 fois la distance entre les deux parois.

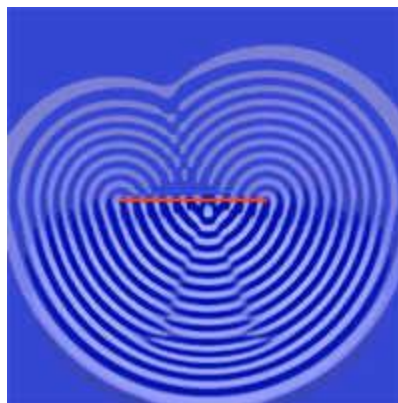
Si toutes les distances entre les murs opposés d'une salle sont identiques (cas d'une pièce cubique) les résonances des 3 vis-à-vis seront de même fréquence et s'amplifieront mutuellement.

3.9 Diffraction

Les phénomènes de diffraction (du latin. diffractus « brisé ») apparaissent lorsqu'une onde est perturbée par un obstacle.

Pour expliquer la diffraction l'expérience la plus simple consiste à briser une onde à la surface de l'eau en disposant en travers un mur avec une ouverture d'une dimension proche de la longueur d'onde. On constate alors que l'onde au-delà de l'obstacle se propage à nouveau dans toutes les directions. Les ondes ne se propagent donc pas de façon rectiligne.

Le phénomène de diffraction d'une onde s'interprète avec la loi d'Huygens (physicien néerlandais Christiaan HUYGENS (1629-1695)) : une onde circulaire peut être considérée comme la somme d'ondes élémentaires qui vibrent en phase et se déplace dans la même direction que l'onde initiale.



Contournement d'un obstacle

C'est grâce à cette manifestation qu'un son peut se propager derrière un obstacle. Plus la longueur d'onde est grande devant la taille de l'obstacle plus elle pourra le contourner efficacement.

3.10 Atténuation des ultrasons

Par expérience, l'intensité d'un son diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source ou que l'on place des interfaces entre l'émetteur et le récepteur de son. Il en est de même avec le faisceau ultrasonore utilisé en échographie, dont l'intensité diminue avec la profondeur d'exploration.

Cette atténuation des ultrasons est due aux multiples interactions vues précédemment (réflexion, dispersion, réfraction) qui diminuent l'intensité du faisceau lorsque celui-ci pénètre dans le milieu.

L'atténuation des ultrasons dépend des milieux traversés, mais aussi des caractéristiques de l'onde ultrasonore, et en particulier de la fréquence des ultrasons : plus la fréquence des ultrasons augmente, plus l'atténuation est importante.

La fréquence des ultrasons a donc une influence déterminante sur les possibilités d'exploration.

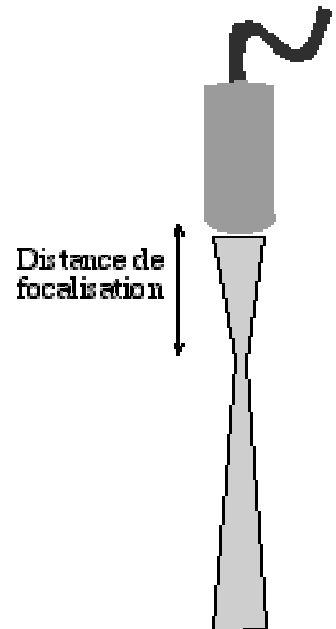
3.11 Champs du faisceau

- Résolution axiale

La résolution axiale de l'image bidimensionnelle dépend essentiellement de la fréquence des ultrasons. Plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est petite et plus la résolution axiale est bonne. On se rappelle que la fréquence de la sonde a une influence également sur l'atténuation des ultrasons et donc de la profondeur d'exploration. Plus la sonde est de basse fréquence (3,5 - 5 MHz), plus la profondeur d'exploration est importante, mais moins bonne est la qualité de l'image.

- Résolution latérale

La résolution latérale de l'image bidimensionnelle dépend de la taille (épaisseur) du faisceau ultrasonore. Les ultrasons, à la sortie de la sonde, ont tendance à converger naturellement. Le faisceau ultrasonore a ensuite tendance à se disperser lorsqu'il s'éloigne de la sonde. Le faisceau ultrasonore n'a donc pas la même épaisseur tout le long de son trajet. La distance de focalisation est la distance entre la sonde et l'endroit le plus étroit du faisceau.



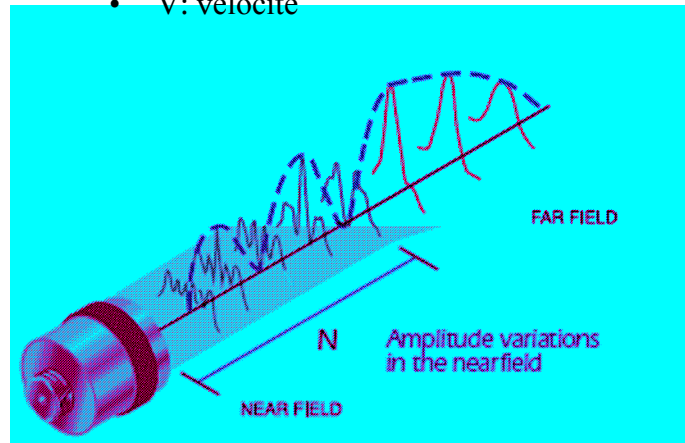
Le champ du faisceau d'un transducteur est divisé en 2 zones : le champ proche et le champ lointain. Le champ proche est la région directement située devant le transducteur, là où l'amplitude de l'écho passe à travers une série de maximum et de minimum et fini au dernier maximum à une distance N du transducteur.

La localisation du dernier maximum est la distance du champ proche N et où le transducteur se focalise naturellement. Le champ lointain est la zone se trouvant après N où la pression du champ du son baisse graduellement vers 0. La distance du champ proche est fonction de la

fréquence du transducteur, du diamètre du palpeur et de la vitesse du son du matériel de test (équation suivante).

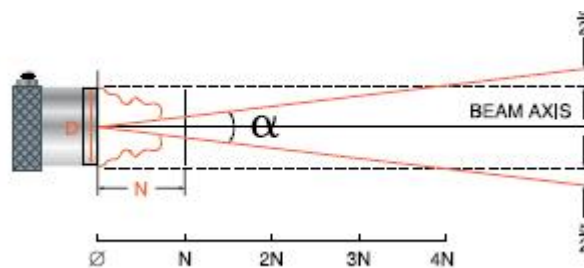
$$N = (D^2 * f) / (4 * V)$$

- D : diamètre
- f : fréquence
- V: vitesse



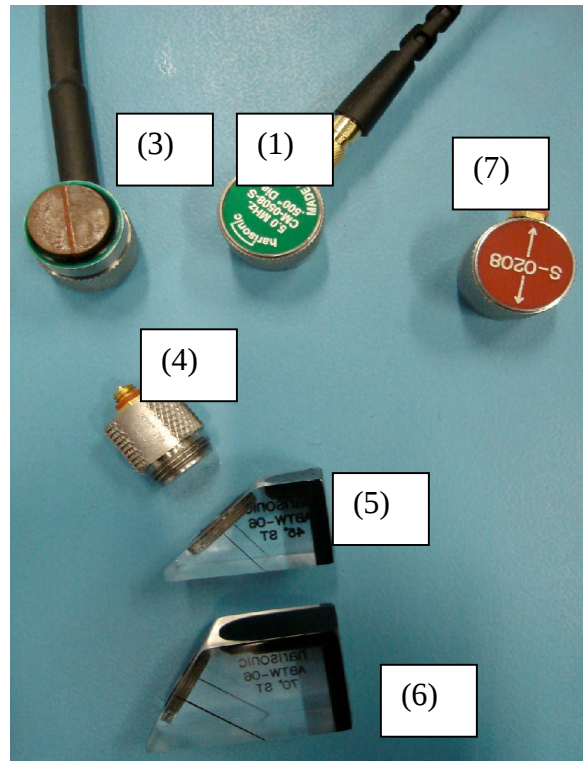
Dans le champ proche le faisceau converge, à l'inverse dans le champ lointain il diverge. La divergence du faisceau se calcule par l'équation suivante :

$$\sin(\alpha/2) = 0.514 \lambda / (f * D)$$



De plus, certaines sondes (sondes électroniques) possèdent plusieurs cristaux arrangés en ligne ou en anneau pour lesquelles une focalisation supplémentaire du faisceau peut être réalisée. Avec ces sondes, la profondeur de focalisation peut être modifiée par l'opérateur pour la faire coïncider avec la région observée au cours de l'examen.

4. Présentation de l'appareil



L'OLYMPUS 1000 S + est un appareil portatif de recherche de défauts par ultrasons. Il possède deux interfaces palpeurs.

Largeur d'impulsion : De 30 ns à 1000 ns

Filtre de fréquence : 1; 2,25 ; 5 ; 10 ; large bande (de 0,3 MHz à 20 MHz), passe-haut (de 3 MHz à 20 MHz)

Réglage du gain : De 0 dB à 110 dB

Base de temps

Étendue : De 1,23 mm à 7511 mm dans l'acier (0,418 μ s à 2560 μ s)

Retard : De -29 mm à 4694 mm dans l'acier (de -10 μ s à 1600 μ s)

Célérité : De 635 m/s à 15 240 m/s. Linéarité horizontale : ± 1 % du plein écran.

Récurrance : Choix du maximum ; de 50 Hz à 3450 Hz, par incrément de 50 Hz, limité par la portée et les paramètres de l'émetteur.

Épaisseur

Étendue : De 0,127 mm jusqu'au maximum de l'étendue d'affichage

Modes : IP - Porte 1, IF à Porte 2; Porte 1 à Porte 2

Déclenchement : Sommet ou flanc de l'écho

Fonctions trigonométriques : Calcul de la position de l'écho par balayage angulaire, correction pour surface courbe

Angle : De 0° à 90°, par incrément de 0,1°

Un port RS-232 permet la communication bidirectionnelle et l'impression. Le logiciel FlawMaster™ sous Windows fournit une interface facile à utiliser pour la communication entre le Sonic 1000S+ et un PC. L'écran à cristaux liquides est en couleurs.

Différents palpeurs sont à notre disposition :

- Palpeur (1) : fréquence 5MHz, diamètre 14mm, il travaille en ondes longitudinales.
- Palpeur (2) : fréquence 2.5MHz, diamètre 7mm, il travaille en ondes longitudinales.
- Palpeur (3) : fréquence 2.5MHz, diamètre 14mm, ce palpeur travaille en émetteur et récepteur séparés, il a pour avantage de ne pas avoir de zone morte.
- Palpeur (4) : fréquence 5MHz, diamètre 10mm, ce palpeur se visse sur des sabots, en plexiglas, d'angles 45° (5) et 70° (6). Les sabots permettent de détecter des défauts dont l'aplomb n'est pas accessible et permet d'obtenir la vitesse transversale du matériau. PHOTO. Le palpeur est à ondes longitudinales, lorsque l'onde sort du plexiglas incliné, les ondes transversales sont générées.
L'angle sur le sabot correspond à l'angle d'entrée pour l'acier. La loi qui entre en jeu est la même que Snell-Descartes en optique : $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$.
- Palpeur (7) : fréquence MHz, diamètre mm, le piézoélectrique de ce palpeur est orienté autrement, ce qui lui permet de générer des ondes transversales en plus des ondes longitudinales qui sont indispensables pour le transport de l'onde.

4.1 Principales fonctions du *SONIC 1000S* +

- **Mesure :**

· Réaliser l'étalonnage en choisissant l'une des procédures automatique ou manuelle, chaque étalonnage n'est valable que pour l'association d'un palpeur et d'un matériau.

· Poser le palpeur sur la surface, ne pas oublier le couplant entre la surface et le palpeur.
Appliquer une pression sur le palpeur lors des mesures.

· Régler la gamme :

- Aller dans le menu **RANGE** (gamme), régler la **GAMME** de façon à observer les échos de fonds, ajuster ensuite la **GAMME** de manière à observer uniquement le pic d'émission et le 1^{er} écho de fond.

· Activer la fonction porte :

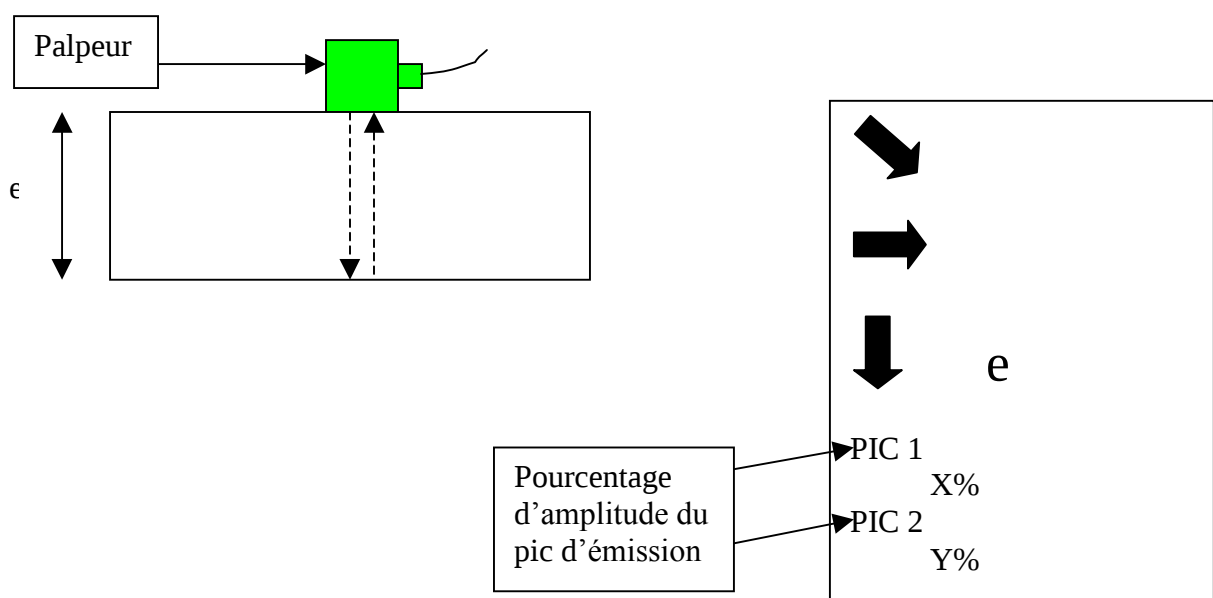
- Aller dans le menu **THICK**, régler **MESUREUR** sur **IP-1ST**

· Placer la porte :

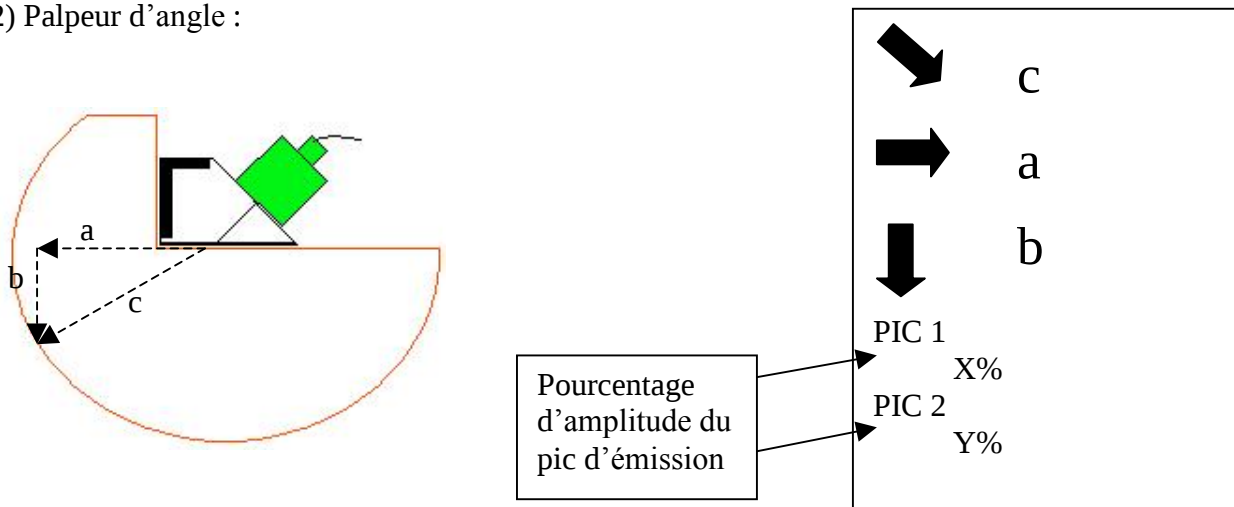
- Aller dans le menu **GATE 1**
- Vérifier l'indication **PORTE 1 +**
- Régler **POSITION**, **LARGEUR** et **NIVEAU** de sorte à obtenir une intersection avec le pic du 1^{er} écho de fond.

· Lecture de la mesure :

1) Palpeur droit :



2) Palpeur d'angle :



-dans le menu THICK régler EPAIS à une valeur de l'ordre de l'épaisseur à mesurer.

