



TP2-b

Détection et observation de défauts de soudure

Ultrasons

Table des matières

1. Objectifs :	5
2. Introduction:	5
3. Description de l'équipement :	5
4. Variables et unités utilisées :	7
5. Caractéristiques des sondes :	7
6. Consignes de sécurité :	8
7. Principes de base	8
8. Procédure expérimentale :	14
9. Travail à effectuer :	18

1. Objectifs :

L'objectif de ce TP est d'appréhender les notions d'ultrasons et de soudure. De comprendre en quoi les ultrasons sont utiles pour détecter les défauts de soudure de par leurs caractéristiques, de les observer et de les identifier. Pour cela, vous devez, dans un premier temps effectuer un premier contrôle visuel des pièces. Vous pouvez vous aider de la loupe fournie. Si nécessaire, vous pouvez utiliser la technique de ressuage pour révéler les défauts que vous n'avez pas pu détecter.

2. Introduction :

Les appareils de recherche de défauts à ultrasons sont utilisés dans les applications industrielles depuis plus de 60 ans. Depuis les années 1940, on utilise les mêmes lois fondamentales de la physique qui régissent la propagation des ondes sonores à haute fréquence pour rechercher les défauts cachés, comme les fissures, les vides, la porosité et d'autres discontinuités internes dans les métaux, les composites, les plastiques et les céramiques, ainsi que pour mesurer l'épaisseur des matériaux et en analyser les propriétés.

L'inspection par ultrasons est une méthode sûre et non destructive bien établie dans un grand nombre d'industries de service, de la fabrication et de processus, particulièrement pour les applications d'inspection des soudures et des structures métalliques.

Les ondes sonores à haute fréquence se reflètent de façon prévisible sur les indications cachées, créant ainsi des échos caractéristiques qui peuvent s'afficher sur les écrans des oscilloscopes.

L'inspection par ultrasons peut en principe être effectuée sur n'importe quel matériau industriel standard dans le but d'y trouver des fissures, des vides, de la porosité, des inclusions et d'autres discontinuités dissimulées semblables.

3. Description de l'équipement :

Le détecteur des défauts (PRISMA) utilisé dans ce TP est un appareil de recherche de défaut par ultrasons, simple, polyvalent et évolutif. Il permet de faire des ultrasons conventionnels, des multiéléments et du TOFD au fur et à mesure des besoins en activant les options logiciels correspondantes.



Figure 1 détecteur des défauts (PRISMA)

Il est avant tout un poste US performant grâce à son émetteur puissant, sa large bande passante et de nombreux filtres, mais il dispose en plus de grandes capacités d'imagerie, même en US conventionnels. Il reste simple d'utilisation avec un fonctionnement habituel par menu ou par le suivi des assistants.

L'appareil est équipé par des connecteurs appropriés aux : UT Channel A TX/RX ; UT Channel A RX ; UT Channel B TX/RX ; UT Channel B RX ; et Phased Array (I-PEX)

Pour brancher une sonde "phased array", dévisser le capot de protection et le placer au dos de l'appareil (au-dessus du marquage CE).

Quand aucune sonde "phased array" n'est connecté à l'appareil, le capot de protection doit être remis pour éviter l'entrée d'eau ou de poussières.

Pour les contrôles de type échographie (PE) connecter la sonde sur le connecteur TX/RX, labélisé "T" sur le boîtier. Pour des réglages en émission et réception séparées (PC), utiliser le connecteur TX/RX pour le capteur émetteur et le connecteur RX labélisé "R" pour le traducteur récepteur.

Et également



Figure 2 Nous avons à disposition deux sondes émettrices/réceptrices d'ultrasons :



Figure 3 : Sonde mono élément MAM70-4



Figure 4 : Sonde multi élément X2PE5M16

TP1-b : Détection et observation de défauts de soudure (Ultrasons)

Ces deux sondes sont des capteurs d'angle, les ultrasons sont transmis dans une direction avec un angle donné par le constructeur.

