

TP Contrôle Industriel

Contrôle d'épaisseur par mesures ultrasonores

I. Introduction :

Le dispositif expérimental que nous utiliserons est destiné au contrôle de pièces à faces parallèles par immersion totale du traducteur et de la pièce dans le milieu de couplage. Dans le cas présent, nous effectuerons un contrôle par onde longitudinale, de l'eau additionnée de chlore suffira pour assurer la transmission des ultrasons. Le faisceau ultrasonore est issu d'un émetteur de focale 30 mm fonctionnant à 20 MHz. Le transducteur est connecté à une alimentation haute tension (SOFRANEL Pulser Receiver Model 5055PR), qui permet de générer des impulsions ultrasonores très brèves et très énergétiques. Les échos sont détectés au moyen de ce même transducteur. Pour ne pas visualiser l'impulsion initiale servant à exciter la céramique, les signaux détectés sur le transducteurs sont multipliés par une fonction porte afin de n'afficher que les échos utiles à la mesure, c'est à dire l'échos d'entrée correspondant à la réflexion de l'onde sur la face avant de la pièce et l'échos de fond qui correspond à la réflexion sur la face arrière de la pièce. Cette opération de fenêtrage est réalisée grâce au boîtier SOFRANEL Stepless Gate Model 5052G. Le signal est ensuite affiché puis enregistré au moyen d'un oscilloscope numérique, TEKTRONIC TDS 360, de bande passante 200 MHz qui dispose des outils (moyennage, curseurs ...) permettant la mesure du retard entre les différents échos détectés qui donne accès à l'épaisseur locale de la pièce. Enfin, pour déplacer la zone de mesure, et donc inspecter les différents points de la pièce, l'émetteur est déplacé au moyen des platines de translation MICROCONTROLE M-UTM de résolution micrométrique et commandés par une alimentation MICROCONTROLE MM2500. Le porte pièce est mobile ce qui permet de régler la distance pièce/traducteur pour focaliser correctement le faisceau ultrasonore. Enfin, le boîtier de commande des micro-moteurs ainsi que l'oscilloscope sont dotés d'une interface IEEE 488 permettant un pilotage de ces appareils à distance par PC, et donc d'automatiser la mesure.

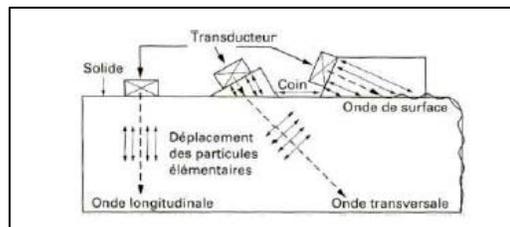
II. Bases physiques du contrôle ultrasonore

Nature des ultrasons

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz) présentant une certaine élasticité. En continuation de la gamme sonore, les ultrasons correspondent à des fréquences oscillatoires supérieures à la limite d'audibilité humaine et s'étendant dans une large gamme allant de 15 kilohertz (nettoyage) à plus de 100 MHz (microscopie acoustique, application électronique). La gamme 1 à 10 MHz couvre la grande majorité des applications des ultrasons en contrôle non destructif industriel. Cela n'est pas un hasard car ces fréquences correspondent, pour les matériaux courants, à des longueurs d'onde ultrasonore de l'ordre du **millimètre**, valeur réalisant un bon compromis entre directivité, absorption, détectabilité des petits défauts, facilité de réalisation d'appareillages électroniques et de transducteurs fiables et économiques.

Différents types d'ondes

Les ondes ultrasonores, vibrations élastiques de la matière, ont des propriétés liées aux caractéristiques élastiques du support matériel. Ainsi, dans les **liquides et les gaz**, qui sont des milieux n'offrant aucune résistance au cisaillement, les ondes ultrasonores sont essentiellement des **vibrations longitudinales**, les particules matérielles se déplaçant, par rapport à leur position d'équilibre, parallèlement à la direction de propagation de l'onde, engendrant des fronts de compression-décompression, eux-mêmes perpendiculaires à cette direction. Ce type d'onde se retrouve dans les **solides** et est d'ailleurs le plus utilisé en pratique. Toutefois, un autre mode, utilisant le cisaillement, peut exister : mode d'**onde transversale** pour lequel les vibrations des particules s'exercent perpendiculairement à la direction de propagation.



Ces deux types d'ondes, les plus couramment rencontrés en contrôle non destructif, sont des **ondes de volume** ; il est possible aussi de générer d'autres types d'ondes dont l'existence dépend en particulier de la configuration du support de propagation. Il y a tout d'abord les **ondes de surface**, ondes composites constituées à la fois par des déplacements longitudinaux et transversaux, et dont les plus connues et utilisées sont les **ondes de Rayleigh** ; d'autres modes sont possibles et connus : ondes rampantes de Love, ondes de Bleustein – Gulyaev.