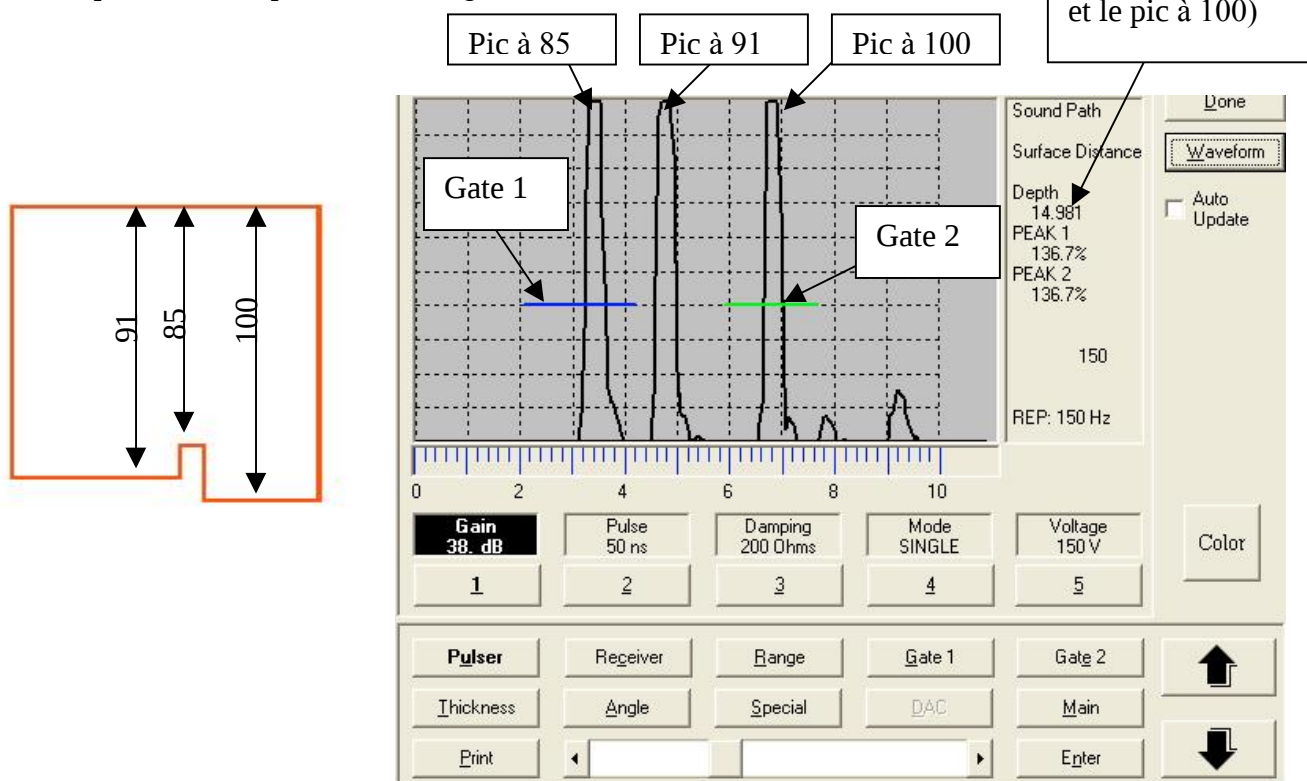
Vérifier que $c^2 = a^2 + b^2$

(a et b sont calculés en tenant compte de l'angle saisi dans ANGLE du menu ANGLE)

3) Mesure de différence d'épaisseur

-Dans le menu THICK, mettre MESUREUR sur E-E.

-Placer les portes sur les pics concernés par la mesure



- **Surveillance :**

Le mode surveillance est utilisé pour indiquer une différence par rapport à l'état initial.

- Dans le menu **THICK**, mettre **MESUREUR** sur **ARRET**.
- Dans le menu **GATE 1**, activer une porte ou les deux portes simultanément. Choisir l'un des modes suivants :

PORTE + : l'alarme s'active lorsqu'il y a intersection

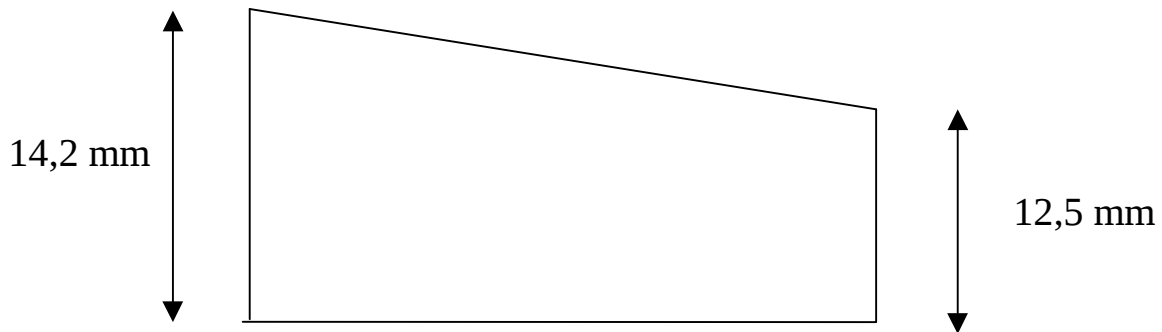
PORTE - : l'alarme s'active lorsqu'il n'y a pas d'intersection

- **Vitesse de propagation :**

- Effectuer un étalonnage (automatique ou manuel)
- La vitesse de propagation dans le matériau, **M-VIT** en (m/s), est disponible dans le menu **THICK**, **MESUREUR** sur **IP-1ST**.

4.2 Performances de l'appareil

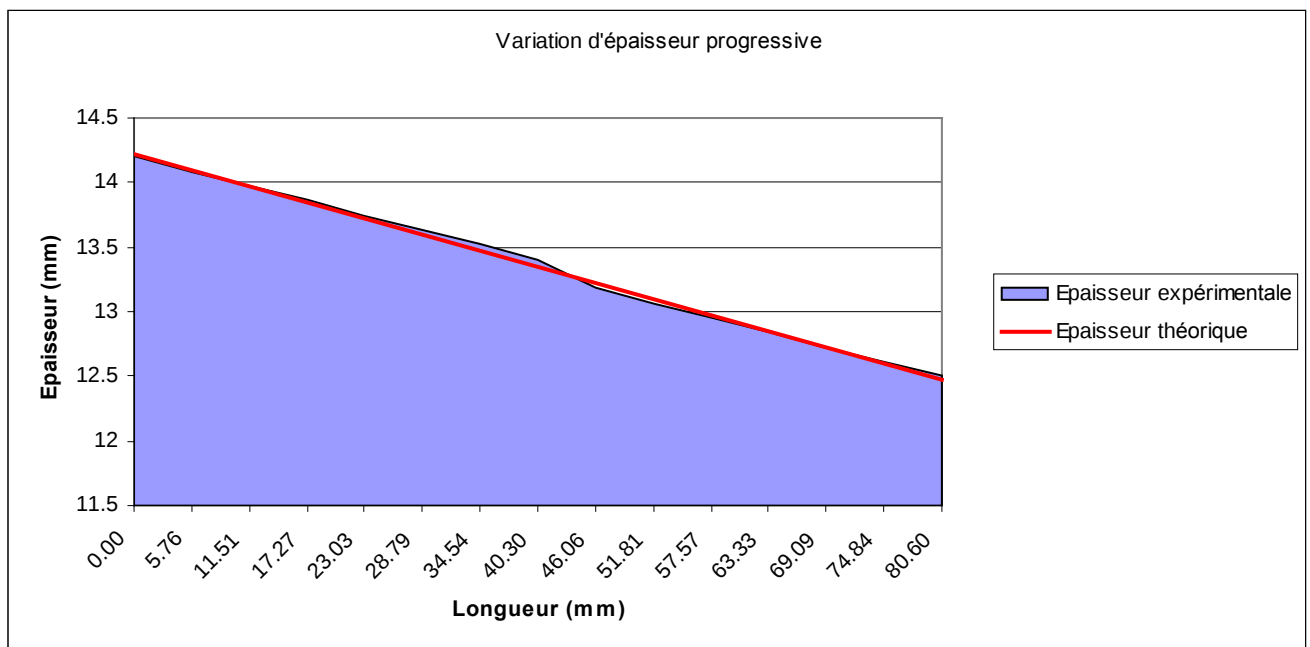
A. Influence de l'étalonnage sur la résolution



Pièce à épaisseur progressive

Pour voir l'influence de l'étalonnage sur la résolution, nous avons effectué divers étalonnages sur une même pièce à épaisseur progressive. Pour chaque étalonnage, nous avons ensuite relevé toutes les épaisseurs données par l'appareil sachant que la mesure n'est pas continue.

Etalonnage 1



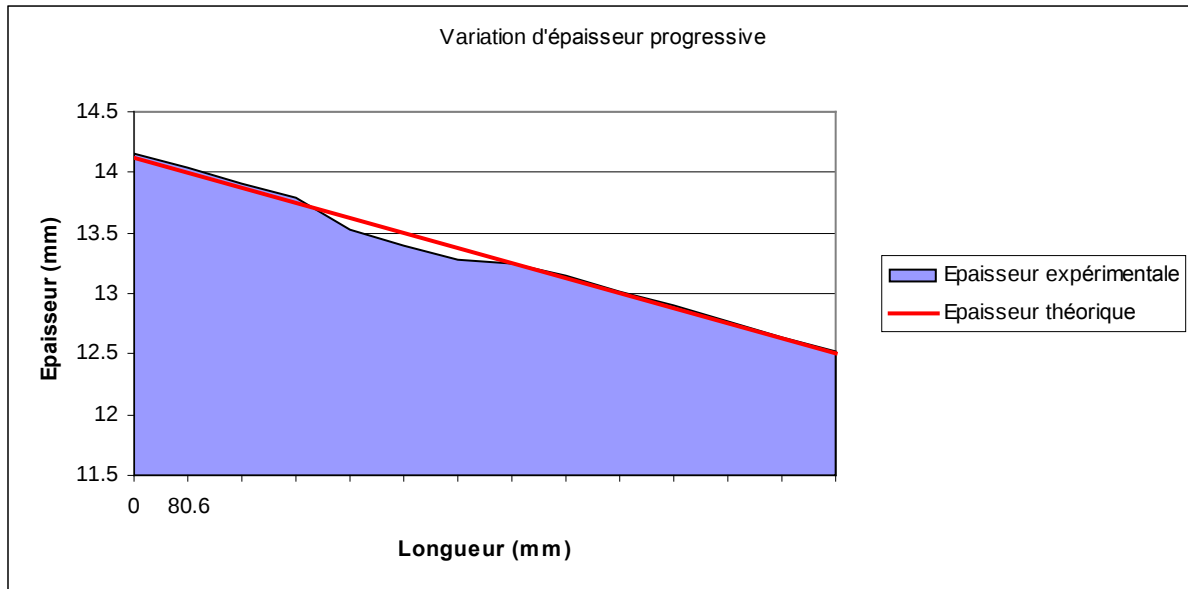
L'étalonnage est réalisé sur 2 épaisseurs : 14,2mm et 12,5mm

Lorsque l'on déplace le palpeur sur toute la dénivellation de la pièce, soit 1,7mm, on obtient 15 épaisseurs. Ceci nous permet de calculer la résolution pour cette gamme :

$$1,7/15 = 0,113\text{mm}$$

Dans ce cas l'erreur moyenne vaut donc : $(0,113 / 13,35) = 0,85 \%$

Etalonnage 2



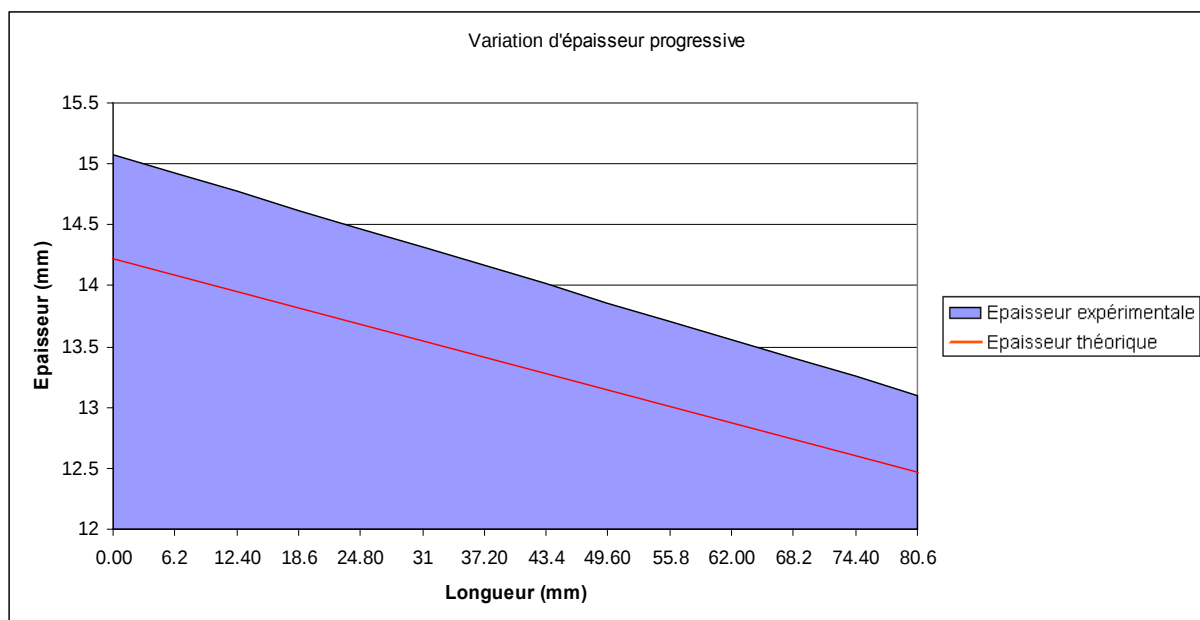
L'étalonnage est réalisé sur 2 épaisseurs : 80,6mm et 14,2mm

Lorsque l'on déplace le palpeur sur toute la dénivellation de la pièce, on obtient 14 épaisseurs.

Ceci nous permet de calculer la résolution pour cette gamme : $1,7/14 = 0,121\text{mm}$

Dans ce cas l'erreur moyenne vaut donc : $(0,121 / 13,35) = 0,91 \%$

Etalonnage 3



L'étalonnage est réalisé sur 2 épaisseurs : 80,6mm et 161,2mm

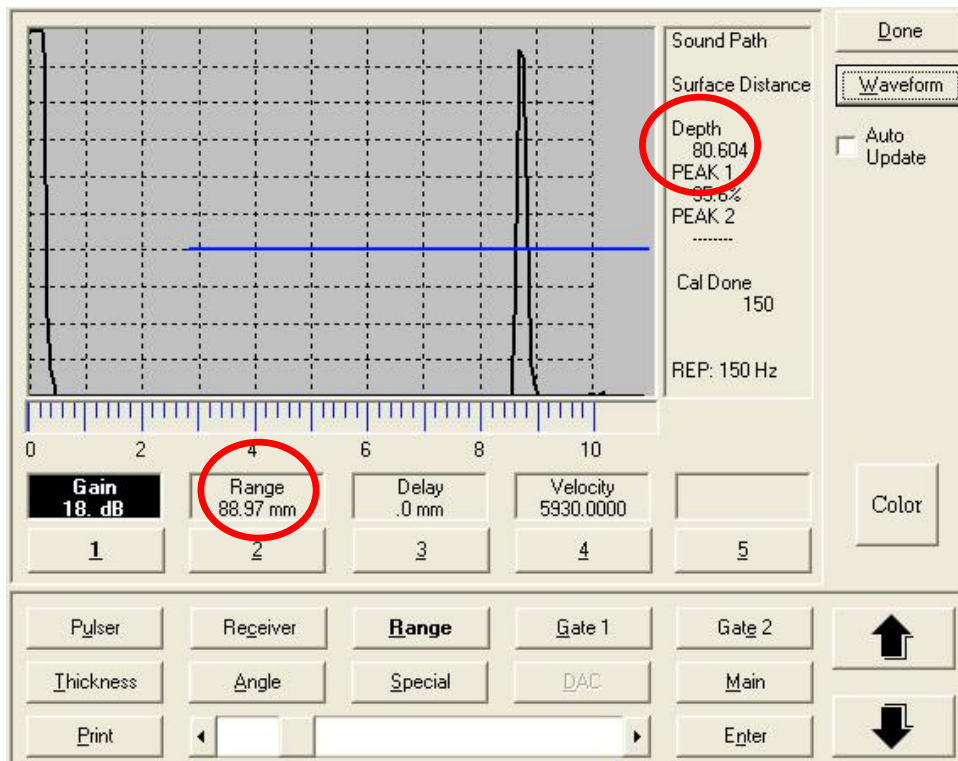
Lorsque l'on déplace le palpeur sur toute la dénivellation de la pièce, on obtient 8 épaisseurs.