Pour ce TP, nous avons à disposition une grande plaque d'acier et plusieurs petites plaques d'acier présentant différents défauts de soudures

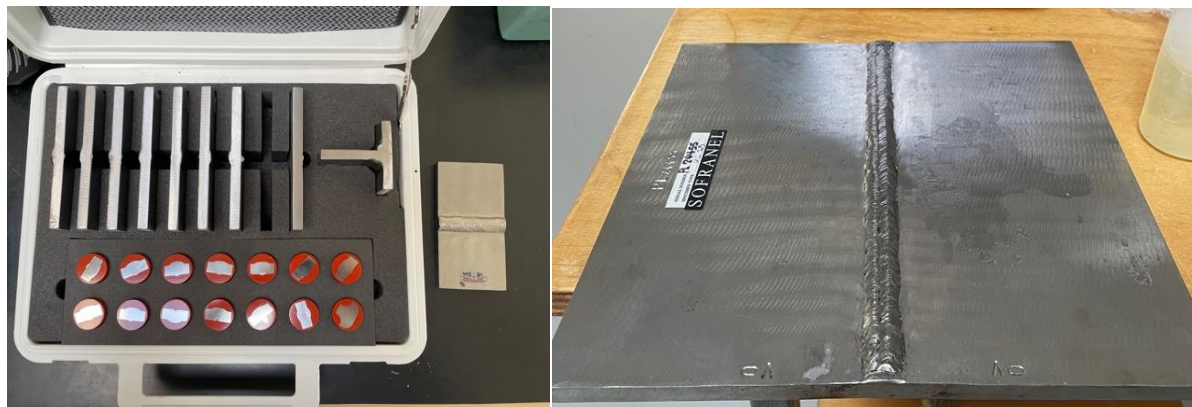


Figure 5 : Plaques d'acier présentant différents défauts de soudure




4. Variables et unités utilisées :

Symbole	Quantité mathématique/physique	Unité
d	Distance	mm
t	Temps	μs
v	Vitesse	mm/ μs
f	Fréquence	MHz

5. Caractéristiques des sondes :

Reference	Nombre d'éléments	Fréquence	Surface active	Épaisseur
MAM70-4	1	4 MHz	8x9 mm	/
X2PE5.0M16E	16	5 MHz	10x10 mm	/
Grande plaque acier	/	/	/	12 mm
Petite plaque acier	/	/	/	10 mm

6. Consignes de sécurité :

	Vous devez manipuler le liquide couplant avec précaution : vous devez protéger les tables et matériels environnant. Vous devez impérativement nettoyer après utilisation tout objet qui a été en contact avec ce couplant (table, paillasse, sol, matériel, ...) afin d'éviter les taches indélébiles.
	Les manipulations doivent être effectuées avec précaution, les équipements sont fragiles et sensibles. De plus, les plaques en acier sont lourdes. Implique des risques liés à la manutention
	Ne pas sauvegarder ses travaux après l'utilisation détecteur. Un fichier est déjà paramétré pour chaque méthode. Il suffit de charger le bon fichier et ensuite le quitter sans sauvegarder les modifications.

7. Principes de base

a. Introduction :

L'appellation Contrôles non destructifs fait naturellement penser au diagnostic que le médecin formule lors de l'examen de son patient. Le même principe appliqué aux pièces mécaniques consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation pour permettre d'apprécier sans destruction, l'état de santé des pièces et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées. Considérée sous cet aspect d'aptitude au bon fonctionnement, la définition suppose une bonne connaissance de tous les phénomènes mis en jeu, en particulier de la nocivité des défauts, de leur évolution dans le temps, des lois générales de la mécanique de la rupture.

Dans la pratique, les spécialistes en Contrôles non destructifs chargés de l'inspection sont davantage confrontés à des problèmes d'interprétation de résultats de contrôles par rapport à des critères établis en liaison avec le concepteur de la pièce. Dans cet esprit, la définition suivante des Contrôles Non Destructifs apparaît plus proche de la réalité industrielle : il s'agit de "qualifier, sans nécessairement quantifier, l'état d'un produit, sans altération de ses caractéristiques par rapport à des normes de recette".

L'exécution de cette tâche nécessite une bonne connaissance des techniques d'investigation mises en œuvre, de leurs limites et surtout, une adéquation parfaite entre le pouvoir de détection de chaque technique et les critères appliqués pour la mise en œuvre.

b. Généralisation du principe aux différentes techniques :

Les techniques de contrôle non destructif les plus couramment employées actuellement peuvent être classées en deux familles principales, étroitement liées à la localisation de l'anomalie sur la pièce en cours d'examen.

La première famille concerne **les méthodes dites de surface** pour lesquelles l'anomalie est localisée en surface extérieure. Elle groupe les procédés Examen visuel ; Ressuage ; Magnétoscopie ; et Courants induits ou courants de Foucault.

