

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ SAAD DARLAB DE BLIDA  
Institut d'aéronautique

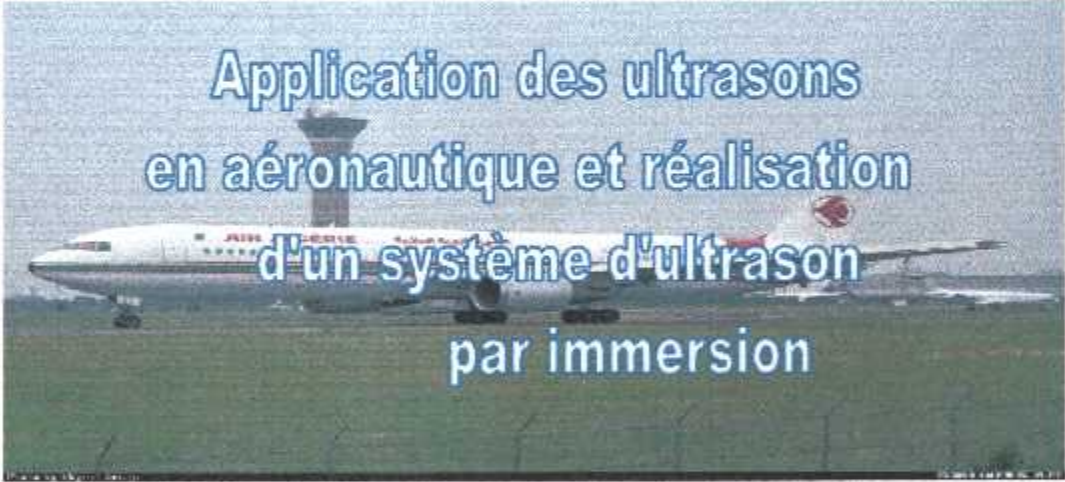


## Projet de fin d'études

En vue de l'obtention d'un Diplôme des Études Universitaire Appliquée (DEUA)  
en aéronautique

Option : propulsion

### Thème



Application des ultrasons  
en aéronautique et réalisation  
d'un système d'ultrason  
par immersion

Présenté par :

Oucheber redhouane  
Ghazali ahmed

promoteur :

Abada omar

*promotion 2002\*2003*

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le bon dieu de tout puissant de nous avoir attribué la faveur de réussir nos études.

Nous tenons à remercier M<sup>r</sup> Abada Oman pour son constant suivi, son aide et ces précieux conseils, qui nous ont beaucoup aidé à ce modeste travail.

Nous remercions également tous qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation, spécialement M<sup>r</sup> Abdelhamide et M<sup>r</sup> Bouzekrine Et son oncle M<sup>r</sup> daouajdi Et tout les technicien d'air algérie.

Mes remerciements s'adressent à l'ensemble des enseignants de l'institut d'aéronautique et aux membres de jury qui nous font l'honneur de bien jury ce travail.

Ahmed Redouane



# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à celle qui s'inquiète  
Toujours pour moi, et qui m'a élevé, veille sur moi,  
Aimé, et entouré d'affection et de tendresse,  
et qui m'a Soutenu pendant mes années d'études,  
mes très Chères Mères*

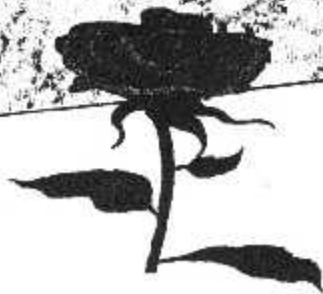
*Djabare Sakina, fatima, et nadjet*

*A celui qui est mon fondateur par son exemple  
D'éducation, et l'un des pionniers de la libération  
Nationale, qui est toujours présent à mes côtés  
en Toutes circonstances, mon chère père  
Ghazali foughlou*

*A mes chères frères et sœurs samira, Mohamed, zaki,  
Abedelbasset,  
zoubida, marouane, Aëssame, dalila, soulafé.*

*A ma grande famille  
Ghazali de Mdsaher*

*A tous mes amis, soit de Oran ou de Blida.*



# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui s'inquiète toujours pour moi, et qui m'a élevé, veillé sur moi, aimé entouré d'affection et de tendresse, et qui m'a soutenu durant mes années d'études ma très chère Mère et ma grande mère.