Ceci nous permet de calculer la résolution pour cette gamme : $1,7/8 = 0,213\text{mm}$

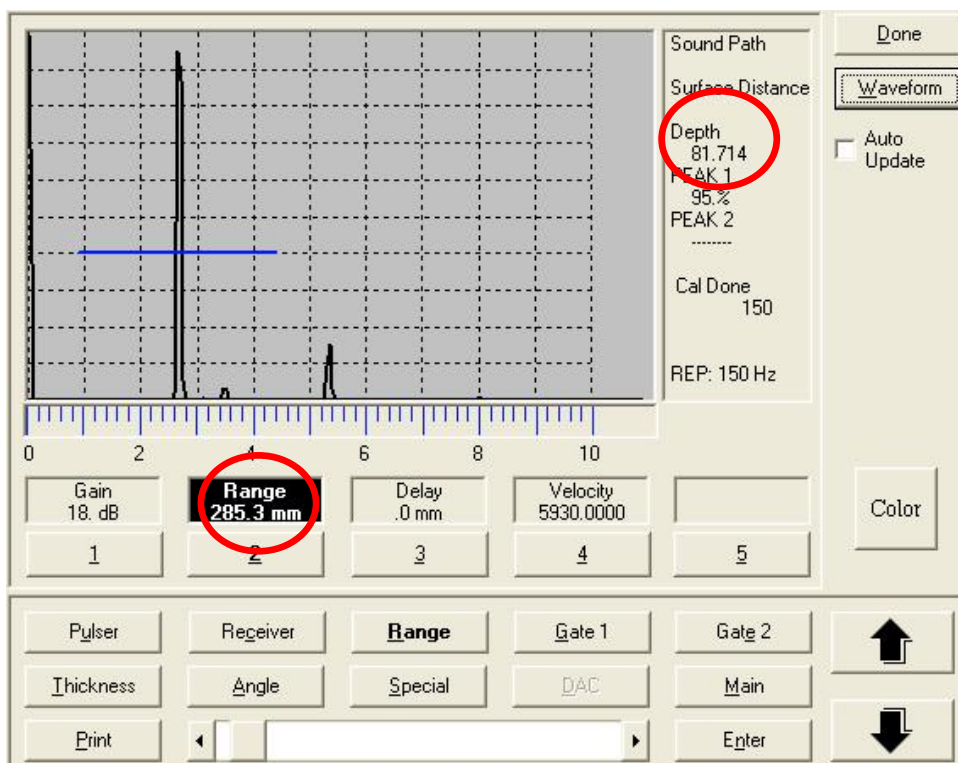
Dans ce cas l'erreur moyenne vaut donc : $(15,076 - 14,20) / 14,20 = 6,16 \%$

On constate que l'étalonnage a une influence sur la résolution. En pratique, on va donc étalonner l'appareil au plus proche de la gamme de mesure.

B. Influence de la gamme



Lorsque la gamme est à 88,97mm, l'épaisseur mesurée est de 80,6mm.



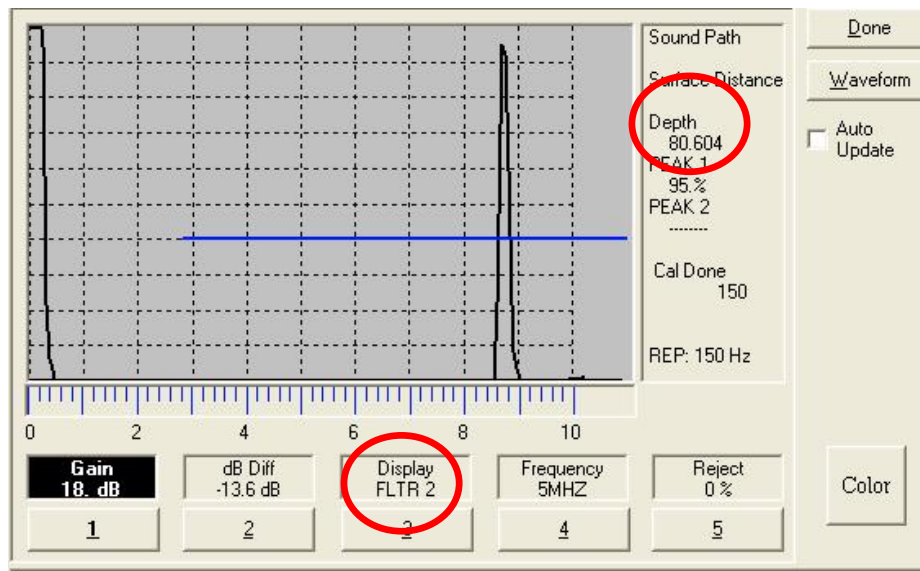
Lorsque la gamme est à 285,3mm, l'épaisseur mesurée est de 81,7mm.

La gamme a donc une influence sur la mesure de l'épaisseur.

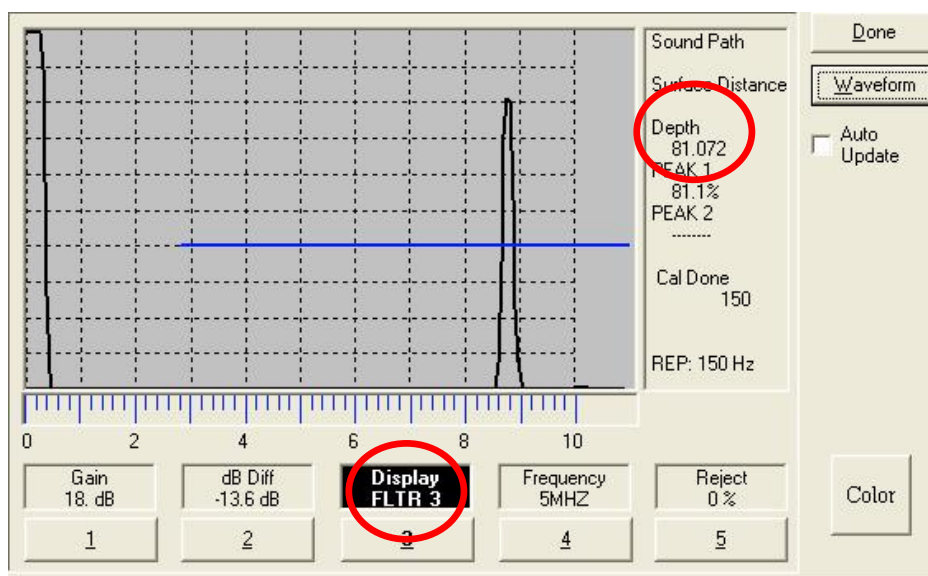
En pratique, on prend la gamme du même ordre de grandeur que la mesure et on évite de changer de gamme pour plusieurs mesures.

C. Influence du filtre

On peut utiliser différents types de filtres qui travaillent à des fréquences de coupures différentes.



Lorsqu'on utilise le filtre 2, l'épaisseur est de 80,6mm.

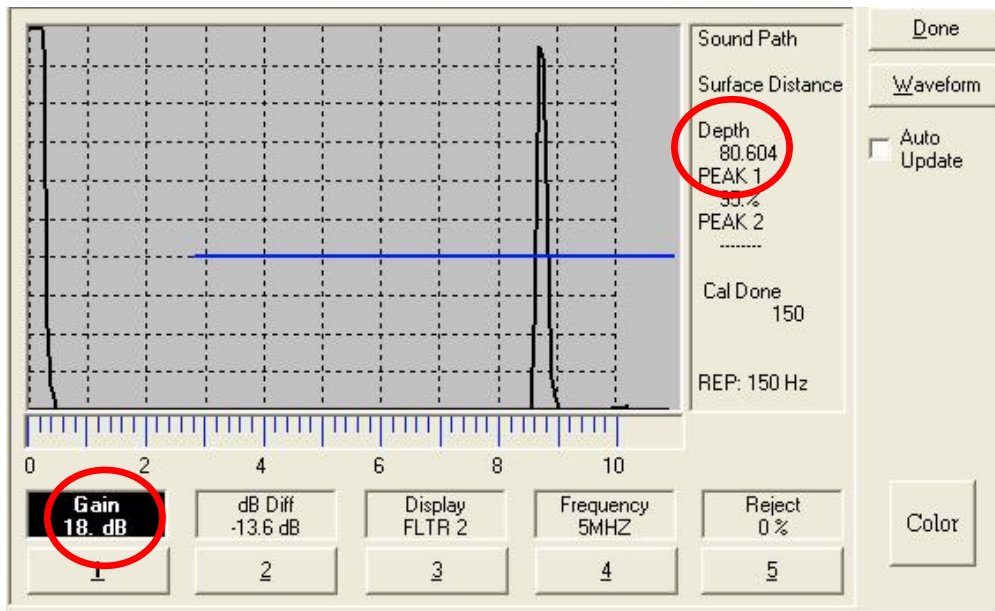


Lorsque le filtre 3 est utilisé, l'épaisseur est de 81,7mm.

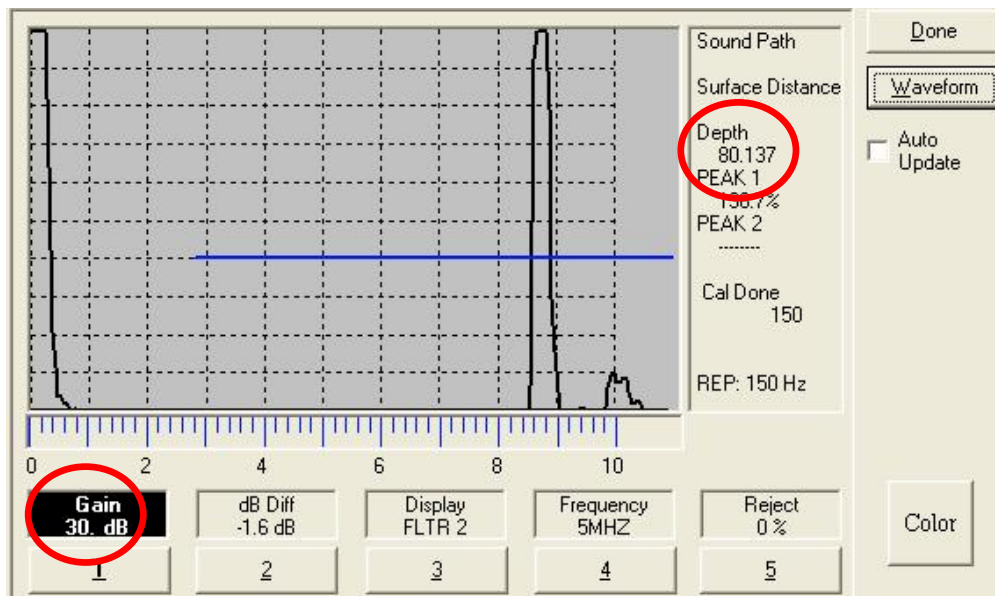
Le filtre 3 procède à un lissage, il rend le signal plus propre.

Le fait de changer de filtre influence la mesure, en pratique on utilise le même filtre pour l'étalonnage et la mesure. On choisit le filtre le mieux adapté, notamment celui qui donne le pic d'écho le plus fin possible.

D. Influence du gain



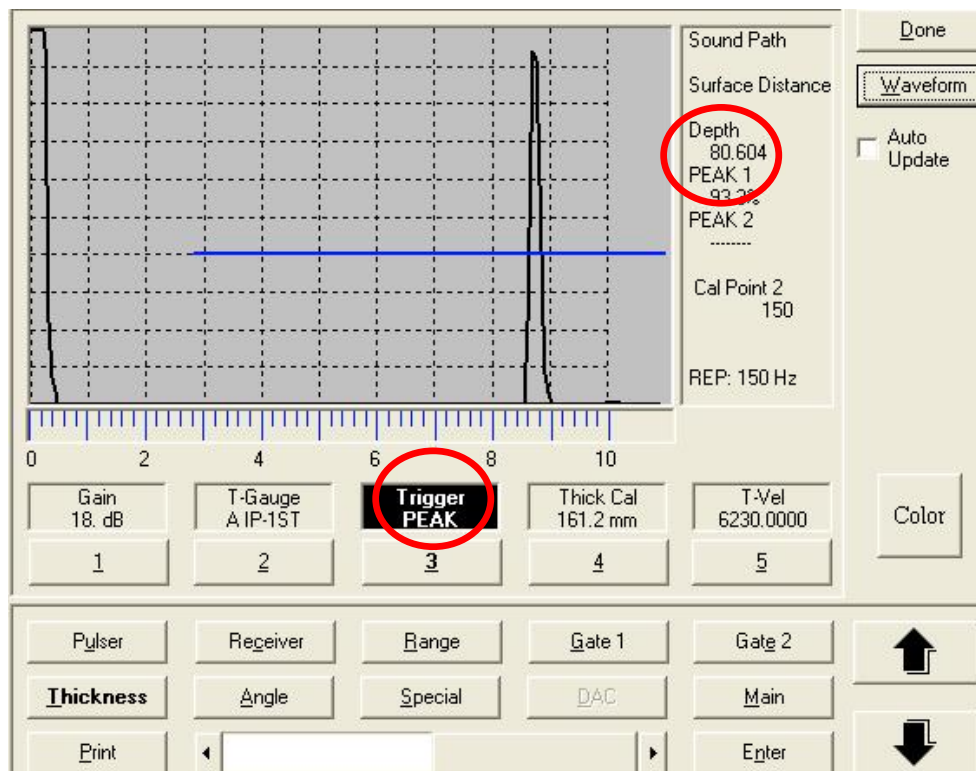
Lorsque le gain est de 18 dB, l'épaisseur est de 80,6mm.



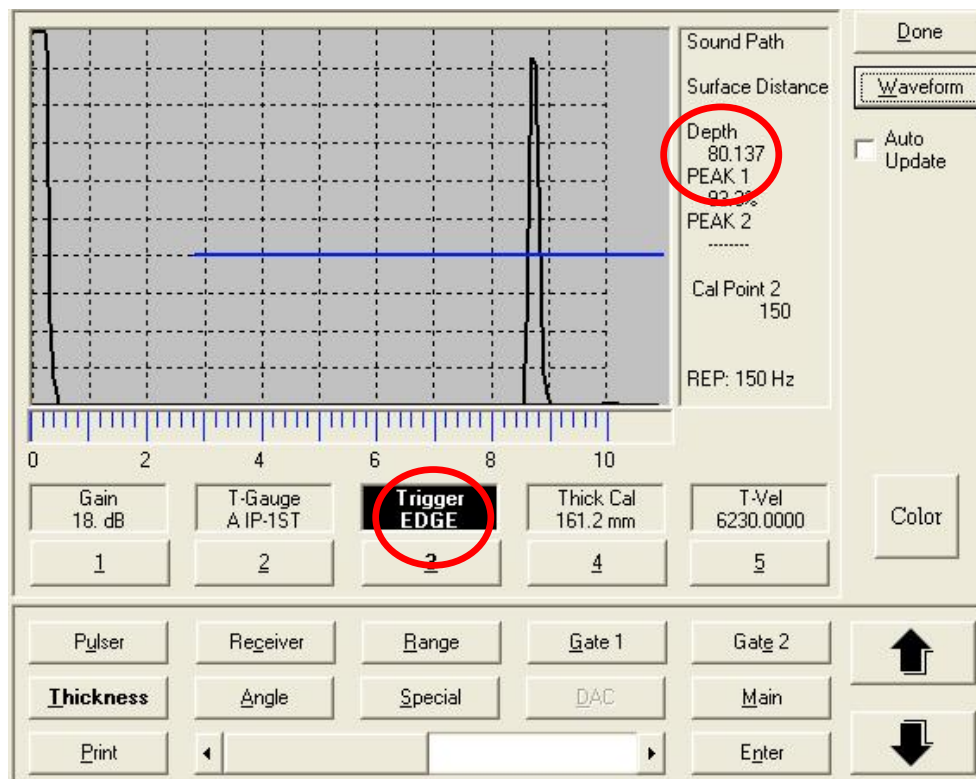
Lorsque le gain est de 30 dB, l'épaisseur est de 80,1mm.

Le gain a donc une influence sur la mesure. Dans la pratique, on prend le gain le plus faible possible pour obtenir un écho de fond à 80%. A défaut d'obtenir ce pourcentage, on peut baisser le gain si le bruit est trop important.