La deuxième famille concerne **les méthodes dites volumiques** pour lesquelles l'anomalie est localisée dans le volume de la pièce. Elle regroupe les procédés Ultrasons et Rayonnements ionisants.

Des méthodes complémentaires existent dont le classement en fonction du critère de localisation de l'anomalie n'apparaît pas d'une manière aussi nette que dans les cas précédents. Ces méthodes ont cependant l'avantage d'être globales et en temps réel. Il s'agit en particulier de : - La thermographie ; - L'émission acoustique.

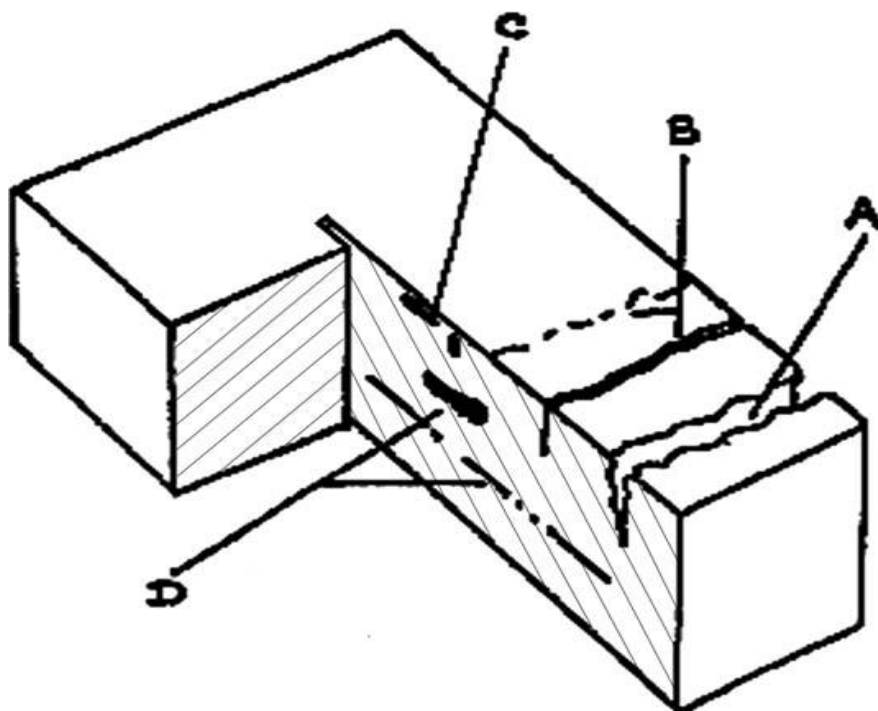


Figure 6 : Application des méthodes de contrôle non destructif, A-Examen visuel ; B- Ressuage, Magnétoscopie et Courants de Foucault ; C- Magnétoscopie et courant de Foucault ; D- Ultrasons et courants de Foucault

Le processus mis en jeu, illustré par la figure 6, se décompose en trois phases essentielles :

- **L'excitation** souvent caractérisée par un rayonnement de nature électromagnétique ou une vibration mécanique et un champ magnétique.
- **La perturbation** est définie dans tous les cas de figure par la pièce et l'anomalie qu'elle contient.
- **La révélation** est assurée soit par l'œil, soit par des systèmes de capteurs traduisant sous forme de signaux électriques la réaction entre l'excitation et la perturbation : il faut noter l'importance de plus en plus grande prise par l'imagerie pour la restitution des informations recueillies par les capteurs.