Phénomènes de propagation

Les lois physiques rappelées ici s'appliquent au cas simple d'une **onde monochromatique**, c'est-à-dire de fréquence unique. La réalité du contrôle ultrasonore est plus complexe, car les transducteurs génèrent des trains d'ondes correspondant à un spectre de fréquence d'une certaine forme et d'une étendue plus ou moins bien connues. C'est une remarque qu'il ne faut pas perdre de vue, lorsque l'on veut mettre en pratique ces bases physiques par ailleurs indispensables à la bonne compréhension des mécanismes mis en jeu dans tout contrôle ultrasonore.

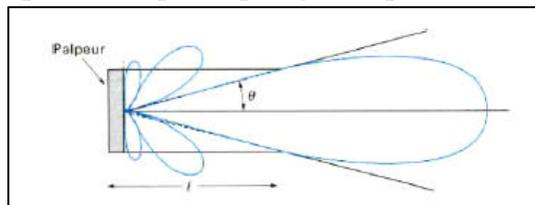
Vitesse, directivité, atténuation

La longueur d'onde λ d'un train d'onde ultrasonore se déduit de la vitesse de propagation par la relation simple suivante :

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

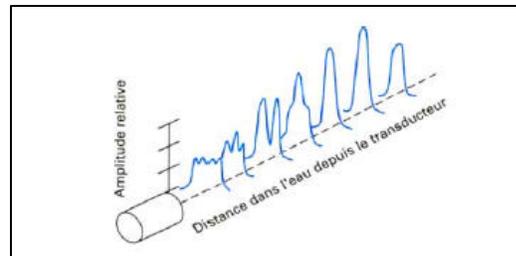
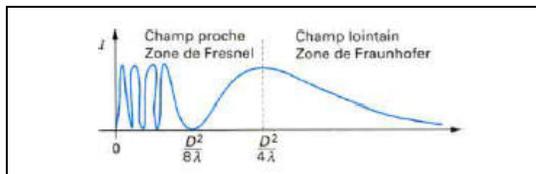
où f est la fréquence de la vibration.

Cette longueur d'onde λ est à prendre en considération dans la propagation des ondes, en particulier vis-à-vis de l'étalement du faisceau ultrasonore (directivité) et de l'atténuation de l'onde par le milieu. Nous avons vu que les ultrasons utilisés en CND se situent dans la gamme des fréquences 1 à 10 MHz, ce qui correspond, dans l'acier par exemple, à des longueurs d'onde de 0,6 à 6 mm en mode longitudinal. À ces courtes longueurs d'onde, les ultrasons se propagent essentiellement en ligne droite selon un faisceau plus ou moins étalé, constitué d'un lobe principal dans lequel la plus grande partie de l'énergie est concentrée.



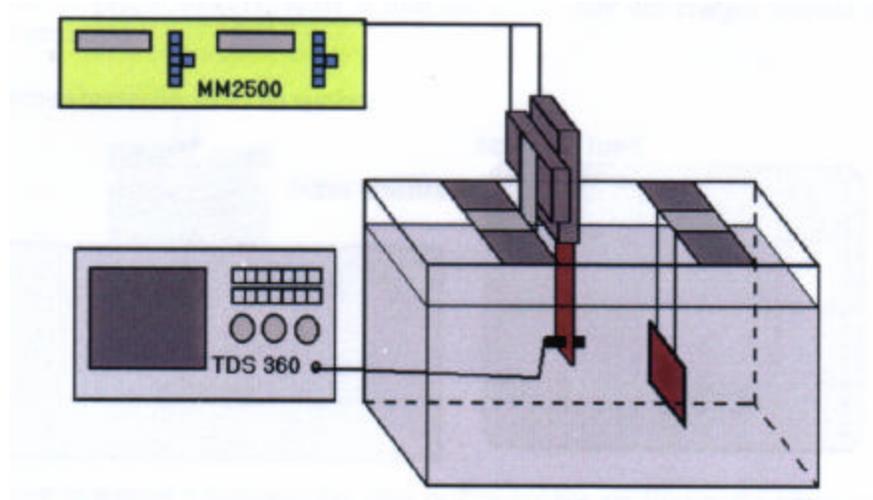
C'est cette propriété qui les rend utiles pour localiser les défauts. Près de la source ultrasonore, on peut démontrer que le faisceau est l'objet d'interactions vibratoires assez complexes donnant lieu à des maximums et des minimums d'énergie sur l'axe de propagation;

il s'agit du **champ proche ou zone de Fresnel** dont la longueur est donnée par la relation : $l = \frac{D^2}{4\lambda}$