E. Influence du choix pic ou pente



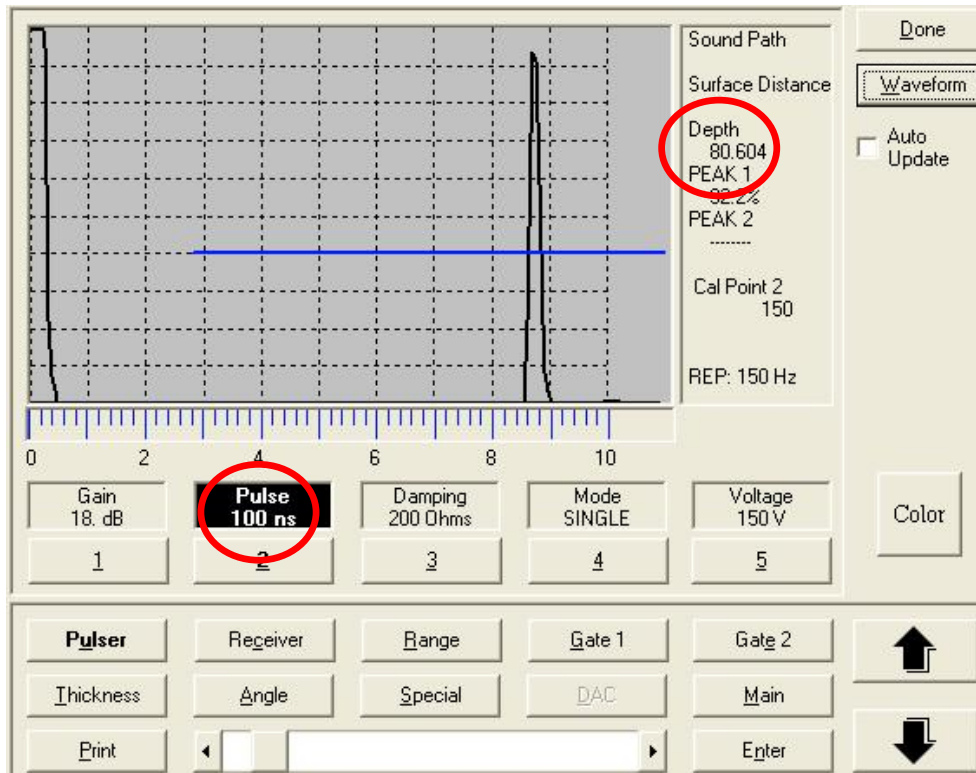
Lorsque l'on utilise la pente de l'écho, l'épaisseur est de 80,6mm



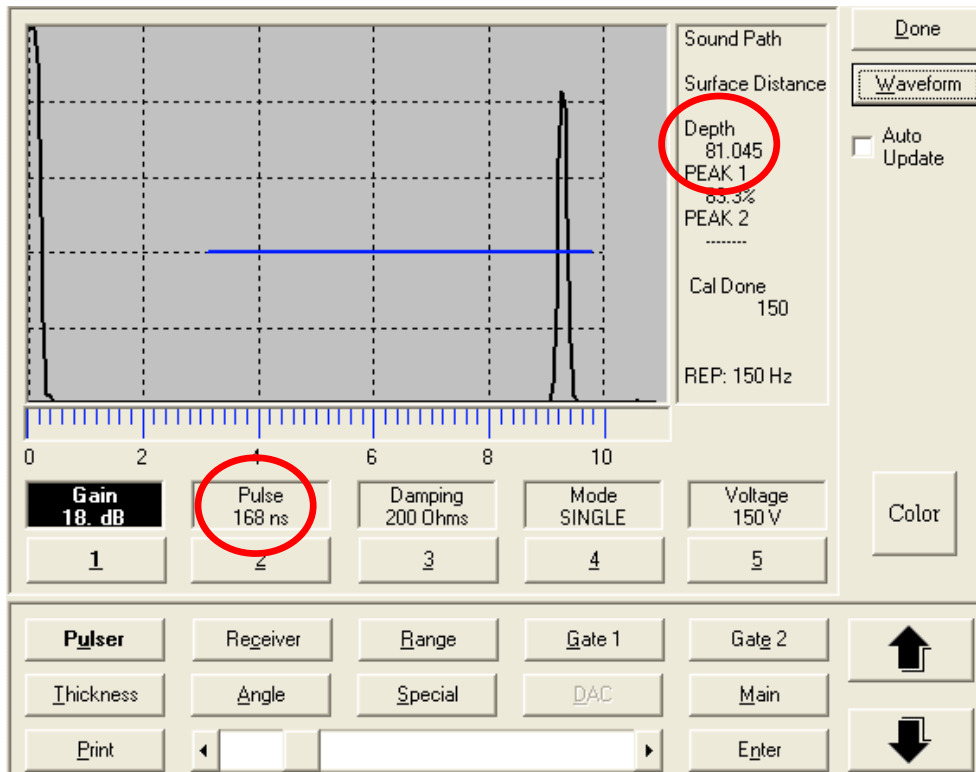
Lorsque l'on utilise le pic de l'écho, l'épaisseur est de 80,1mm.

En pratique on utilise le pic, la pente étant moins précise. Si l'on change la hauteur de la porte, la gamme ou le gain, la valeur de l'épaisseur change.

F. Influence de l'impulsion



Lorsque l'impulsion est de 100ns, l'épaisseur est de 80,6mm



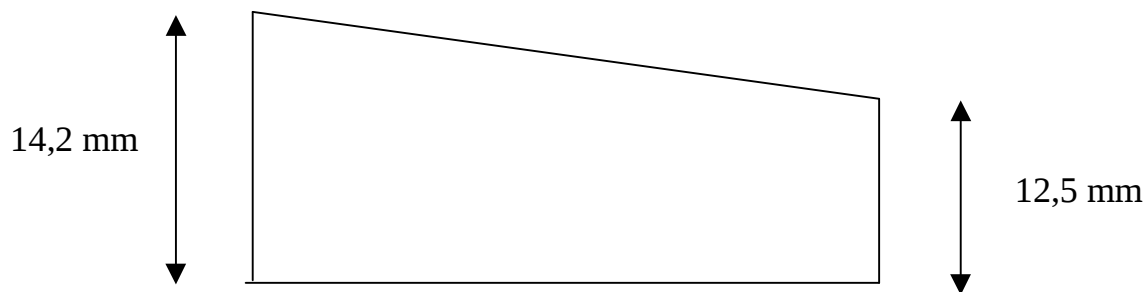
Lorsque l'impulsion est à 168 ns, l'épaisseur est également à 81,0mm.

On utilise des impulsions longues lorsque l'épaisseur est importante pour collecter plus d'informations et courte lorsque l'épaisseur est faible pour une meilleure précision.

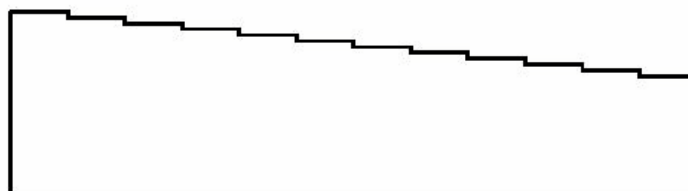
G. Influence de la fréquence.

Le choix de la fréquence ne se fait pas en fonction du matériau mais uniquement en fonction du type de défaut à détecter. Pour une fissure volumineuse, on utilise des fréquences élevées (10Mhz), pour des pores dans la matière, on utilise des fréquences plus faibles.

H. Résolution de l'appareil



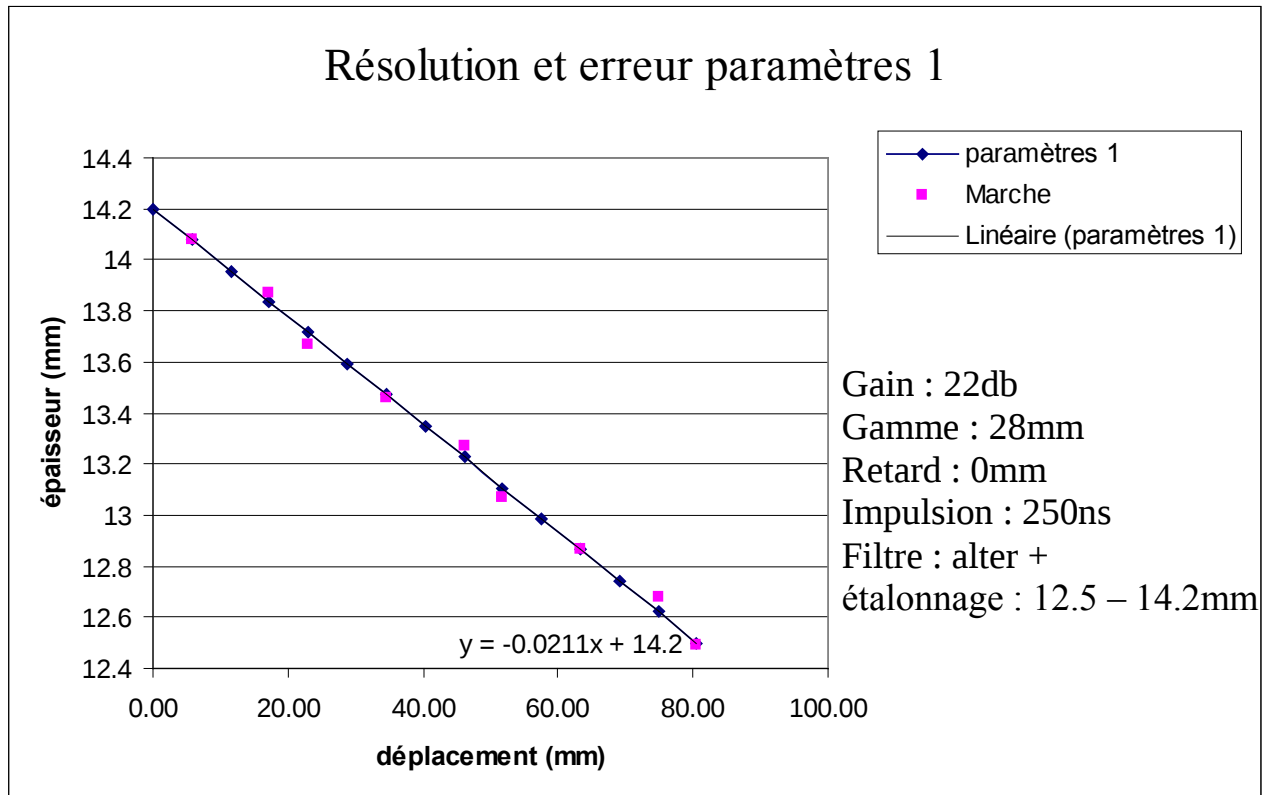
Pièce à épaisseur progressive



Pièce d'aluminium usinée en escalier

Connaissant tous les paramètres intervenants dans la résolution d'une mesure, on a réalisé deux essais dans lesquels on relève toutes les épaisseurs données par l'appareil sur une pièce à épaisseur progressive.

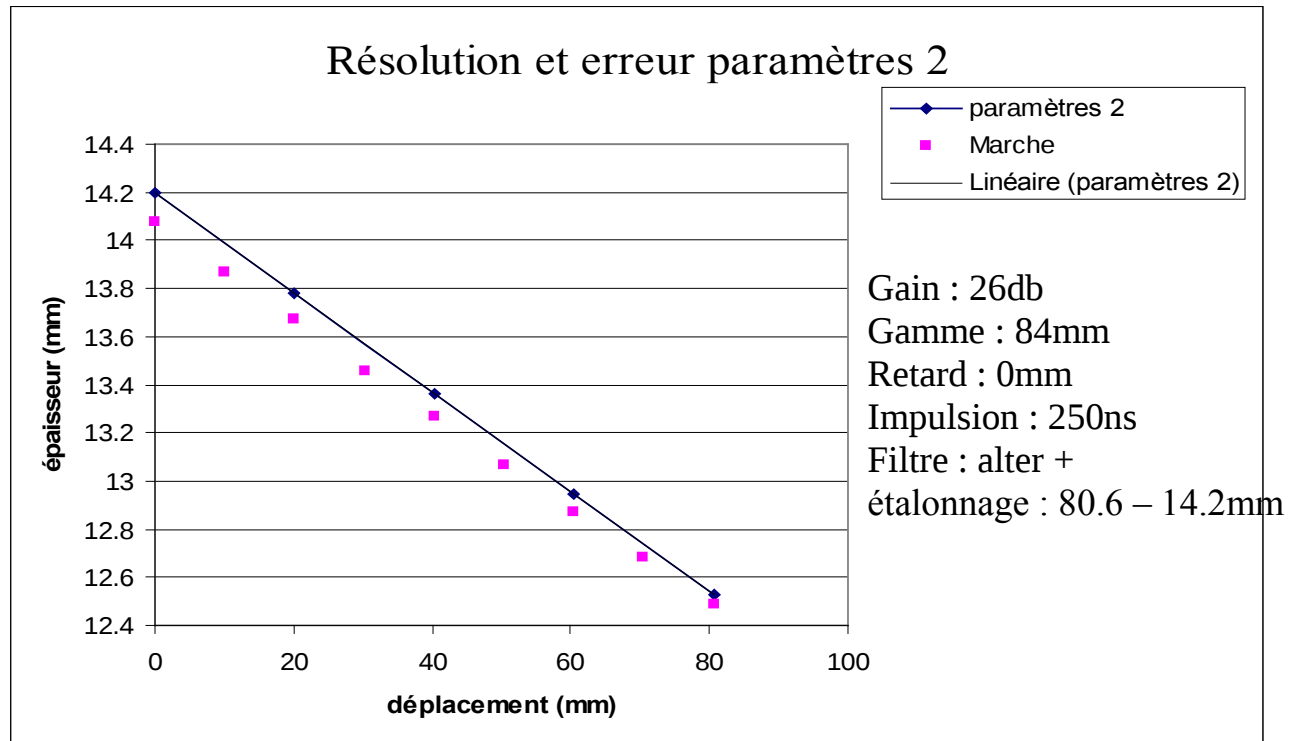
1^{er} essai : On utilise les réglages les mieux adaptés à la mesure de faible différences d'épaisseurs comprise entre 12,5 et 14,2 mm.



Lorsque l'on déplace le palpeur sur toute la dénivellation de la pièce, soit 1,7mm, on obtient 15 épaisseurs. Ceci nous permet de calculer la résolution pour cette gamme :
 $1,7/15 = 0,113\text{mm}$

Erreur moyenne sur les marches : 0.033mm soit 0.25%

2^{ème} essai : On utilise des réglages moins adaptés à la mesure de faible différences d'épaisseurs comprise entre 12,5 et 14,2 mm.



Lorsque l'on déplace le palpeur sur toute la dénivellation de la pièce, soit 1,7mm, on obtient 5 épaisseurs. Ceci nous permet de calculer la résolution pour cette gamme :
 $1.7/5 = 0.34\text{mm}$

Erreur moyenne sur les marches : 0.101mm soit 0.76%

Conclusion :

La mesure d'une épaisseur n'est valable que si l'on indique les paramètres d'étalonnages, de gain, de gamme, de filtre, d'impulsion utilisés.

Pour une meilleure justesse, il faut travailler avec :

- la gamme la plus proche de l'épaisseur,
- réaliser l'étalonnage le plus proche,
- utiliser le filtre avec l'écho le plus fin,
- le gain le plus faible pour une réponse à 80%,
- utiliser le pic de l'écho,
- choisir l'impulsion en fonction de l'épaisseur (courte pour une petite épaisseur),

Dans notre exemple, la meilleure résolution est de 0.1mm pour des épaisseurs comprises entre 12,5 et 14,2 mm.

La résolution dépend de la plage observée et des réglages.

5. Applications des US en Traitements des matériaux

5.1 Module de Young ou module d'élasticité longitudinal

Définition :

Constante élastique qui, pour un matériau homogène Isotrope, lie la contrainte à la déformation. Dans le Système International on l'exprime en MPa.

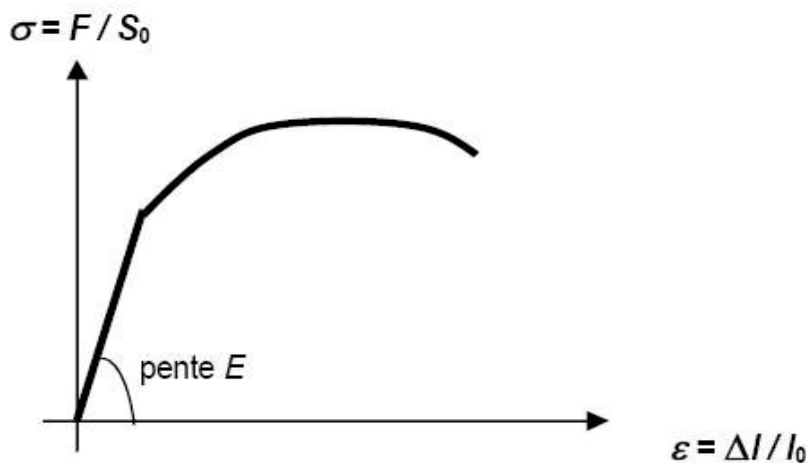
Ce coefficient caractérise la raideur de la matière. A contrainte égale, un matériau ayant un module d'élasticité élevé subira une déformation plus faible qu'un matériau ayant un module d'élasticité petit.

Les méthodes de mesure du module de Young

Pour déterminer le module d'élasticité E d'un matériau isotrope, on réalise le plus souvent un essai de traction et on enregistre la courbe contrainte en fonction de la déformation. La pente de la courbe dans sa partie linéaire correspond au module d'élasticité en traction du matériau.



Eprouvette de traction cylindrique



F : force appliquée
S₀ : section initiale
 Δl : allongement
l₀ : longueur initiale
s : contrainte
e : déformation
E : module d'Young

Courbe de traction conventionnelle

Cependant, il est difficile de réaliser cette mesure avec une bonne précision et cette méthode est destructive pour l'échantillon.

Mesure du module de Young par Ultrason

Dans un solide, la vitesse des ondes mécaniques est dépendante de la masse volumique ρ et du module d'élasticité E . Dans le cas des ondes de compression, c'est le E qui entre en compte, et la vitesse se calcule ainsi :

$$V_{son} \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Cependant, cette loi est approchée : la vitesse du son dépend aussi du coefficient de Poisson.

Pour calculer le module d'Young, il faut donc connaître la masse volumique (ρ) ainsi que les vitesses longitudinales et transversales du matériau.

Le palpeur droit permet d'obtenir la vitesse de propagation longitudinale. (V_l)

Le palpeur d'angle permet d'obtenir la vitesse de propagation transversale. (V_t)

A l'aide de ces vitesses, on calcule le coefficient de Poisson :

$$\sigma = (1 - 2 \cdot (V_t / V_l)^2) / (2 - (V_t / V_l)^2)$$

Le module d'Young est donc :

$$E = V_l^2 \cdot \rho \cdot (1 + \sigma) \cdot (1 - 2\sigma) / (1 - \sigma) \text{ en Pa.}$$

Nous avons essayé sur divers matériaux :

	ACIER		ALUMINIUM		PLEXIGLAS		LAITON	
	expérimental	théorique	expérimental	théorique	expérimental	théorique	expérimental	théorique
Module d'Young (Mpa)	211009	210000	40332	69000	2400	2380	104514	105000
coef poisson	0,29	0,29	0,43	0,34	0,45	0,31	0,34	0,4
Vt (m/s)	3234	3230	2243	3080	812	1430	2147	2050
Vl (m/s)	5930	5900	6381	6320	2667	2730	4313	3830
μ (kg/m3)	7830	7770	2804	2700	1256	1178	8490	8490

Les valeurs expérimentales sont proches des valeurs théoriques, sauf pour l'aluminium.