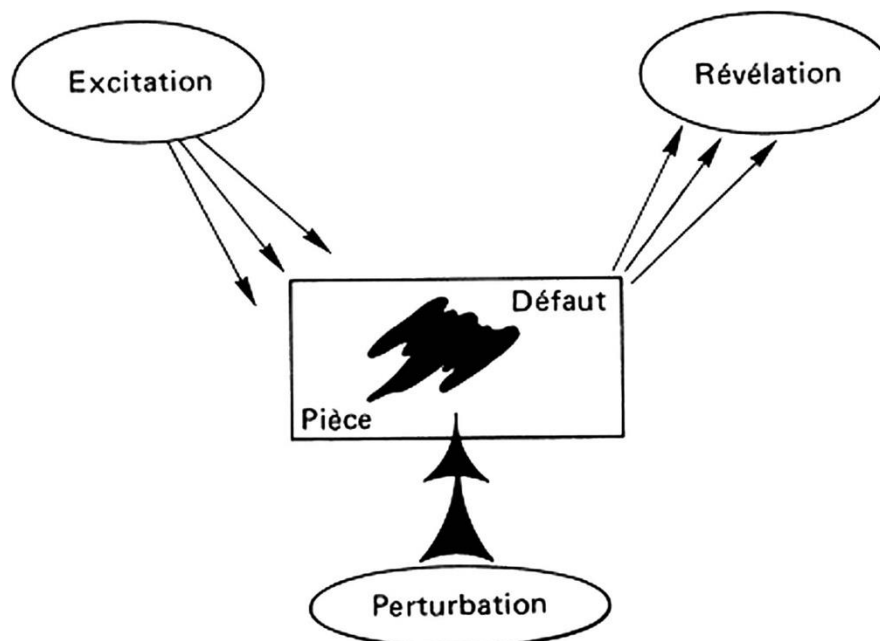


Figure 7 : Ensemble de procédés d'examen de pièces qui permet de s'assurer de l'absence de défauts qui pourraient nuire à leur tenue en service

Le tableau 8 précise de manière simplifiée les deux processus d'excitation et de révélation mis en jeu pour chaque procédé :

PROCÉDÉ	EXCITATION	RÉVÉLATION
Examen visuel	Rayonnement visible Source de lumière blanche ou monochromatique	Œil et aides optiques tels que loupe, binoculaire, microscope, endoscope
Ressuage	Liquide d'imprégnation conjugué à un rayonnement visible ou ultraviolet pour l'observation	Fines particules absorbant le produit d'imprégnation et œil avec aides optiques telles que loupe ou endoscope
Magnétoscopie	Champ magnétique engendré par une onde sinusoïdale basse ou moyenne fréquence	Fines particules magnétiques piégées par le champ perturbé et œil avec aides optiques telles que loupe ou endoscope
Courants induits ou courants de Foucault	Champ magnétique engendré par une onde sinusoïdale basse ou moyenne fréquence	Bobine ou capteur dont l'impédance varie en fonction du champ perturbé et chaîne de mesure
Ultrasons	Vibration mécanique de moyenne fréquence engendrée par un transducteur de type piézoélectrique	Transducteur convertissant l'énergie mécanique perturbée en signal électrique et chaîne de mesure
Rayonnements ionisants	Rayonnement électromagnétique du type γ , α ou neutronique	Film nu, système de conversion directe ou indirecte du rayonnement en signal électrique et œil ou moniteur
Thermographie	Rayonnement électromagnétique du type infrarouge ou source de chaleur	Caméra infrarouge et moniteur ou laque Thermosensible et œil
Émission acoustique	Contrainte mécanique ou bruit	Transducteur convertissant l'énergie mécanique en signal électrique et chaîne de mesure

Tableau 8 : Processus d'excitation et de révélation mis en jeu pour les méthodes des CND.

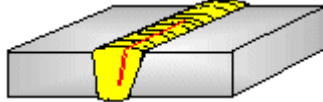
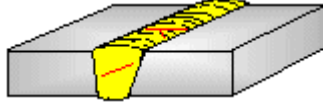


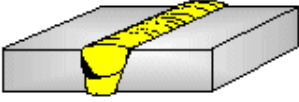





c. Principaux défauts

Les Contrôles Non Destructifs sont utilisés pour inspecter tous les défauts existants ou créés en service dans les pièces des machines. Ceux-ci se répartissent en :

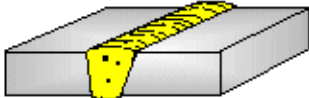
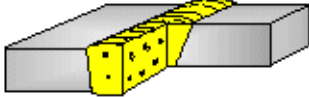















- 1- Défauts externes : comme la corrosion et les fissures.
- 2- Défauts internes : comme les inclusions gazeuses, et les inclusions de laitier, les manques de pénétration, les fissures et la corrosion interne.






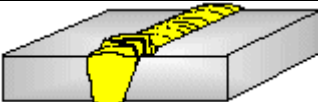
Le tableau IV-2 représente les principaux défauts de soudure selon la classification réalisée conformément à la norme NF EN 26250.