A mes chères frères et sœurs : Yousef, Karim, Hichem, Fethia, Nesserddine, son oubliés djamila et sihem et tout la famille de oucheber et chinoun

Je le dédie également à tous mes amis Spécialement : Mohamed, Abdelkader, Fethi, Toufik, Soufiane, Abdelghani, Zouhira, Samir, Abdelhalim, Rafik, Hamed, Ahssin, Abdel moumen, Redha, son oubliés Yousef Et Hakime.

Je le dédie à tous mes collègues de l'université Spécialement : Hassin, Abdelsamie, Rafik, Merouane, Saïd, Hichem, Nasser, nabile, Adlane, Ahmed, Rabeh, Fouzi, Sid Ali, yassin, Fethia, Lila, Idrine, Yasmine, Fatima, Hayat, Monira, Meriem, Nabila, Naima, Amel à tous le groupe "aéro" de la promotion 2003



Redhouane

# Sommaire

## Introduction

### Chapitre: I

#### Description des méthode de contrôle non destructif

I-1 : Introduction.....	1
I-2 : champ d'application on actuel.....	1
I-3 tendances et évolution.....	2
I-4 : principe de détection des défaut.....	3
I-4-1 : définition de l'hétérogénéités et défauts.....	3
I-4-2 : déferant défauts lors d'élaboration des pièces.....	4
I-4-3 : type de discontinutés physiques lors d'élaboration des pièces.....	7
I-4-4 : défaut de transformation et de fabrication.....	10
I-4-5 : défaut dus aux soudures.....	11
I-4-6 : défaut de traitement thermique.....	15
• Défaut de services	
• Défaut dus corrosion	
• Défaut dus à la température	
I-5 : procedure de contrôle non destructif.....	16
I-5-1 : prinsipe de détection d'un défaut.....	16
I-5-2 : classement et performances des procédés de contrôle non destructif	17
I-6 : principe méthode de contrôle non destructif.....	18
I-6-1 ;ressuage(FPI).....	18
I-6-2: manetoxopée .....	20
I-6-3:le caurant de faucault.....	22
I-6-4 : control par la méthode de l'utrason.....	23
I-6-5 : la radiographic.....	25

### Chapitre: II

#### Description de l'utilisation et son application en aéronautique

II-1 : Introduction.....	30
II-2 : principe de contrôle par ultrason.....	30
Rappel théorique de l'ultrason.....	32
• Définition .....	32
• Propriété générale des ondes.....	32
• Phénomène ondulatoire.....	32
• Vitesse de propagation.....	33
• Propagation des ondes élastique.....	36
• Transmission et réflexion des ondes .....	36
• Obsorption.....	40
• Défusion.....	40

• Propagation dirigée des ultrasons.....	41
II.5 Les transducteur ultrasonores el leur conception .....	43
II-5-1 : piézo-électricité et matériau piézoélectrique .....	43
II-5-2 : génération et détection des ondes élastique.....	46
II-5-2.1 : transducteur pour onde de volume.....	46
II-5-2.2 : transducteur pour onde de surface.....	47
II-5-3 : type des transducteurs.....	48
II-5-3-1 : transducteurs droits ou normaux.....	48
II-5-3-2 : transducteurs doubles.....	49
II-5-3-3 : transducteurs irrigués.....	50
II-5-3-4 : transducteurs d'angle (à onde de cisaillement).....	51
II-6- technique de control par ultrason.....	52
II-6-1 : technique de contrôle par contact .....	52
II-6-2 : technique de contrôle par immersion.....	53
II-7 : structure d'un appareil a ultrason.....	54
II-8 application des ultrason en aéronautique .....	56

### Chapitre :III

III-1 :Introduction.....	79
III-2 :description générale sur la fabrication mécanique.....	79
III-2-1 : la phase de moulage des pièces mécanique.....	79
III-2-2 : la phase d'usinage des pièces .....	80
III -2-2.1 : technique de fraisage.....	80
III -2-2.2 Les machines d'outils de fraisage.....	81
III -2-2.3 : technique de tournage.....	82
III -2-2.4 : les machines de tours.....	82
III -2-2.5 : technique de perçage.....	83
III -2-2.6 : les machines de perçage.....	83
III -2-2.7 technique d'alésage.....	84
III-3- description de l'appareil ultrason par immersion.....	84
III-3-1 : fabrication des pièces constant l'appareil a ultrason par immersion... ..	87
III-4 : réalisation de support de palpeur.....	91
III-4 -1: la phase de moulage.....	91
III-4 -1 : la phase d'usinage.....	93
III-4 -3 : les machines utilises dans la réalisation.....	94
III-4 -4 :description de l'étrape d'usinage.....	97
III-6 la position le palpeur dans le système.....	100
III-7 : les amélioration au niveau de l'appareil a ultrason par immersion.....	100
III-7-1 :le système vis-écrou (manivelle).....	101
III-7-2- le système des roulements.....	104
III-7-3- le bassin.....	106
III-8- le fonctionnement de notre appareil réalisé.....	108
III-9- conclusion.....	108