Les écarts observés sont dus à des différences de composition chimique entre l'aluminium testé et celui des tables théoriques.

Nous avons rencontré des problèmes avec la géométrie des pièces pour déterminer correctement les vitesses transversale et longitudinale.

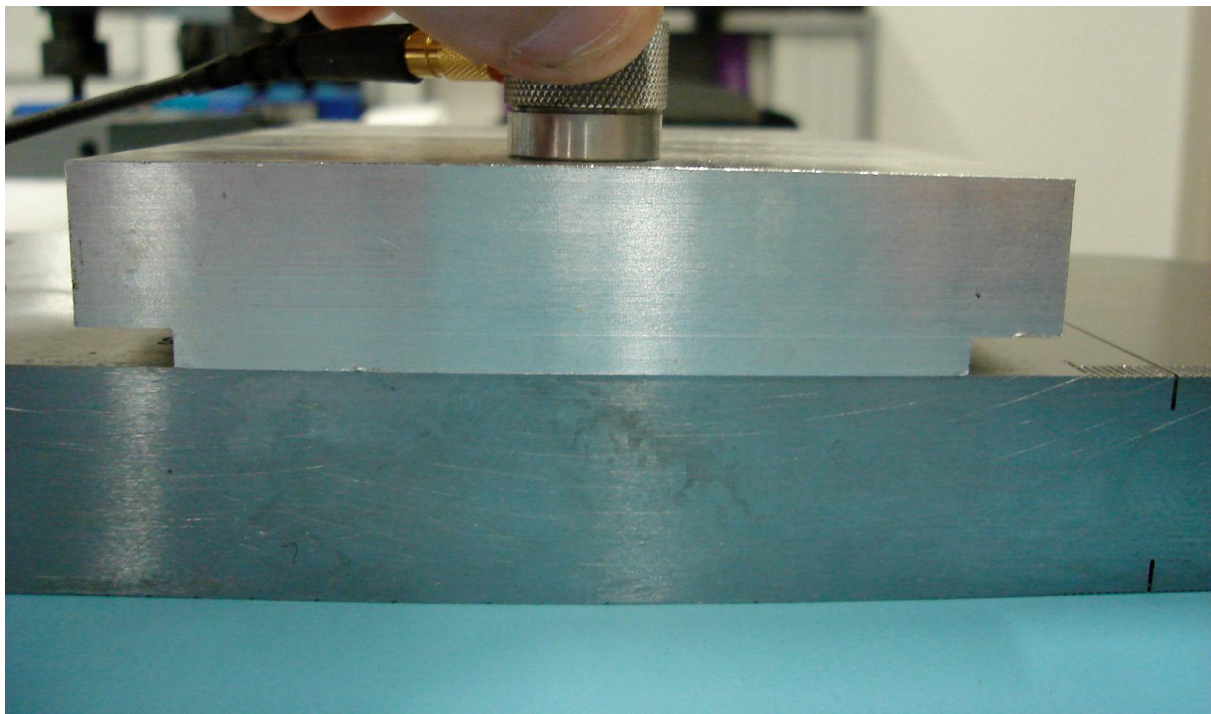
Les ultrasons s'avèrent être une bonne méthode de détermination du module d'Young à condition d'avoir des pièces dont la géométrie permet une mesure facile et précise des longueurs avec un palpeur droit et un palpeur d'angle. Il est préférable d'étalonner sur des calles étalons, ce qui n'a pas pu être le cas dans notre étude sauf pour l'acier.

5.2 Mesure d'épaisseur d'un assemblage

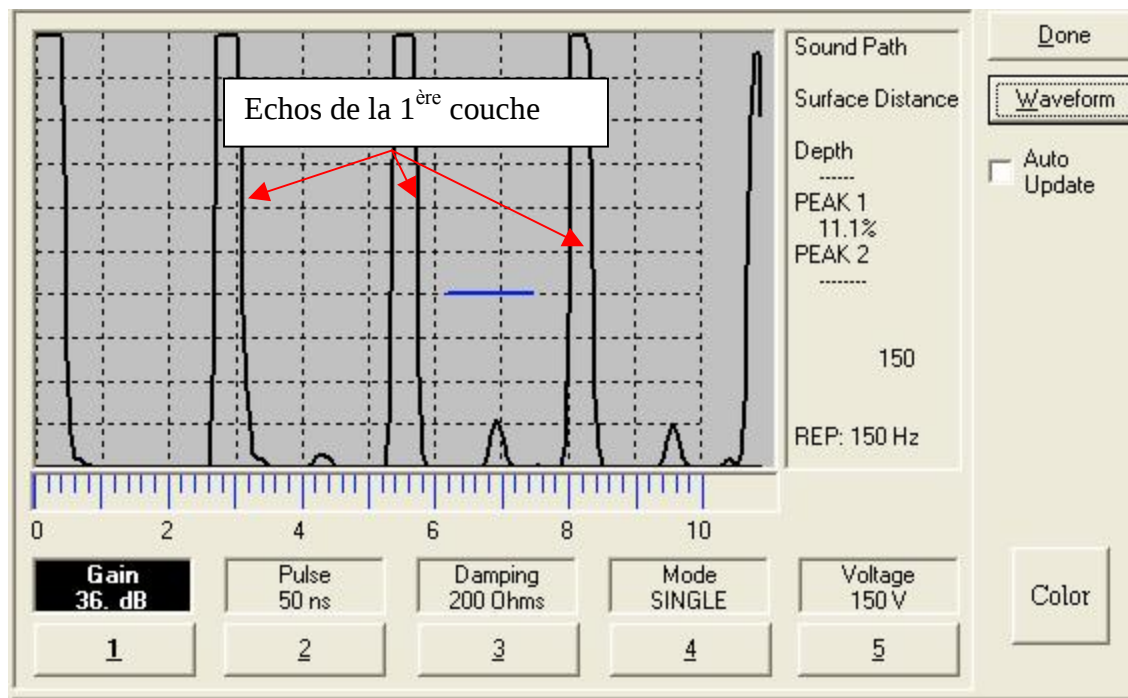
On souhaite déterminer l'épaisseur du matériau de la couche inférieure d'un assemblage, dans notre cas la première couche est de l'aluminium et la seconde de l'acier.

Pour obtenir un résultat satisfaisant, il faut respecter certaines conditions :

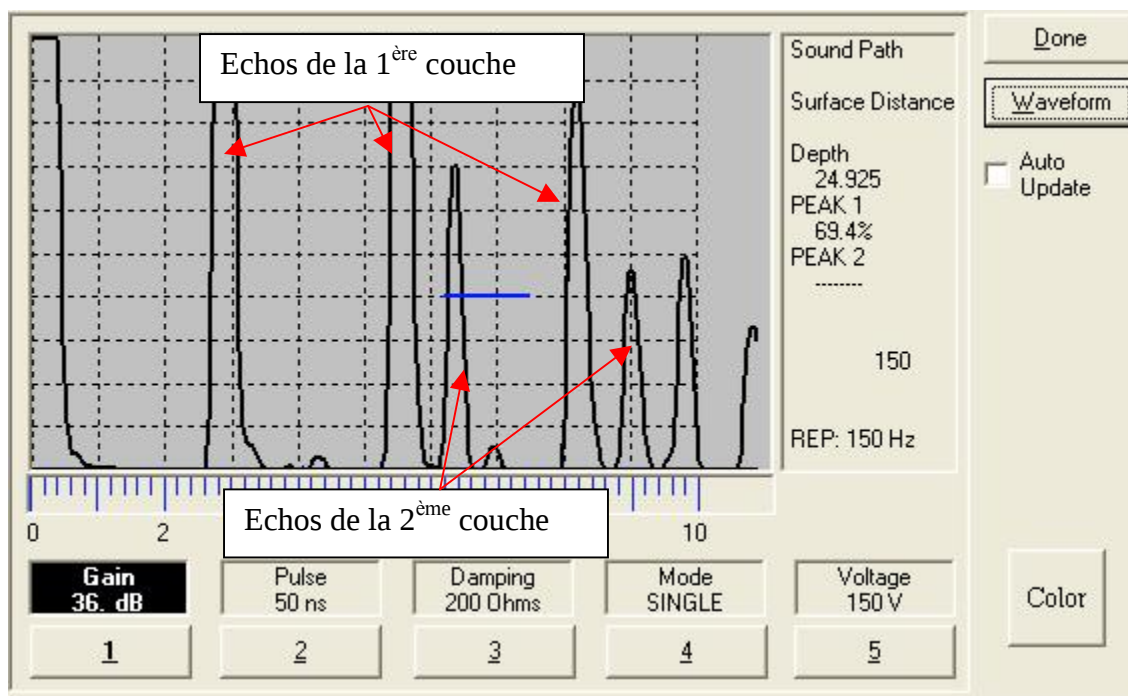
- les vitesses de propagation des ultrasons ne doivent pas être trop différentes d'un matériau à l'autre.
- dans le cas d'un assemblage homogène, les épaisseurs des différentes couches doivent être différentes, cependant certains échos du second fond peuvent être masqués dans l'écho du premier fond.
- il est difficile d'identifier l'écho de fond d'une épaisseur importante lorsque la première couche traversée est faible car les nombreux échos du premier fond risquent de masquer l'écho recherché du second fond.



On peut identifier deux familles d'échos correspondantes aux deux épaisseurs de l'assemblage.



Seul la première couche est représentée, elle nous permet d'identifier les échos de la première couche.

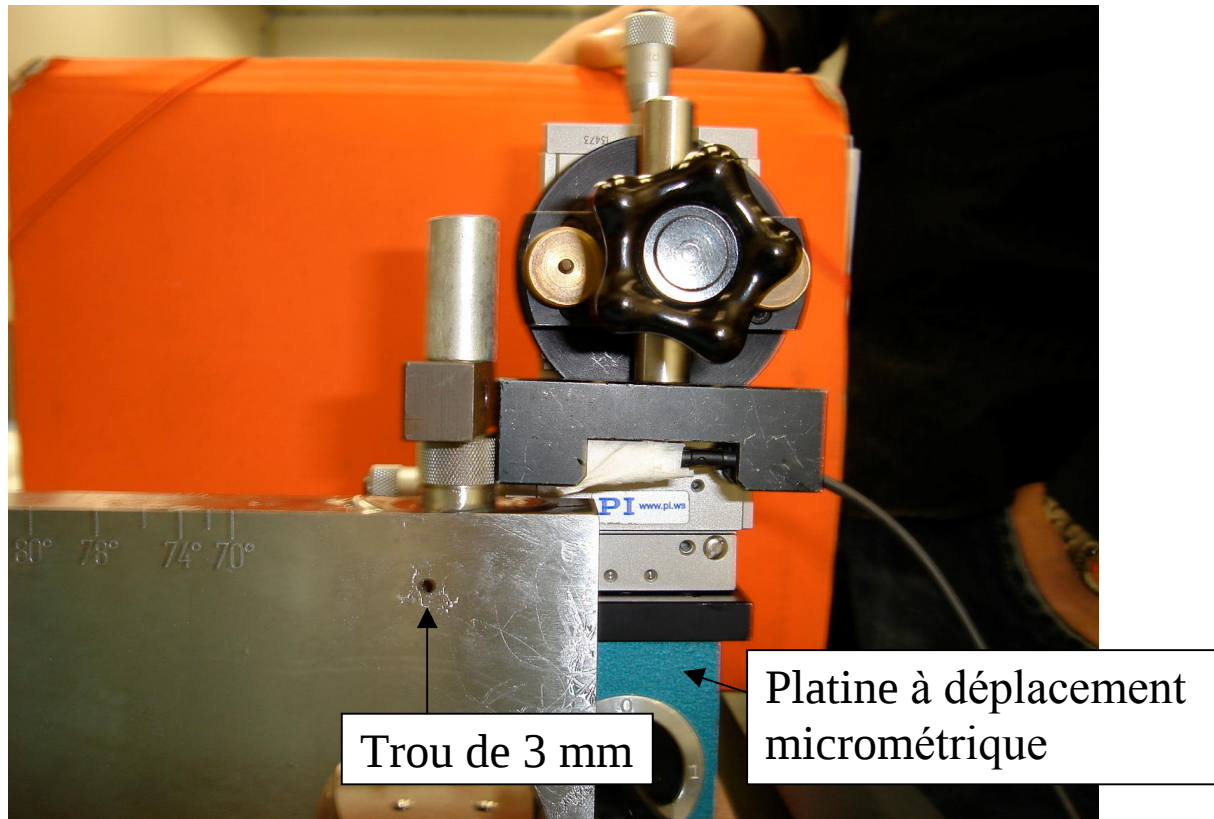


On retrouve les mêmes échos que précédemment mais s'ajoutent les échos de la deuxième épaisseur. C'est avec ces échos que l'on fait l'étalonnage qui permettra de faire la mesure de la deuxième couche. Il est donc indispensable de connaître l'épaisseur théorique ou de pouvoir mesurer l'épaisseur de la deuxième couche.

L'épaisseur de la première couche doit rester constante durant les mesures car l'étalonnage n'est valable que pour un couple de matière dont l'épaisseur de la première est fixe.

6. Applications CND dans la recherche de défauts en collaboration avec Jet Aviation

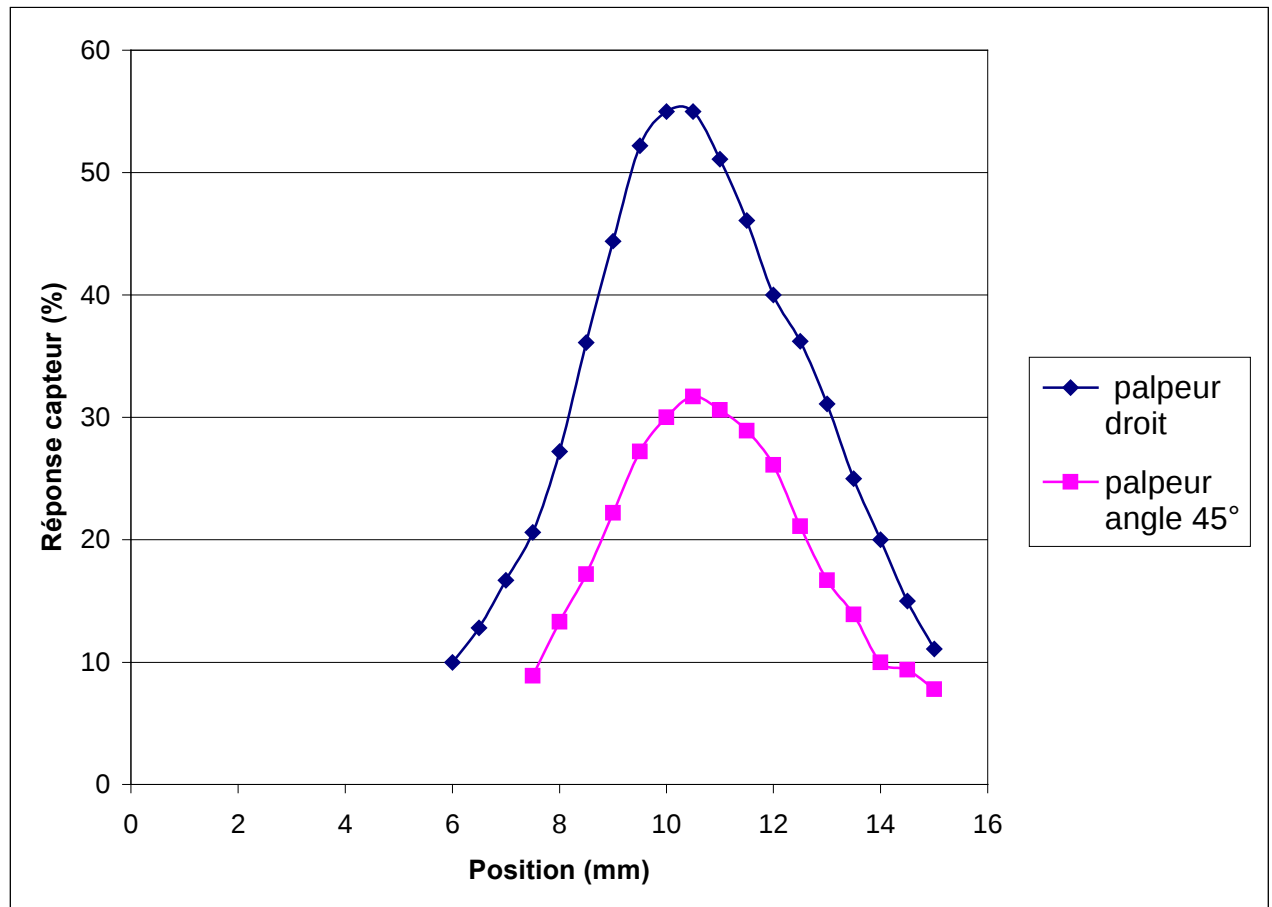
6.1 Défauts types



On cherche à représenter la réponse du capteur en fonction de la position vis-à-vis d'un défaut.

Pour cela on a utilisé un palpeur fixé à une platine à déplacement micrométrique, la pression reste constante à l'aide de poids sur le palpeur.