Tableau 9 : Principaux défauts de soudure

Numéro	Désignation	Illustration	Term in English
GROUPE N° 1 – FISSURES			
101	FISSURE LONGITUDINALE		LONGITUDINAL CRACK
102	FISSURE TRANSVERSALE		TRANSVERSE CRACK
103	FISSURES RAYONNANTES		RADIATING CRACK
104	FISSURES DE CRATÈRE		CRATER CRACK
GROUPE N° 2 - INCLUSIONS SOLIDES			
301	INCLUSION DE LAITIER		SLAG INCLUSION
302	INCLUSION DE FLUX		FLUX INCLUSION
303	INCLUSION D'OXYDE		OXIDES INCLUSION
304	INCLUSION MÉTALLIQUE		METALLIC INCLUSION
GROUPE N° 3 - MANQUE DE FUSION			
4011	MANQUE DE FUSION DES BORDS ou COLLAGE		LACK OF FUSION
4012	MANQUE DE FUSION ENTRE PASSES		LACK OF FUSION

TPI-b : Détection et observation de défauts de soudure (Ultrasons)

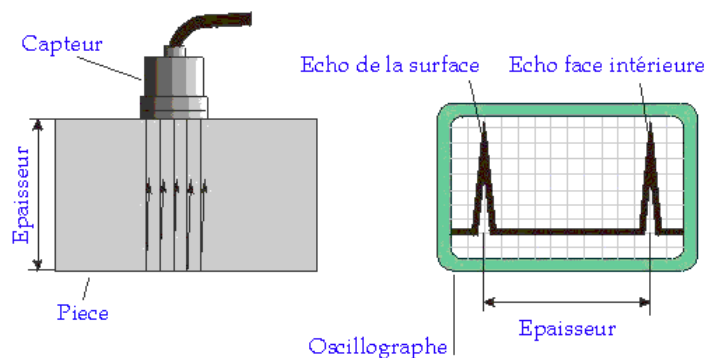
Numéro	Désignation	Illustration	Term in English
GROUPE N° 4 - CAVITÉS			
2011	SOUFFLURE SPHÉROÏDALE		GAS PORE
2012	SOUFFLURES UNIFORMÉMENT RÉPARTIES		UNIFORMLY DISTRIBUTED POROSITY
2013	NID DE SOUFFLURES		CLUSTERED POROSITY
2014	SOUFFLURES ALIGNÉES		LINEAR POROSITY
2015	SOUFFLURES ALLONGÉES		ELONGATED POROSITY
2016	SOUFFLURE VERMICULAIRE		WORM HOLE
2017	PIQÛRE		SURFACE PORE
2021	RETASSURE INTERDENDRITIQUE		INTERDENDRITIC SHRINKAGE
2024	RETASSURE DE CRATÈRE		CRATERE PIPE
GROUPE N° 5 - DÉFAUTS DE FORME			
5011	CANIVEAU		UNDERCUT
5012	MORSURE		UNDERCUT
5013	CANIVEAU À LA RACINE		SHRINKAGE GROOVE
502	SURÉPAISSEUR EXCESSIVE		EXCES WELD METAL
504	EXCÈS DE PÉNÉTRATION		EXCESSIVE PENETRATION
5041	GOUTTE OU EXCÈS LOCAL DE PÉNÉTRATION		EXCESSIVE PENETRATION
506	DÉBORDEMENT		OVERLAP
507	DÉFAUT D'ALIGNEMENT		LINEAR MISALIGNMENT

Numéro	Désignation	Illustration	Term in English
508	DÉFORMATION ANGULAIRE		ANGULAR MISALIGNMENT
509	EFFONDREMENT		SAGGING
511	MANQUE D'ÉPAISSEUR		INCOMPLETE FILLED GROOVE
515	RETAISSURE À LA RACINE		ROOT CONVEXITY
516	ROCHAGE		POROSITY DUE TO CARBONE MONOXIDE
517	MAUVAISE REPRISE		POOR RESTART

d. Ultrasons

L'examen aux ultrasons utilise les ondes sonores. Le son se déplace en ligne droite dans un métal. Lors du passage entre deux matériaux, les ondes sonores sont réfléchies. Cette propriété est utilisée pour détecter des défauts dans les matériaux. Les ultrasons sont utilisés à une fréquence comprise entre 0,5 et 20 MHz.