D étant le diamètre de la source. Ensuite, l'énergie devient monotone et le faisceau diverge selon un angle d'étalement θ tel que : $\theta = 1,22 \lambda/D$

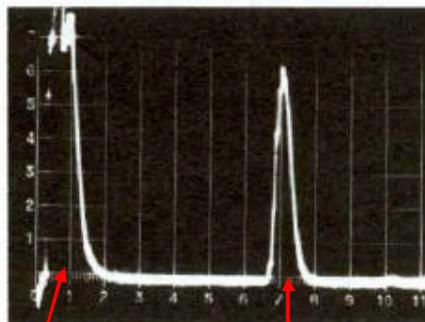
III. Schéma de montage :



IV. Etude du système

Mesure de vitesse de propagation :

Plusieurs pics sont observés ; le premier correspond au signal émis et le second à l'écho d'entrée (face avant de la pièce). Il est ainsi possible de mesurer la distance entre l'émetteur et la pièce connaissant la vitesse du son dans l'eau (ce temps de parcours correspond à un aller retour).



Emission

signal retourné par la face avant de la pièce

Il y a ensuite au moins l'écho renvoyé par la face arrière de la pièce...

Le pic suivant (non représenté ci dessus) correspond à l'échos du fond de la pièce. Là encore il est possible de déterminer l'épaisseur de la pièce grâce à la mesure du Δt correspondant à un aller retour dans l'épaisseur de la pièce.

Nous avons relevé $3220\mu s$ soit un temps de parcours entre la face avant et la face arrière de $1610\mu s$.

On a donc parcouru 10mm en $1610\mu s$ ce qui correspond à une vitesse de 6200m/s.

(6300m/s donné par le tableau 1, cette différence est certainement due aux propriétés du matériau)

Plusieurs échos sont mesurables mais le **?t minimum** permettant de mettre en évidence ces réflexions multiples est de **300ns**.

Mesure de l'atténuation :

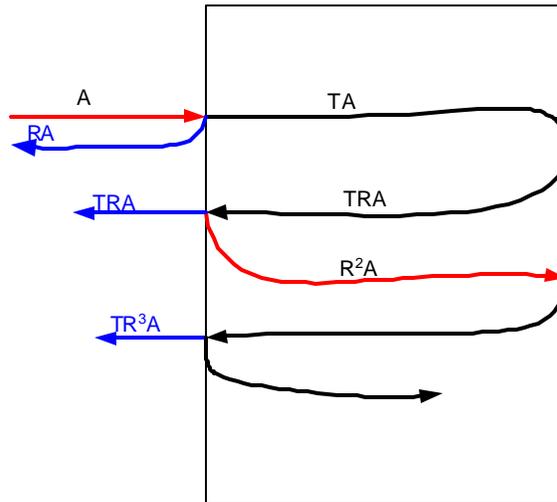
Lorsque l'onde arrive en contact avec la face avant, elle est en partie réfléchi et transmise ; l'onde transmise sera réfléchi par le fond de la pièce. A chaque «impacte » l'amplitude de l'onde est atténuée. Chaque réflexion peut engendrer un signal d'écho dont les amplitudes sont atténuées comme suit :

$$A_1=RA$$

$$A_2=TRA$$

$$A_3=TR^3A$$

$$A_4=TR^5A....$$

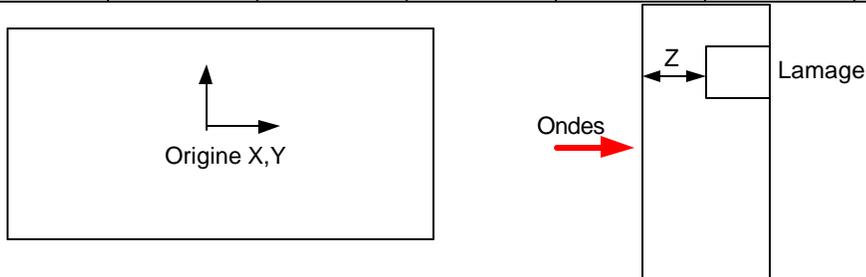


Nous avons constaté que seul les deux premières amplitudes (A_1 et A_2) étaient détectables.

Différents points de mesures sur la pièce :

Nous avons recherché la présence de lamages sur la pièce en effectuant un balayage de celle ci. Le tableau ci dessous regroupe les données qui permettent de connaître les coordonnées X,Y et Z déduit grâce au ?t.

X (mm)	25,778	25,778	-26,538	-12,265	10,07	-5,378
Y (mm)	-1,126	3,155	,31,813	22,209	25,475	-9,556
t (us)	1,8	1,76	1,88	2,56	1,74	0,7
Z (mm)	5,58	5,456	5,828	7,936	5,394	2,17



Conclusions

La mesure de la position des lamages ainsi que la mesure de leur diamètres ne sont pas très précises car nous sommes limité par le diamètre du faisceau d'onde acoustiques.