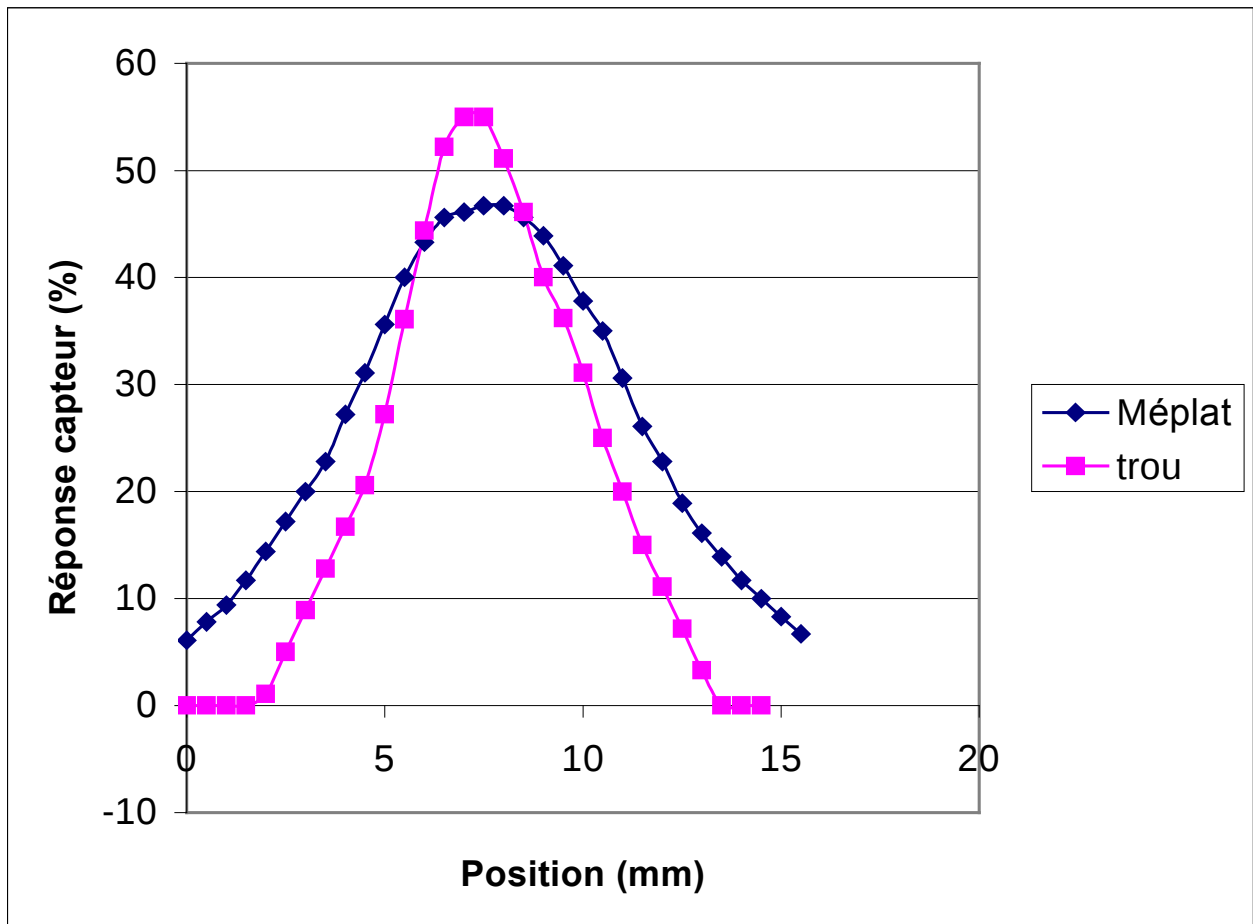
1ère manipulation :



On observe la réponse du capteur (%) en fonction de la position (mm) pour un palpeur droit et pour un palpeur d'angle 45°.

Les courbes obtenues ressemblent à des gaussiennes et sont identiques à un facteur d'atténuation et de gain près.

2ème manipulation :



On fait un balayage sur 15mm avec un pas de 0,5mm pour un défaut de 2mm.

Dans un cas, le défaut est un trou avec un profil fin et un sommet prononcé.

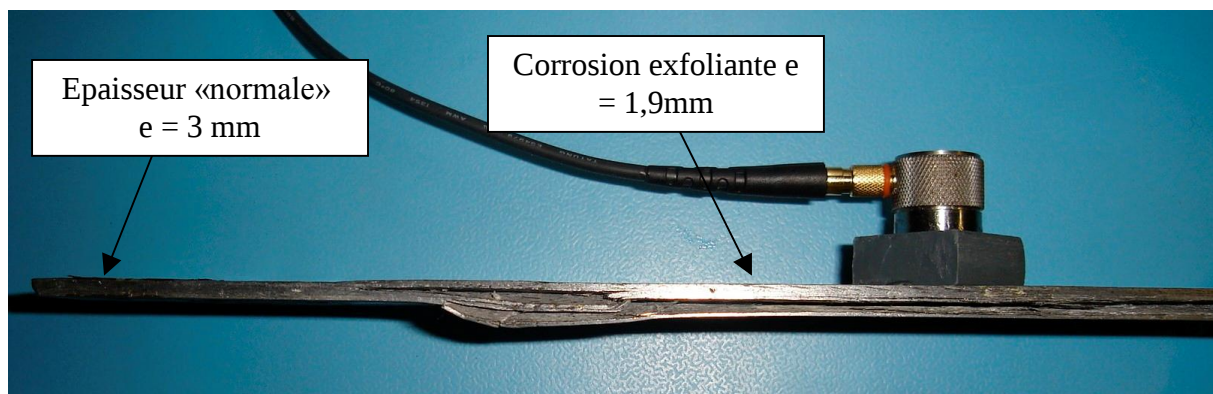
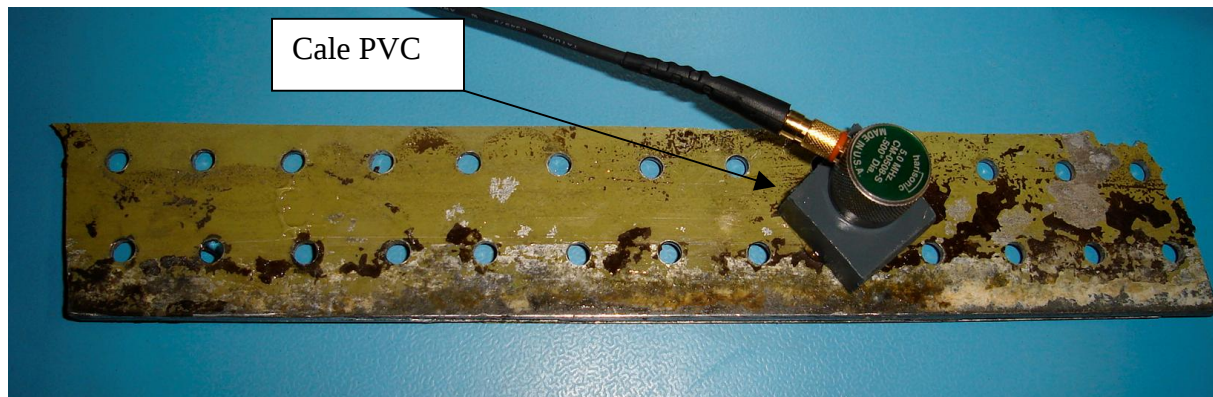
Dans l'autre cas, le défaut est un méplat avec un profil large. On remarque les 4 points alignés à la même hauteur qui correspondent au 2mm du méplat.

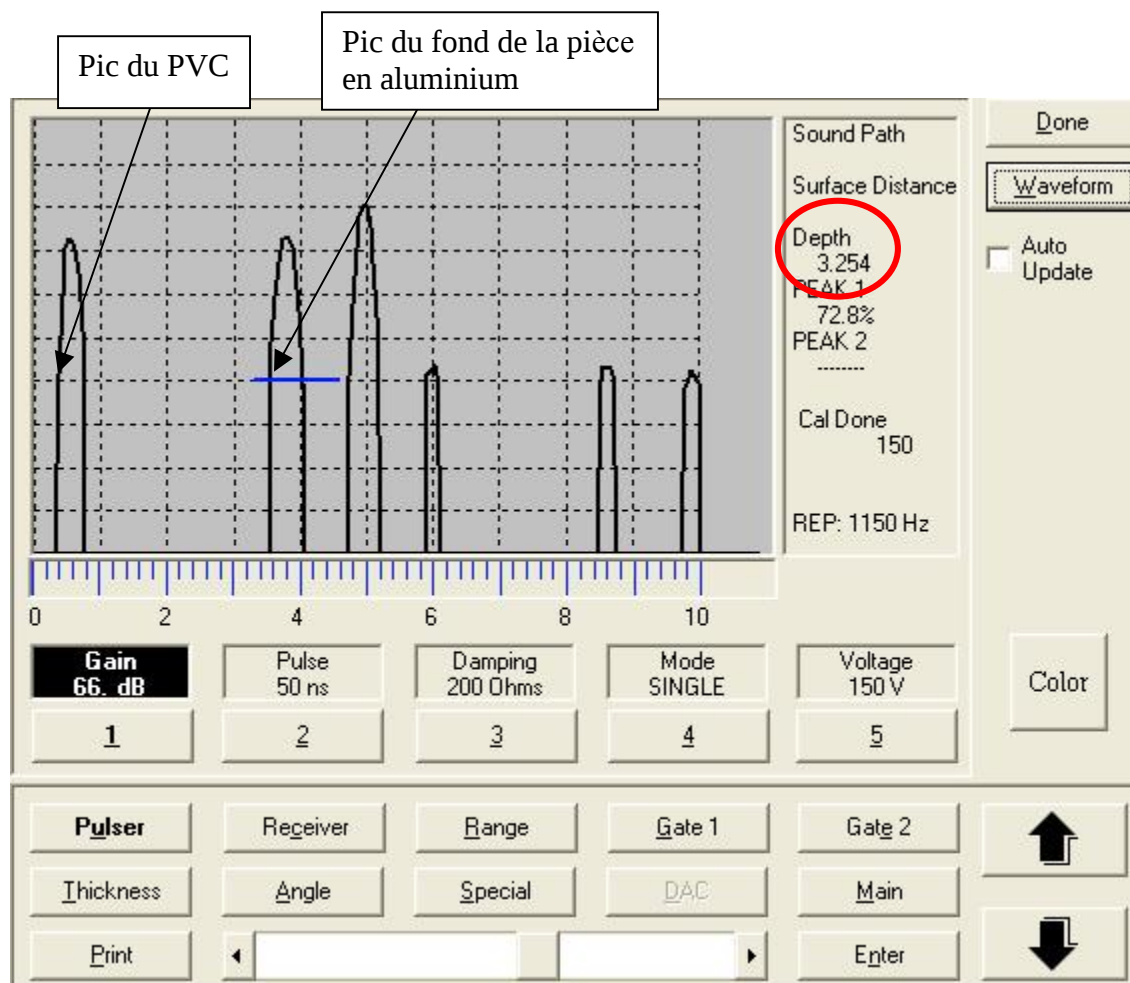
6.2 Défauts pièces Jet Aviation

A. Défaut : Corrosion exfoliante de l'aluminium.

Le problème de la corrosion est présent dans l'industrie aérienne, car certains métaux, comme l'aluminium, entrent dans la fabrication des avions. L'inspection non destructive par ultrasons permet dans certains cas, d'inspecter sans nécessiter le désassemblage de l'appareil ce qui présente un avantage non négligeable.

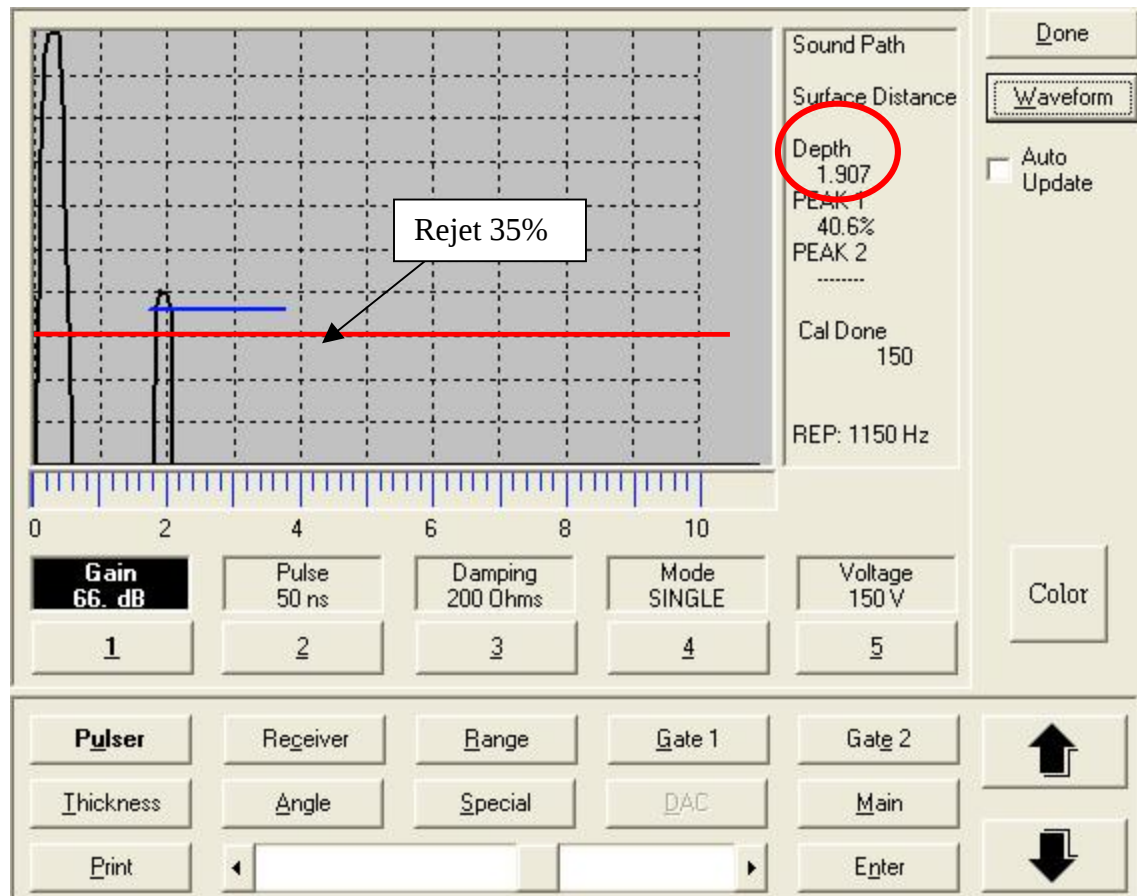
Les autres méthodes utilisées sont : les courants de Foucault, la thermographie pulsée.





Ici l'épaisseur attendue est de 3.2mm, il n'y a pas de corrosion.

On utilise une calle droite en PVC pour reculer le palpeur de sorte à ne plus être dans sa distance de blocage. L'épaisseur de PVC doit être nettement plus importante que l'épaisseur à mesurer ($>3x$).



Dans ce cas, il y a de la corrosion car l'épaisseur est de 1.9mm

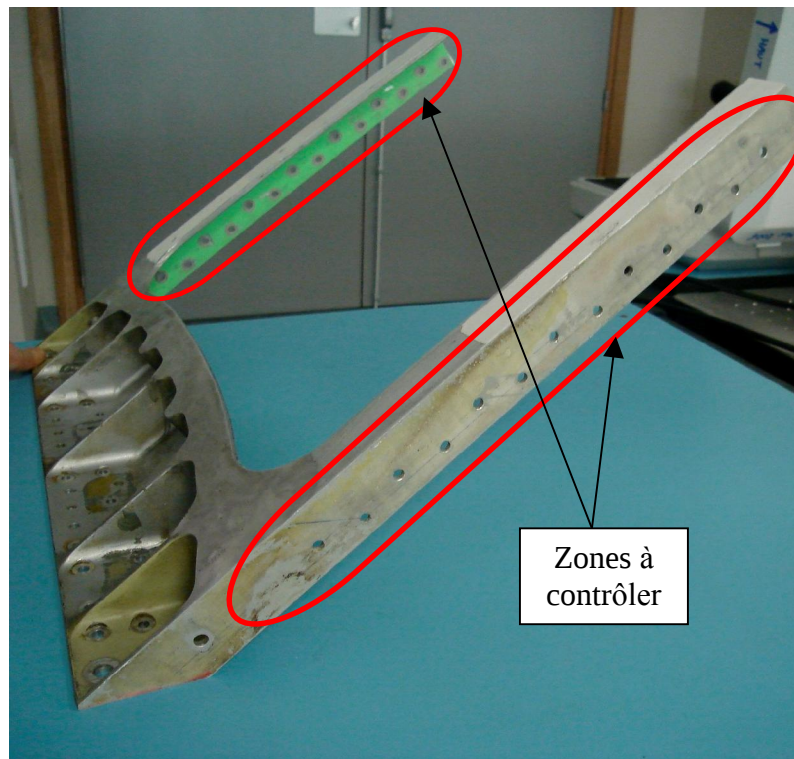
Les autres pics ont été éliminés par la fonction rejet. Dans notre exemple, le rejet masque tous les signaux inférieurs à 35%. La fonction rejet est utile lorsque le bruit est important (favorisé par un gain élevé), les échos nombreux.