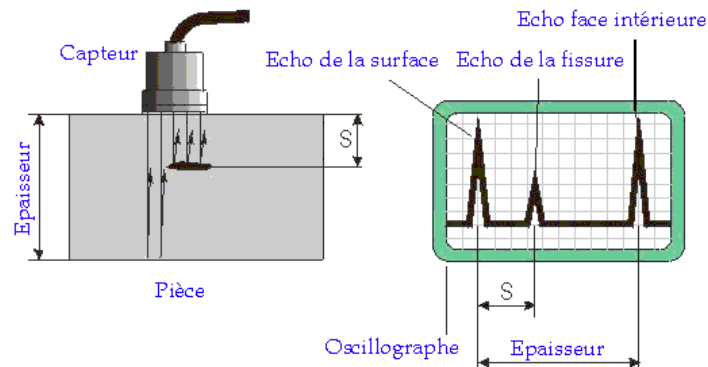
Un capteur est placé sur la surface de la pièce à contrôler. Il contient un cristal émetteur d'ultrasons et un cristal récepteur d'ultrasons. Les signaux reçus par le capteur sont visualisés sur un petit écran grâce à un oscillographe.



A gauche, apparaît l'écho de la surface, plus à droite celui de la face intérieure de la pièce. La distance entre les deux échos indique l'épaisseur de la pièce.

Si une pièce présente des irrégularités, les ultrasons venant du capteur ne peuvent plus atteindre la face inférieure de la pièce sans être brouillés, et être réfléchis. Une fissure ou une inclusion dans la pièce formera un écho supplémentaire (pointe) sur l'oscillographe. Une petite fissure ou inclusion ne réfléchit qu'une partie des ultrasons et sera visible sous la forme d'une petite pointe. Plus l'inégalité est grande, plus la pointe l'est également. L'emplacement de la pointe à l'écran indique où se trouve la fissure dans le matériau, comme l'illustre la figure ci-dessous.

La fissure est plus près de la face supérieure de la pièce. Car à l'écran, on voit que l'écho de la fissure est plus près de l'écho de la surface.



Avantages de la méthode

- La méthode permet la détection des défauts localisés dans le volume de la pièce et présente une grande sensibilité, notamment pour la recherche de défauts plans ;
- Elle peut être utilisée indifféremment sur chantier ou en atelier ;
- Les différentes séquences de la mise en œuvre se prêtent bien à l'automatisation.

Inconvénients de la méthode

- 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 ultrasonique ;
- Il est nécessaire d'interposer un milieu de couplage intermédiaire entre le transducteur 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.

8. Procédure expérimentale :

Vous trouverez ci-dessous des descriptions de certaines des expériences qui peuvent être réalisées. Elles ne représentent qu'une petite partie des expériences possibles avec l'appareil et devraient donner des idées pour d'autres expériences.

a. Étalonnage et configuration de la sonde mono-élément

Le but de cette expérience est d'étalonner notre matériel afin d'obtenir des résultats les plus précis possible.

-L'étalonnage de la vitesse de propagation et du zéro doit être effectué chaque fois que le matériau inspecté ou que la sonde utilisée change.

-En effet, plusieurs facteurs modifient la vitesse de propagation des ondes notamment le type de matériau, sa densité, l'élasticité et la composition du matériau, la microstructure et la température.

-On effectue le « zéro » pour prendre en compte le temps passé par les ultrasons entre le moment où ils sont émis et le moment où ils pénètrent dans la pièce à inspecter. Ce retard dépend de plusieurs facteurs notamment le retard du sabot, le temps requis par ultrasons pour quitter la sonde, les délais de commutation électronique, de câbles et de couplant. Le décalage zéro doit être déterminé et ensuite compensé dans le temps total.

-Le bloc de calibrage (ou la cale étalon) est un élément important dans l'essai ultrasonique, employé pour calibrer l'appareil à ultrasons en déterminant la vitesse et le retard.


-Cela permet ensuite de déterminer l'épaisseur de la pièce ou la localisation des défauts de la pièce inspectée avec une précision au millimètre près.