## Chapitre VI :

IV :Études comparative entre les techniques d'ultrason.....	109
IV -1 :l'utilisation d'un appareil a ultrason.....	109
IV-2 :description sur l'emploi l'entretien des palpeurs.....	110
IV-3 : condition de contrôle.....	111
IV-3-1 : plant de sondage.....	111
IV-4-1 : les instruments du contrôle.....	112
IV-4-2 : préparation lors d'un contrôle.....	113
IV-5 : manipulation.....	115
IV-5-1 :application des techniques de contrôle par ultrason pour la détection des différent type de défaut.....	115
IV-5-1-1 : mesures le dimension d'un rainure.....	116
IV-5-1-2 : mesure les dimension d'un trou.....	125
IV-5-1-3 : mesure les dimension d'un plan interne.....	132

## Conclusion

# Introduction

Pourvoir contrôler une pièce mécanique sans l'abîmer est devenue aujourd'hui une réalité, et ça faisant appel à des procédés désormais bien connus tel que la magnétoscopie, ressuage, ultrason et le courant de Foucault, ces méthodes permettent de former un avis sur l'aptitude des pièces à laquelle elles sont destinées.

L'évolution de la technique de pointe en construction industrielle, et dans le secteur médical a fait apparaître de nouvelles contraintes de sécurité, et de qualité en ce qui concerne la détection des défauts, et la mal formation de surface. Il a fallu créer et améliorer des méthodes plus performantes.

Dans l'histoire de l'aviation, la technique n'était pas améliorée. Mais aujourd'hui, la détection des dégâts structurels et des défauts avant qu'ils se détériorent à de très dangereuses proportions, et une nécessiter pour assurer les intégrations structurelles de toutes appareils.

Dans le domaine aéronautique, le contrôle non destructif a un grand intérêt, car la maintenance des aéronefs exige des vérifications successives très détaillées de l'état de la cellule, et de tous les systèmes constitutifs tels que : Système de pression. Système de carburant, système pneumatique ect..., pour accomplir la mission.

La radiographie, et l'ultrason sont utilisés pour la recherche des défauts internes. Le critère de choix entre ces deux méthodes réside dans l'accessibilité des pièces ; si cette dernière à deux faces accessibles, la radiographie est utilisable. Si une seule face est accessible, seul les ultrasons sont utilisables. Tandis que pour les défauts de surface, les méthodes utilisées sont nombreuses (courant de Foucault, magnétoscopie, ressuage ...), car la situation est moins claire, puisque la définition même de défaut dépend de l'usage du produit.

Notre étude est basée sur les ultrasons et leurs techniques de contrôle et la réalisation d'un appareil d'inspection d'ultrason par immersion, et l'étude comparative entre les deux techniques d'ultrason. Pour cela on a élaboré quatre chapitres :

Une description générale des méthodes de contrôle non destructif du premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre nous passerons à la description de la méthode d'ultrason, et son application en aéronautique.

Le troisième chapitre traite la réalisation d'un appareil d'ultrason par immersion.

Le quatrième comporte une étude comparative entre les techniques de contrôle par contact, et la par immersion. Et à la fin une conclusion générale.



# CHAPITRE I

Description des méthodes  
de contrôle non destructif

## DESCRIPTION DES METHODES DE CONTROLE NON DESTRUCTIF

### I-1- INTRODUCTION :

Comme l'instrumentation scientifique, le contrôle non destructif (CND) constitue un champ d'application privilégié des découvertes de la physique. Ainsi l'histoire des essais non destructifs (END) commence avec celle de la physique moderne à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par exemple la Découverte des rayons X, des courants de Foucault, de la piézoélectricité, etc.