B. Défaut : Fissure dans une structure d'aluminium.

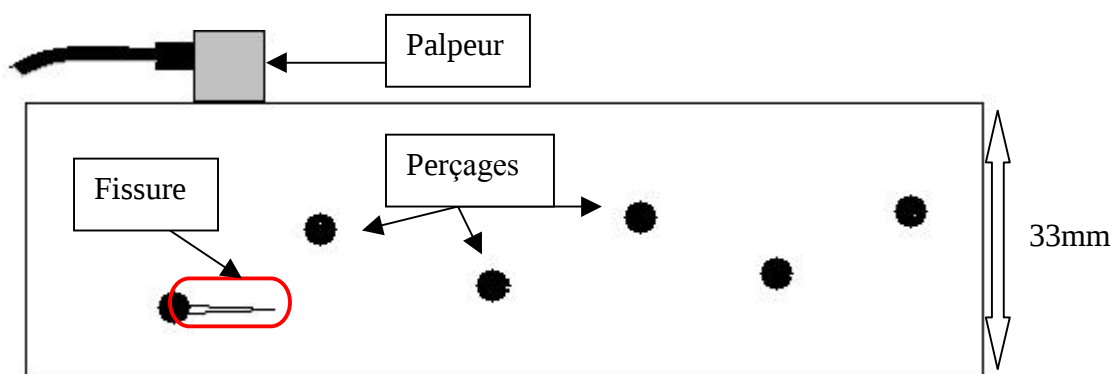
La pièce à contrôler fait partie de la structure maintenant le pare-brise du jet.
Elle est donc soumise à des contraintes élevées et répétées qui peuvent provoquer à terme, une fissuration lente dite « de fatigue ».

La direction de la fissure est toujours perpendiculaire au sens de la contrainte ce qui permet d'établir un protocole de surveillance en tenant compte des zones accessibles.

Dans le cas présent, l'amorce de la fissure se fait systématiquement à partir d'un perçage.



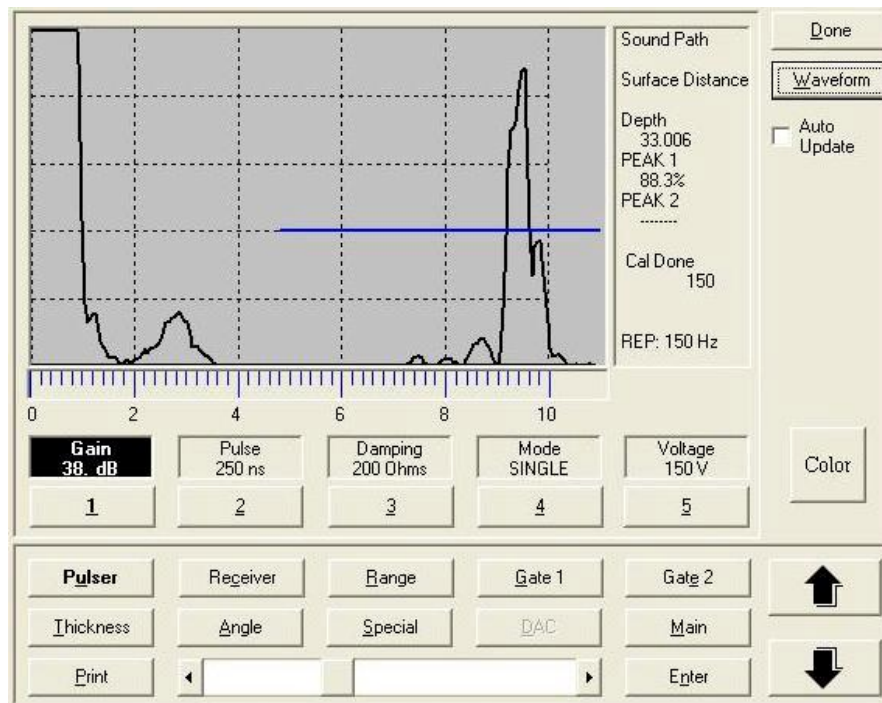
Pièce de Falcon 20.



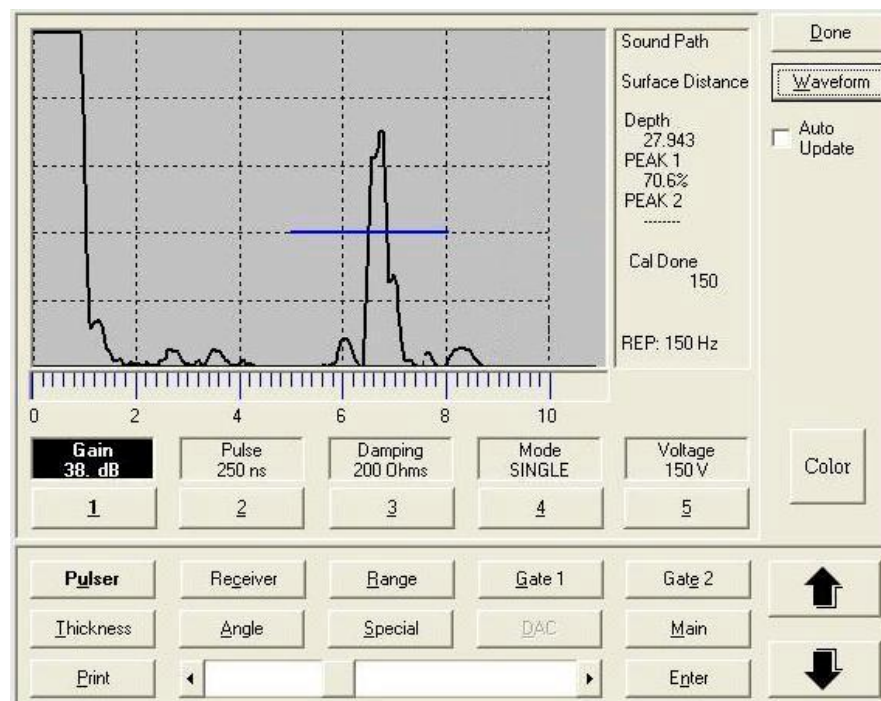
On utilise un palpeur droit à fréquence élevée et suffisamment petit afin d'émettre le plus possible dans la matière (épaisseur du montant : 3mm).

On procède à un étalonnage en utilisant les cotes 33 mm et 26 mm du montant.

Captures d'écrans.



Une zone sans fissure donne un écho de fond à 33mm.

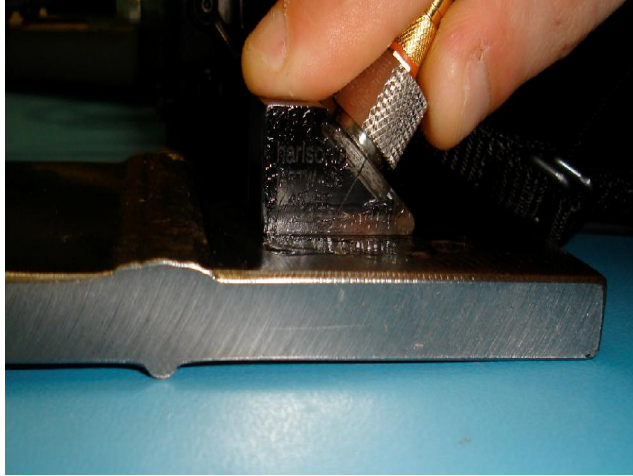


En revanche, lorsqu'il y a présence d'une fissure, les U.S s' y réfléchissent, le pic est à 27 mm de profondeur.

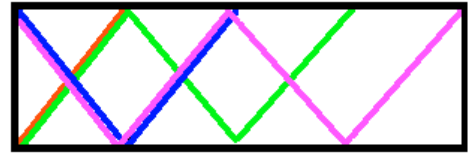
En déplaçant le palpeur le long du montant, on peut également déterminer la longueur de la fissure ici 16 mm.

Dans chaque montant, une longueur maximale de fissures est tolérée, cet examen permet de déclarer la pièce conforme ou non.

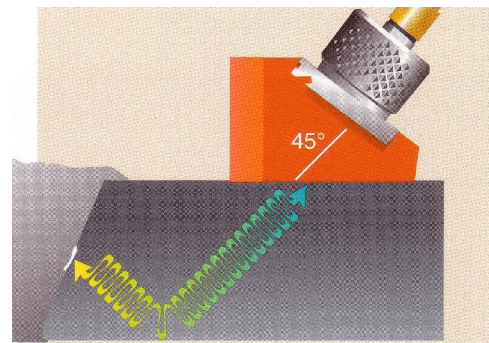
6.3 Défauts de soudures (NDE educational kit)



Pièce avec défauts de soudures (toe crack plate)



Réflexions internes



Nous avons aussi utilisé la mallette contenant différentes pièces avec des défauts de soudures. Pour cela, comme ci-dessus, nous avons utilisé un palpeur d'angle 45° en travaillant avec une réflexion par le fond de la pièce. Nous avons ainsi trouvé un défaut de soudure d'une longueur de 2cm dans l'une des pièces.

7. Conclusion

Ce projet m'a permis d'approfondir mes connaissances en matière d'ultrasons et de mener à bien les études demandées sur les nombreuses applications que permet un appareil à ultrason, plus particulièrement sur la mesure d'épaisseur, la détermination du module d'Young d'un matériau et la détection de défauts dans la matière.

Ce mode de contrôle non destructif permet avec une bonne précision d'évaluer l'importance d'un défaut et cela sans être obligé de démonter la pièce.

Ce projet ma permis de découvrir une grande entreprise telle que Jet Aviation et plus particulièrement son service de recherche de défaut par CND. Leur savoir faire en matière de contrôle par ultrasons, les procédures qu'ils utilisent et leurs matériels spécifiques nous ont beaucoup aidés dans l'aboutissement de notre projet.



Sommaire des Annexes

A1. Rédaction d'un mode d'emploi simplifié pour les étudiants
de BTS Traitement des matériaux

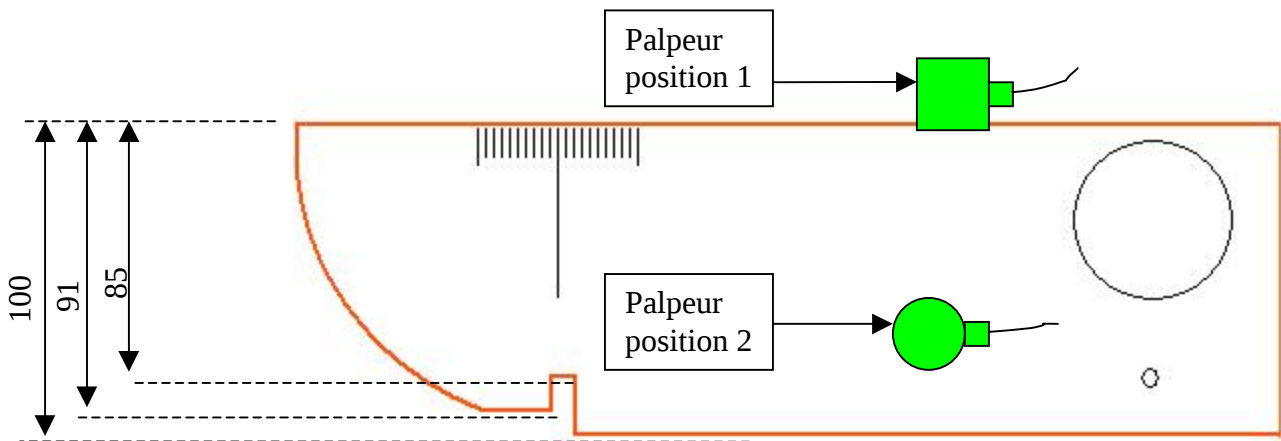
A1.1 Fiche 1 : "Etalonnage manuel de l'appareil pour un couple palpeur-
matériau donné."

A1.2 Fiche 2 : "Etalonnage automatique de l'appareil pour un couple palpeur-
matériau."

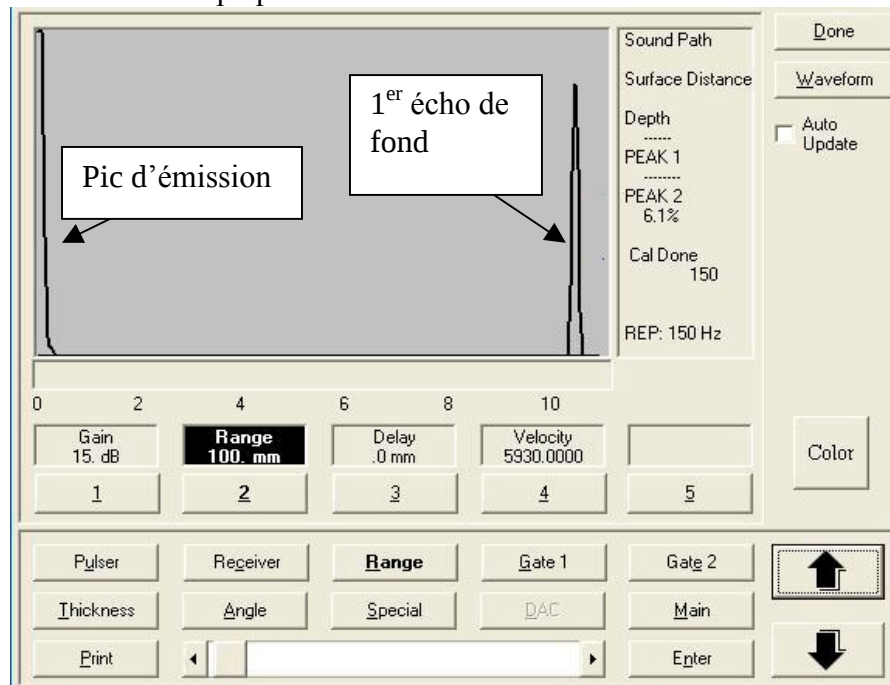
A1.3 Fiche 3 : "Etalonnage automatique de l'appareil pour les palpeurs
oblique."

A1.1 Procédure d'étalonnage manuel

Schéma de la cale universelle d'étalonnage NF EN 12 223 :

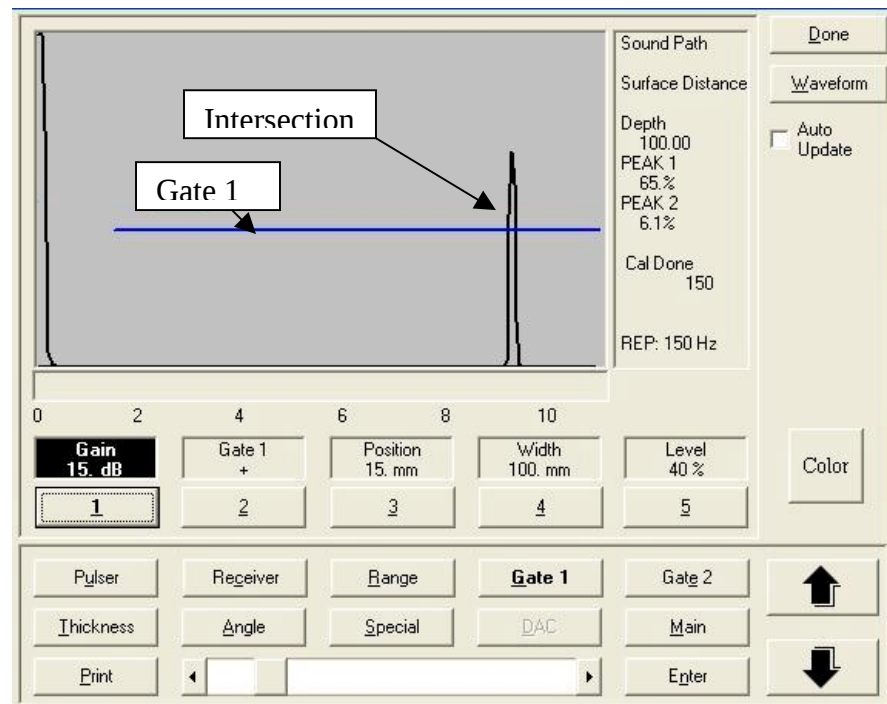


- Connecter le palpeur approprié à l'appareil sur l'une des 2 entrées RCV ou XMT (prises BNC sur le dessus de l'appareil).
- Poser le palpeur sur la tranche de la cale étalon (position 1, $e = 100$ mm), ne pas oublier le couplant entre la surface et le palpeur. Appliquer une pression sur le palpeur lors des mesures.
- Régler la gamme :
 - Aller dans le menu **RANGE** (gamme), régler la **GAMME** à 100 mm à l'aide de la molette et **VITESS** à 5930 m/s; Faire correspondre **FREQ** du menu **RCVR** avec la fréquence nominale du palpeur.



- Vérifier la présence du signal émis abscisse = 0 et du 1^{er} écho de fond abscisse = 10
- Positionner la porte :

- Aller dans le menu **GATE 1** (porte 1), vérifier l'indication «**PORTE 1 +**»
- Régler **POSITION** à 15 mm
- Régler **LARGEUR** à 100
- Régler **NIVEAU** à 40 %
- Obtenir une intersection entre la porte et le signal d'écho (augmenter **GAIN** si le signal est trop faible).



- Aller dans le menu **THICK** (épaisseur)
- Régler **MESUREUR** sur **IP-1ST**

L'étalonnage consiste à trouver les valeurs de 2 paramètres :

Etape 1 : réglage de la vitesse de propagation des ultrasons dans le matériau.

- Appliquer le palpeur en position 1 (e =100 mm)
- Régler **M-VIT** de manière à obtenir une mesure de **↓ 100.00 mm** dans la composante longitudinale.

Etape 2 : Réglage du décalage induit par l'épaisseur du palpeur.