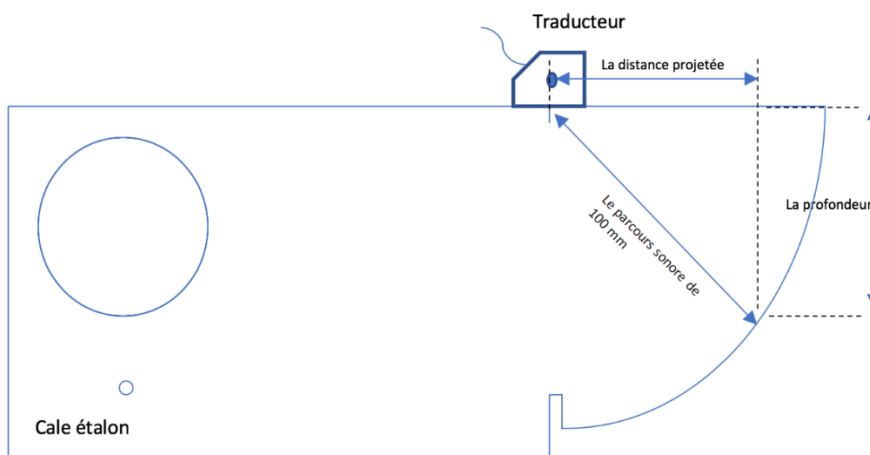
Matériel :

- Sonde mono-élément avec un angle de 70° (MAM-70-4)
- Appareil ultrasons PRISMA (ultrasons conventionnels, TOFD et multiéléments)
- Bloc d'étalonnage / cale étalon V1 de dimension (30x10x2,5cm)
- Couplant

Mode Opérateur :



1. Brancher la sonde mono-élément au port d'appareil Prisma qui se situe sur la partie droite haut de l'appareil (il faut une photo).
2. Afin d'effectuer la calibration de notre instrument de mesure, choisir le nom du programme **MAM70-4- Petite Plaque Soudée.**
3. Ensuite, Dans l'onglet <<pièce>> vérifier que les valeurs entrées dans le programme sont cohérentes avec celles de notre pièce.
 - La plaque est en acier
 - La dimension de la plaque : l'épaisseur de 10 mm
 - La vitesse de propagation des ondes ultrasons dans l'acier :
 - L'onde longitudinale (OL) de 5890 mm/μs
 - L'onde transversale (OT) de 3201 mm/μs (cette valeur n'a pas d'importance pour le moment car c'est celle-ci que nous allons calibrer par la suite)
 - La géométrie de la soudure :
 - Soudure en simple V
 - La zone affectée thermiquement (ZAT) de 5mm
 - Intervalle en racine de 7mm
 - Haut gauche largeur de 9 mm
 - Haut gauche angle de 30°
4. Ensuite aller dans l'onglet « balayage » puis vérifier que la plage parcourt sonore est de 250mm (remarque : le rayon de la partie arrondie de la cale étalon est de R=100 mm, mais il faut entrer 2.5R de façon à s'assurer que deux pics de réflexion vont s'afficher correctement).

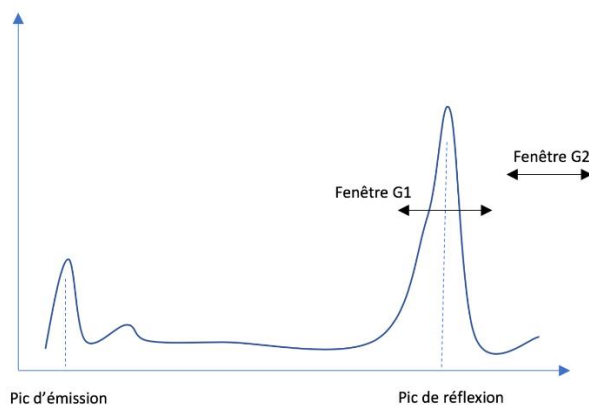
5. A partir de l'onglet « balayage », appuyer sur le bouton <<play>>  .
6. Mettre un peu de couplant sur la partie supérieure de la cale étalon. Une grosse quantité de gel va compliquer la détection.
7. Déplacer la sonde afin de trouver le pic maximum qui correspond à l'écho de la partie arrondie de la cale étalon. (Régler le gain afin de bien visualiser le pic max à l'aide d'un bouton <<db>> puis les flèches vers le haut ou le bas puis valider par « OK »).
8. Remarque : le centre de la sonde qui est aussi appelé le zéro de la sonde se situe au niveau de la graduation 12 sur la sonde.