Ce n'est toutefois qu'à partir de la seconde guerre mondiale que les techniques du CND ont pris leur essor dans l'industrie, en particulier dans la métallurgie en outre Contrôle des aciers et la radiographie des soudures. Une vigoureuse accélération du progrès et du développement des END s'est manifestée ensuite vers les années 60 à 70 avec le développement rapide des secteurs très demandeurs tels que le génie des centrales électriques nucléaires, l'aéronautique civile, les gazoducs, oléoducs et plates-formes offshore.

La dernière décennie enfin voit l'émergence des techniques de CND qui ne pouvaient pas être mises en œuvre sans l'apport d'une électronique intégrée et d'une informatique puissante. On assiste ainsi au développement rapide des contrôles entièrement automatiques et à l'essor des techniques gourmandes en traitement informatique, comme les contrôles optiques.

### I-2- Champ d'application actuel :

À travers son objectif, on aura compris que le contrôle non destructif est essentiel pour la bonne marche des industries qui fabriquent ou ils utilisent les matériaux, les produits et les structures de toutes natures. À l'heure où la qualité est devenue un impératif difficilement contournable, le champ d'application des CND ne cesse de s'étendre au-delà de son domaine d'emploi traditionnel constitué par les industries métallurgiques et les activités où la sécurité est primordiale, telles que le nucléaire et l'aéronautique.

Après le contrôle des biens d'équipements, vient celui des biens de consommation. La nature des défauts que l'on cherche à détecter se diversifie du même coup par exemple la recherche des défauts technologiques ponctuels graves, comme ceux inhérents à la fabrication et à l'utilisation des métaux (fissure de fatigue), mais aussi désormais des défauts d'aspect (tâche sur une surface propre) et des corps étrangers nuisibles (éclats de verre dans un emballage alimentaire).

On peut, par ailleurs, considéré que le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut-être effectué à trois stades différents de sa vie, conduisant à trois types d'applications se différenciant à la fois par le contexte industriel et par la nature du contrôle lui-même qui sont :

a/ Le contrôle en cours de fabrication: procède de la philosophie de l'instrumentation industrielle en tant qu'outil de contrôle d'un procédé souvent automatisé et impliquant alors un appareillage installé à demeure en ligne de fabrication présentant une grande robustesse, une réaction rapide, un coût d'exploitation faible et, malgré tout, une bonne fiabilité. Les défauts recherchés sont ici généralement bien identifiés, le fonctionnement est automatique aboutissant à un repérage ou un tri des produits défectueux. Quand le détecteur de défauts ne peut pas être installé en ligne de fabrication, on utilise dans l'industrie des bancs de contrôle correspondant bien souvent à des équipements importants en taille et en coût investissements.

b/ Le contrôle en recette d'un lot de pièces, d'une installation, d'un ouvrage au moment de la livraison procède d'une philosophie de respect de conformité à des spécifications de qualité définies auparavant. Si l'aspect coût et productivité peuvent avoir encore une certaine importance à ce stade de contrôle, c'est surtout l'aspect procédure de la démarche qui devient primordial, qu'il s'agisse du choix du procédé, du choix des paramètres de réglage, de l'étalonnage, de la présentation et l'archivage des résultats obtenus. A ce stade, il s'agit de détecter des défauts mais aussi bien souvent d'en définir la nature et les dimensions.

c/ Le contrôle en service s'effectue sur des pièces ou structures lors d'opérations de maintenance ou à la suite de détection d'anomalies de comportement du matériel. On attend une très grande fiabilité, eu égard importance des risques encourus par la non détection d'un défaut grave. Pour ce type de contrôle, il convient de pouvoir estimer le mieux possible la nature et les dimensions des défauts pour pouvoir en apprécier la nocivité. Il faut disposer aussi d'une grande reproductibilité de l'examen non destructif, de façon à pouvoir suivre l'évolution du dommage au cours du temps.

### **1-3-Tendances et évolution :**

Globalement, en tant qu'outil majeur de la politique qualité entreprise, les techniques de CND continueront à élargir leur champ d'application vers de nouveaux secteurs d'activité économique. On constate aussi que l'objectif du contrôle non destructif évolue en rapprochant ce domaine de celui de l'instrumentation.