- Appliquer le palpeur en position 2 (e =25 mm)
- Régler **DECALAGE** de manière à obtenir une mesure de **↓ 25.00 mm** dans la composante longitudinale.

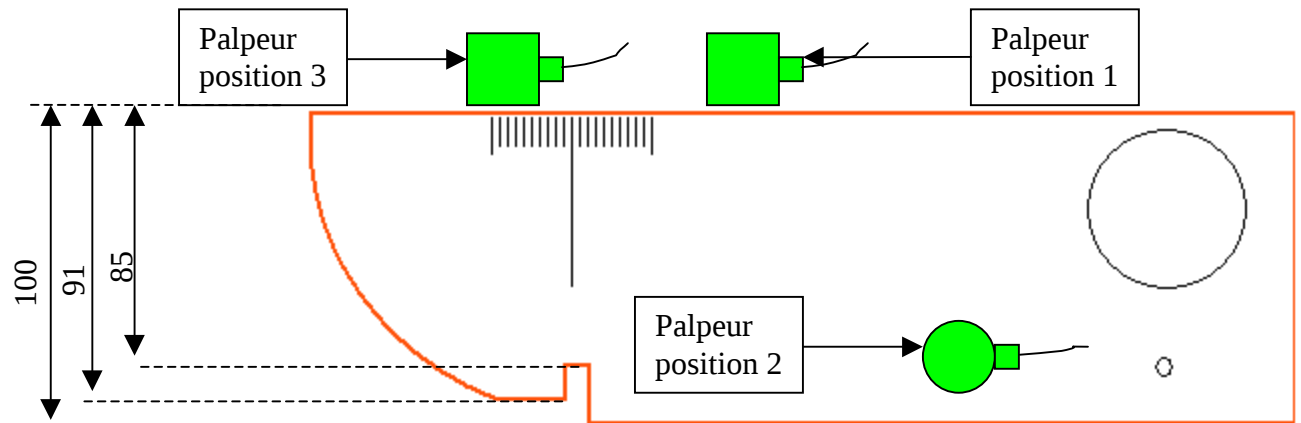
- Affiner le réglage en reprenant successivement l'étape 1 puis l'étape 2.
- Lorsque l'on obtient 100,00 mm en position 1 et 25,00 mm en position 2 l'étalonnage est effectué.

Cet étalonnage n'est valable que pour l'association d'un palpeur et d'un matériau.

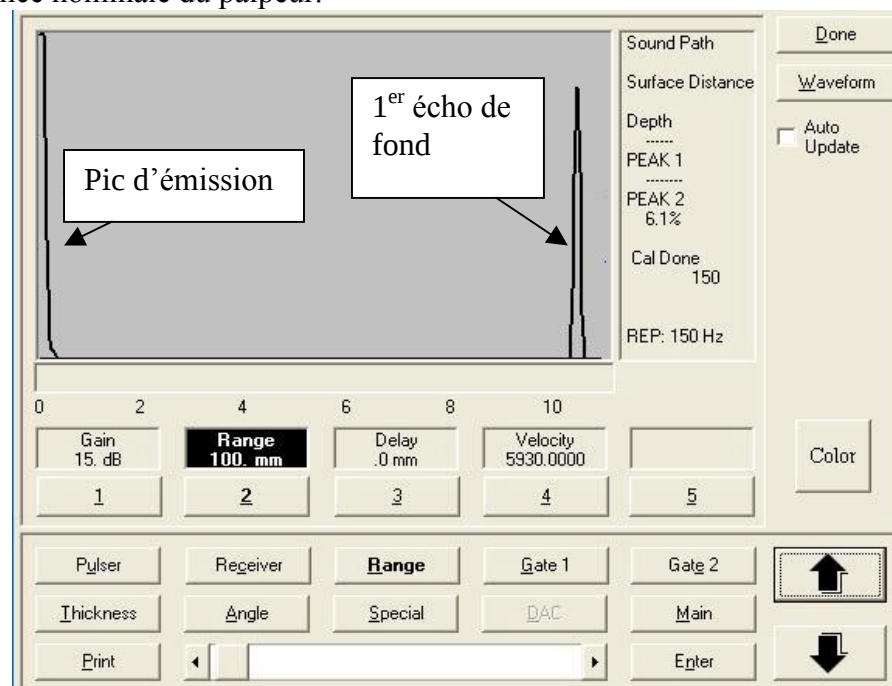
- Sauvegarde des réglages :
 - dans le menu **SPCL**
 - sélectionner **PROGRAM (MENU)**, presser la touche **ENTER**
 - sélectionner une ligne vide à l'aide de la molette, sélectionner **MEMORISE**, presser la touche **ENTER**
 - sélectionner **NOM**, presser la touche **ENTER**
 - saisir le nom « _____ » à l'aide de la molette et de la touche **ENTER**, puis **SAUVE**
 - presser une des touches **MENU** pour quitter.

A1.2 Procédure d'étalonnage automatique

Schéma de la cale universelle d'étalonnage NF EN 12 223 :

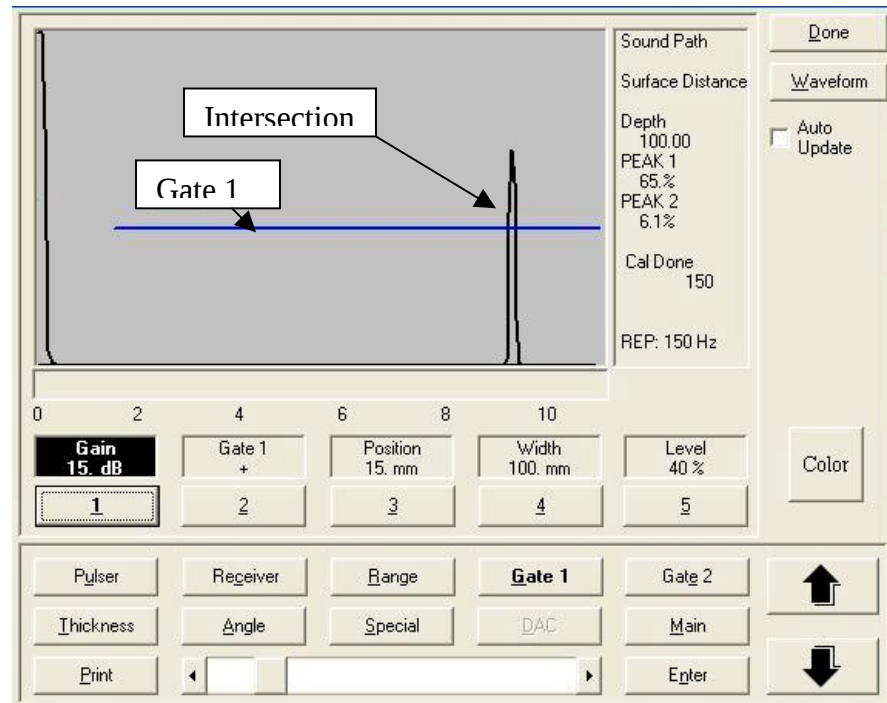


- Connecter le palpeur approprié à l'appareil sur l'une des 2 entrées RCV ou XMT (prises BNC sur le dessus de l'appareil).
- Poser le palpeur sur la tranche de la cale étalon (position 1, $e = 100$ mm), ne pas oublier le couplant entre la surface et le palpeur. Appliquer une pression sur le palpeur lors des mesures.
- Régler la gamme :
 - Aller dans le menu **RANGE** (gamme), régler la **GAMME** à 100 mm à l'aide de la molette et **VITESS** à 5930 m/s; Faire correspondre **FREQ** du menu **RCVR** avec la fréquence nominale du palpeur.



- Vérifier la présence du signal émis abscisse = 0 et du 1^{er} écho de fond abscisse = 10
- Positionner la porte :

- Aller dans le menu **GATE 1** (porte 1), vérifier l'indication «**PORTE 1 +**»
- Régler **POSITION** à 15 mm
- Régler **LARGEUR** à 100
- Régler **NIVEAU** à 40 %
- Obtenir une intersection entre la porte et le signal d'écho (augmenter **GAIN** si le signal est trop faible).



- Aller dans le menu **THICK** (épaisseur)
- Régler **MESUREUR** sur **A IP-1ST**

Le réglage de la vitesse de propagation des ultrasons dans le matériau et le réglage du décalage induit par l'épaisseur du palpeur sont calculés automatiquement.

Etape 1 : Acquisition du 1^{er} point : l'appareil affiche CAL PT 1

- Appliquer le palpeur en position 2 (e =25 mm)
- régler **THK CAL** à 25 mm avec la molette ou en appuyant plusieurs fois sur **THK CAL**. Valider l'acquisition du point 1 par **ENTER**.

Etape 2 : Acquisition du 2^{ème} point : l'appareil affiche CAL PT 2.

- Appliquer le palpeur en position 1 (e =100 mm)
- régler **THK CAL** à 100 mm avec la molette ou en appuyant plusieurs fois sur **THK CAL**. Valider l'acquisition du point 2 par **ENTER**.

- L'appareil affiche **THK CAL -----**, quand l'acquisition des 2 points est effectuée.
- Vérifier que l'on obtient 100,00 mm en position 1, 25,00 mm en position 2 et 91,00 mm en position 3.

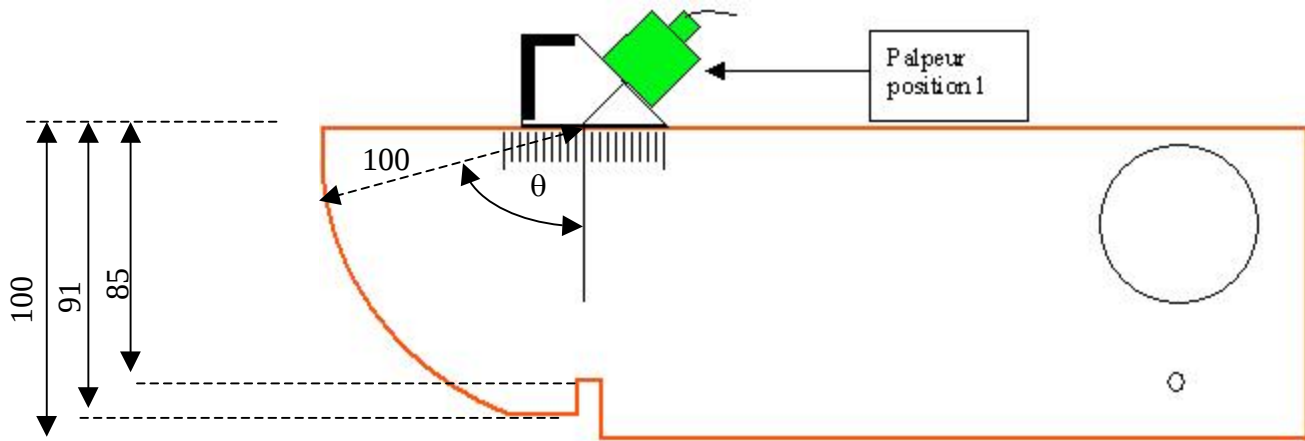
Cet étalonnage n'est valable que pour l'association d'un palpeur et d'un matériau.

· Sauvegarde des réglages :

- dans le menu SPCL
- sélectionner PROGRAM (MENU), presser la touche ENTER
- sélectionner une ligne vide à l'aide de la molette, sélectionner MEMORISE, presser la touche ENTER
- sélectionner NOM, presser la touche ENTER
- saisir le nom « _____ » à l'aide de la molette et de la touche ENTER, puis SAUVE
- presser une des touches MENU pour quitter.

A1.3 Procédure d'étalonnage automatique pour palpeur d'angle

Schéma de la cale universelle d'étalonnage NF EN 12 223 :



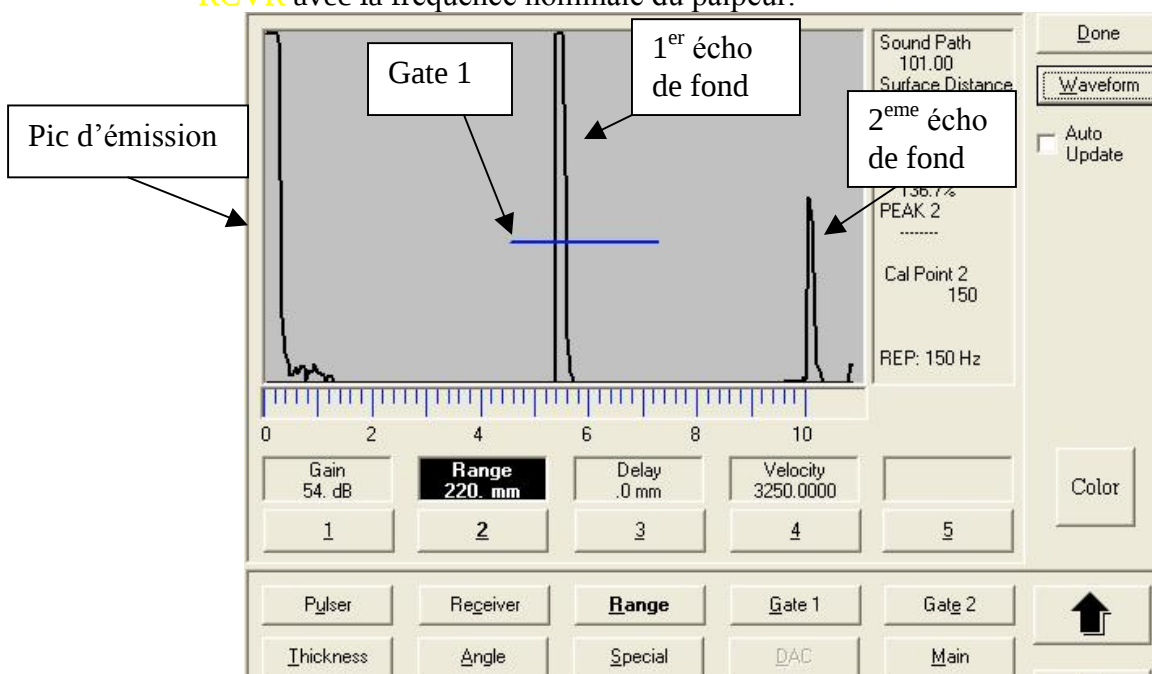
· Connecter le palpeur d'angle (fileté) à l'appareil sur l'une des 2 entrées RCV ou XMT (prises BNC sur le dessus de l'appareil). Appliquer du couplant entre le palpeur et le sabot.

· Poser le sabot sur la tranche de la cale étalon au niveau de l'encoche (position 1, e=100 mm), ne pas oublier le couplant entre la surface et le sabot. Appliquer une pression sur le sabot lors des mesures.

· Aller dans le menu ANGLE activer la **FCT-TRIG**, entrer la valeur de l'**ANGLE** du sabot utilisé, régler **EPAIS** à une valeur de l'ordre de l'épaisseur (e=100 mm).

· Régler la gamme :

- Aller dans le menu **RANGE** (gamme), régler la **GAMME** à 200 mm à l'aide de la molette et **VITESS** à 3208 m/s; Faire correspondre (au mieux) **FREQ** du menu **RCVR** avec la fréquence nominale du palpeur.



· Vérifier la présence du signal émis abscisse = 0; du 1^{er} écho de fond abscisse = 5 et du second écho de fond abscisse = 10

· Positionner la porte :

- Aller dans le menu **GATE 1** (porte 1), vérifier l'indication «**PORTE 1 +**»
- Régler **POSITION** à 80 mm
- Régler **LARGEUR** à 60 mm
- Régler **NIVEAU** à 40 %

· Vous devez obtenir une intersection entre la porte et le signal d'écho. Si le signal est trop faible par rapport à la hauteur de la porte, augmenter **GAIN**.

· Aller dans le menu **THICK** (épaisseur)

· Régler **MESUREUR** sur **A IP-1ST**

Le réglage de la vitesse de propagation des ultrasons dans le matériau et le réglage du décalage induit par l'épaisseur du palpeur sont calculés automatiquement.

Etape 1 : Acquisition du 1^{er} point : l'appareil affiche CAL PT 1

- Appliquer le palpeur en position 1 (e =100 mm)
- régler **THK CAL** à 100 mm avec la molette ou en appuyant plusieurs fois sur **THK CAL**. Valider l'acquisition du point 1 par **ENTER**.

Etape 2 : Acquisition du 2^{ème} point : l'appareil affiche CAL PT 2.

- Laisser le palpeur en position 1 (e =100 mm)
- régler **THK CAL** à 200 mm avec la molette ou en appuyant plusieurs fois sur **THK CAL**.
- Aller dans le menu **GATE 1**, changer la **POSITION** pour obtenir une intersection avec le second écho de fond. Retourner dans le menu **THICK**, valider l'acquisition du point 2 par **ENTER**.
- L'appareil affiche **THK CAL -----**, quand l'acquisition des 2 points est effectuée.
- Vérifier que l'on obtient 100,00 mm en position 1,

Cet étalonnage n'est valable que pour l'association d'un palpeur et d'un matériau.

· Sauvegarde des réglages :

- dans le menu **SPCL**
- sélectionner **PROGRAM (MENU)**, presser la touche **ENTER**
- sélectionner une ligne vide à l'aide de la molette, sélectionner **MEMORISE**, presser la touche **ENTER**
- sélectionner **NOM**, presser la touche **ENTER**
- saisir le nom « _____ » à l'aide de la molette et de la touche **ENTER**, puis **SAUVE**
- presser une des touches **MENU** pour quitter.