Placer la fenêtre de G2 sur le deuxième pic de réflexion puis placer la fenêtre de G1 sur le premier pic de réflexion

9. En gardant la position de la sonde au niveau du pic maximum :

- Appuyer sur le bouton 
- Sur l'affichage de A-scan, déplacer la fenêtre G2 le deuxième pic de réflexion à l'aide des flèches de direction, puis appuyer sur OK pour valider.
- Appuyer sur le bouton 
- Sur l'affichage de A-scan, déplacer la fenêtre G1 sur le premier pic de réflexion à l'aide des flèches de direction, puis appuyer sur OK pour valider



10. Réglage de la vitesse des ultrasons et le zéro :

- Appuyer sur le « menu » puis des flèches droite et gauche, pour aller dans l'option « Étalonner ».
- Assistant vitesse et zéro : Répondez « oui » au message qui apparaît.
- Type : Rayon
- Ensuite Appuyer sur le bouton « F3 ».
- Confirmer la position des pics en appuyant sur « F3 » :
 - Rayon 1 : 100 mm (1^{er} aller-retour)
 - Rayon 2 : 200 mm (2^{ème} aller-retour)

Remarque : Les ondes d'ultrasons sortent de la sonde avec un angle de 70°, parcourent la pièce et sont ensuite réfléchies par la partie arrondie.


- Déplacer la sonde afin de trouver l'intensité maximum sur le premier pic.
- Régler le gain à l'aide d'un bouton « DB » pour avoir l'intensité maximum du premier pic à 80% puis confirmez par le bouton « OK » et « F3 ».
- Dans le réflecteur 1, déplacer un peu la sonde afin de trouver l'intensité maximum sur le premier pic puis régler le gain à 80% puis ok et F3.
- Dans le réflecteur G2, déplacer un peu la sonde afin de trouver l'intensité maximum sur le deuxième pic. En gardant la position de la sonde, placer la fenêtre G2 sur le deuxième pic et modifier le gain pour avoir le second pic à 80%.
(Remarque : il est normal que l'intensité du premier pic soit modifiée lorsque vous jouez avec le gain pour avoir intensité de 80% sur le deuxième pic).
- Appuyer le bouton « F3 » pour accepter la nouvelle vitesse de propagation et le zéro en appuyant sur le bouton « OK ».




11. Sur la même fenêtre, déplacer la sonde afin de trouver la position du pic maximum sur la partie arrondie de la cale étalon. Réglez le gain afin de bien visualiser les pics sur l'affichage A-scan.

b. Détection des défauts sur les petites plaques

Dans cette partie, vous allez localiser les défauts sur des plaques d'acier numérotée grâce à la sonde mono-éléments. Le but de cette partie est de trouver et dimensionner les défauts que vous n'avez pas pu trouver à l'aide de la méthode de ressuage, vous allez donc choisir le programme **MAM70-4- Petite Plaque Soudée**.

1. Appuyer sur le « menu » puis des flèches droite et gauche, pour aller dans l'onglet <<pièce>>, que les valeurs entrées dans le programme sont cohérentes avec celles de notre pièce.
 - La plaque est en acier
 - La dimension de la plaque : l'épaisseur de 10 mm
 - La vitesse de propagation des ondes ultrasons dans l'acier :
 - L'onde longitudinale (OL) de 5890 mm/μs
 - L'onde transversale (OT) de la nouvelle valeur de vitesse obtenue par l'étalonnage fait selon la procédure a.
 - La géométrie de la soudure :

- Soudure en simple V
 - La zone affectée thermiquement (ZAT) de 5mm
 - Intervalle en racine de 7mm
 - Haut gauche largeur de 9 mm
 - Haut gauche angle de 30°
2. Ensuite aller dans l'onglet « balayage » puis vérifier que la plage parcourt sonore est de 100 mm .
 3. Appuyer sur le bouton <<play>> .
 4. Faire déplacer la sonde afin de trouver des pics éventuels qui peuvent être des indications des défauts.
 5. Placer la fenêtre de G1 et G2 sur les pics afin de déterminer la localisation de défaut
 6. Les indications sur le A-scan sont représentées par :

	La distance projetée
	Le parcours sonore
	La profondeur

9. Travail à effectuer :

Pour chaque échantillon fourni,

1. Vous utiliserez la méthode d'ultrason pour l'étude des défauts internes. Pour ce faire, vous suivrez le protocole décrit dans la partie 8.
2. Une fois les défauts détectés, vous les dessinerez sur une feuille à papier.
3. A partir de vos observations, de la partie théorique introductive du TP et des différents documents issus des « Techniques de l'Ingénieur » ainsi que la Norme Européenne NF EN ISO 6520-1 (accessibles via l'intranet de Polytech) vous identifierez les défauts révélés.