Il ne suffit plus aujourd'hui de détecter un défaut, il faut aussi le caractériser et le dimensionner. Il faut imaginer des techniques et procédés non destructives aptes à mettre en évidence des hétérogénéités physiques complexes en des irrégularités de propriétés telles que, par exemple, des variations de microstructure dans un métal, des variations de texture ou de rugosité sur surface et des variations de propriétés électromagnétiques sur une bande.

Ces objectifs sont souvent difficiles à atteindre, car les lois de la physique sont ce qu'elles sont et ainsi, dans ce domaine, les progrès sont va pas de même pour l'automatisation des CND qui bénéficie pleinement des progrès de l'informatique ; il en résulte l'arrivée sur le marché, d'année en année, d'appareillage plus performants, plus fiables et surtout plus facile à utiliser dans le cadre de respect de procédures de contrôle très strictes.

L'évolution des CND doit prendre toutefois en compte le coût, ce dernier pouvant freiner l'essor de nouvelles techniques très performantes, comme c'est le cas actuellement pour la tomographie X.

#### **I-4- Principe de détection des défauts :**

##### **I-4-1- Définition de l'hétérogénéités et défauts :**

Le terme défaut est ambigu, relatif est peu précis, mais sa connotation négative évoque bien le rôle que joue le contrôle non destructif dans la recherche de la qualité. En fait, détecter un défaut dans une pièce, c'est physiquement, mettre en évidence une hétérogénéité de matière, une variation locale de propriété physique ou chimique préjudiciable au bon emploi de celle-ci. Cela dit, on a l'habitude de classer les défauts en deux grandes catégories liées à leur emplacement : Les défauts de surfaces les défauts internes.

- Les défauts de surface, accessibles à l'observation directe mais pas toujours visible à l'œil nu, peut se classer en deux catégories distinctes : -les défauts ponctuels et les défauts d'aspect.

La première catégorie (**Défauts ponctuels**) correspond aux défauts les plus nocifs sur le plan technologique, puisqu'il s'agit des criques, piqûres, fissures, craquelures, généralement aptes à provoquer à terme la rupture de la pièce, en initiant par exemple des fissures de fatigue.

Dans les pièces métalliques, l'épaisseur de ses fissures est souvent infime (Quelques  $\mu\text{m}$ ) et elles peuvent être nocives dès que leur profondeur dépasse quelques dixièmes de millimètre, ce qui implique l'emploi pour leur détection de méthodes non destructives sensibles, tels que le ressuage, la magnétoscopie, les courants de Foucault et les ultrasons.

La seconde catégorie correspond aux défauts d'aspect, c'est-à-dire à des plages dans lesquelles une variation de paramètres géométriques ou physiques (Rugosité, surépaisseur, taches diverses) attire le regard et rend le produit inutilisable. Ici, le contrôle visuel est possible, mais en cherche à le remplacer par des contrôles optiques automatiques.

- Les défauts internes sont des hétérogénéités de natures, de formes, de dimensions extrêmement variées, localisées dans le volume du corps à contrôler. Leur nomenclature est très étoffée et spécifique à chaque branche d'activité technologique et industrielle. Dans les industries des métaux, il s'agira de criques internes, de porosités, de soufflures, l'inclusions diverses susceptibles d'affecter la santé des pièces moulées, forgées, laminées et soudées. Dans d'autres cas, il s'agira simplement de la présence d'un corps étranger au sein d'une enceinte ou d'un produit emballé. Ici le contrôle visuel est généralement exclu d'office et l'on utilisera donc l'un ou l'autre des grands procédés du CND que sont la radiographie, le sondage ultrasonore, ou encore des techniques mieux adaptées à certains cas comme l'émission acoustique, l'holographie, l'imagerie infrarouge et la neutronographie.

#### **I-4-2- Différents défauts lors d'élaboration des pièces**

La plupart des métaux sont élaborés et mis en forme par des opérations de fonte et de coulée. La pièce coulée sera, soit lingot de forme simple qui sera par la suite laminé, forgé, extrudé, ou mise en forme par d'autres opérations, soit elle peut avoir une forme proche de sa forme d'utilisation et sera simplement nettoyée et usinée si cela est nécessaire.

Au cours des opérations de coulée peuvent apparaître un certain nombre de défauts, parmi ces défauts nous trouverons principalement des défauts d'inhomogénéité tels que les ségrégations mineures ou majeures qui sont les variations de la composition chimique du matériau coulé à l'échelle de grain du métal ou l'échelle de lingot (figure I.1).