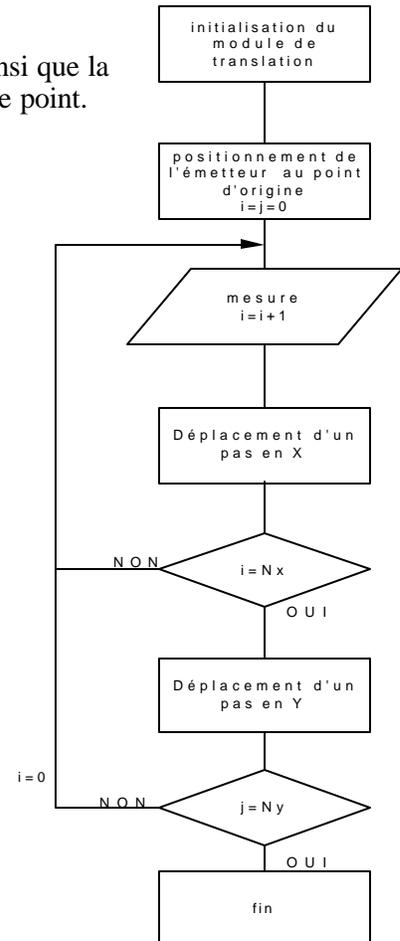
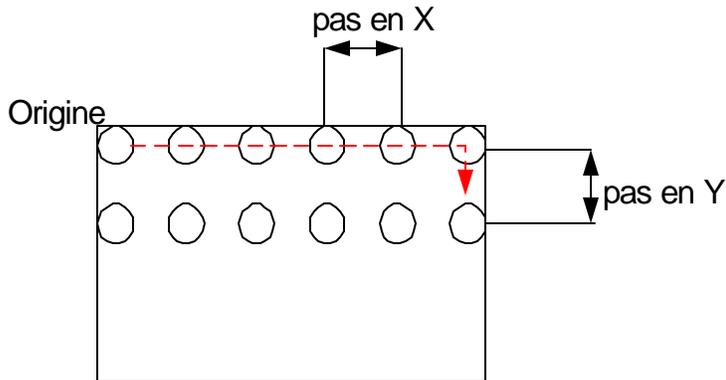
Automatisation de la mesure :

Compte tenu du temps nécessaire à une inspection globale d'une pièce, il est nécessaire d'automatiser la mesure. Cette automatisation a pour but de permettre un contrôle méthodique de la pièce dans des conditions reproductibles, une exploitation systématique et approfondie des mesures et l'enregistrement des informations attestant de la qualité de la pièce inspectée.

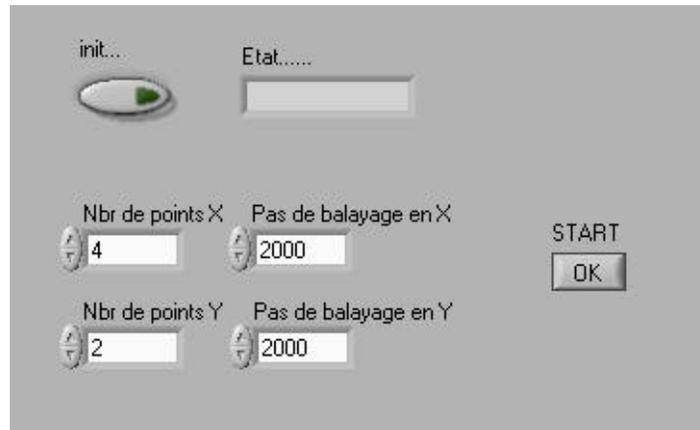
Pour réaliser ce processus d'inspection, nous avons réalisé un programme sous Labview6 dont le fonctionnement a été inspiré du diagramme suivant :

L'utilisateur aura à entrer le nombre de pas en X (N_x) et Y (N_y) ainsi que la valeur du pas. Le programme gèrera alors les acquisitions à chaque point.

La pièce sera balayée de la façon suivante :



La face avant du module d'automatisation :



Plusieurs sous VI ont donc été créé et agencés ensuite dans un VI principal.



ce sous vi permet l'initialisation du module de translation XY ; configuration des vitesses de déplacement, des rampes d'accélération, de l'origine....



nous retourne l'état du module de translation ; «mouvement en cour », « ok »

Après avoir effectué l'initialisation du module de translation celui ci se place à l'origine, c'est à dire en haut à gauche de la pièce et commence le scan en X et Y pour effectuer les différents relevés pour chaque position.

Nous n'avons pas réussi à effectuer l'automatisation complète de cette mesure mais la partie concernant le déplacement XY fonctionne correctement et une partie de l'interfaçage de l'oscilloscope a été réalisée.