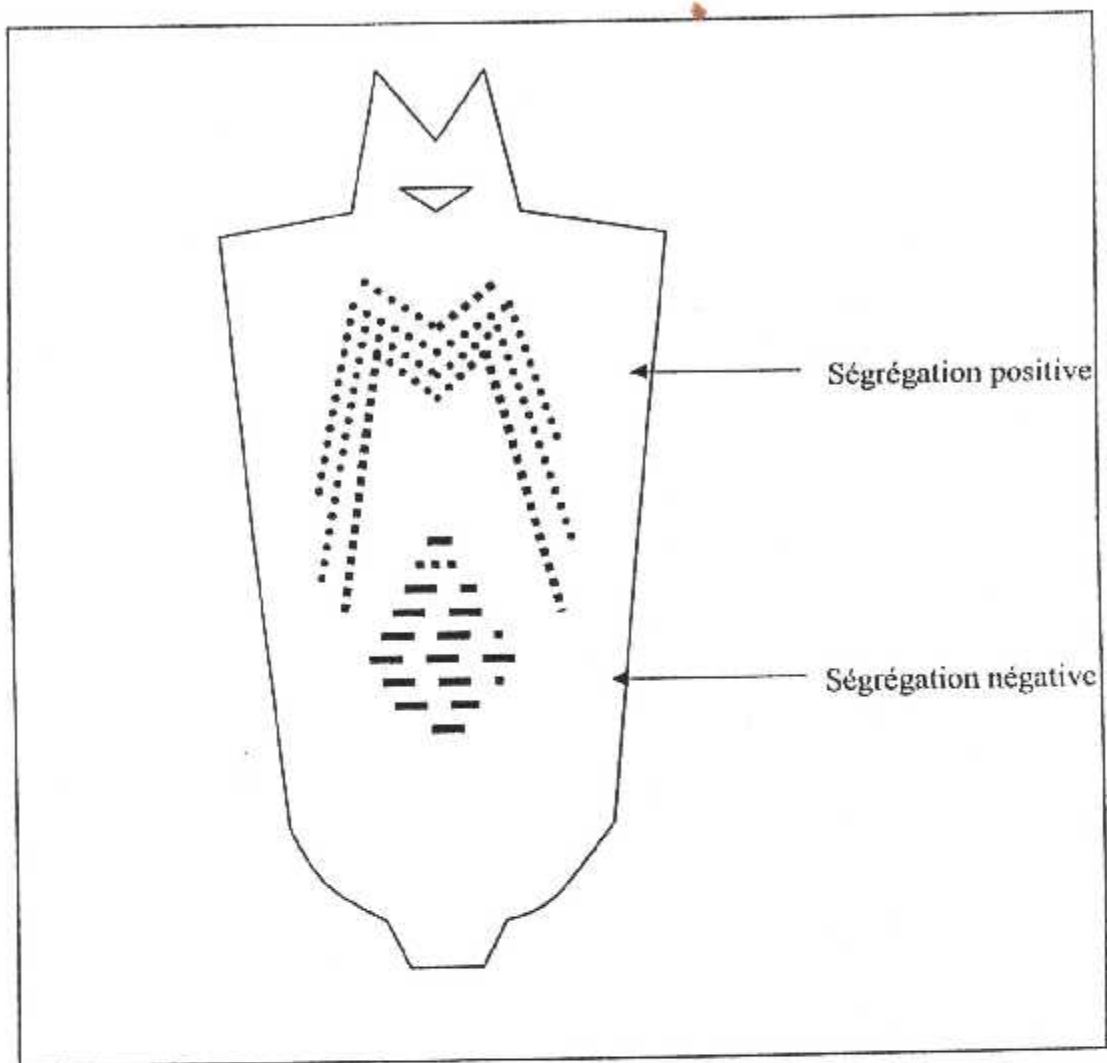


Fig. (1.1) Ségrégation positif et négatif dans un lingot d'acier calme

➤ **Ségrégation majeure :**

Ségrégation majeure se produit à l'échelle de la pièce. Le centre de cette dernière se solidifie en dernier, est donc plus riche en soluté que les zones qui sont solidifiées en premier. À titre d'exemple le cas de lingot d'acier à la figure (1-2) à une teneur moyenne de 0.44 % de carbone alors que près de la surface elle est de 0.36 % et atteint 0.61 % au centre du lingot.

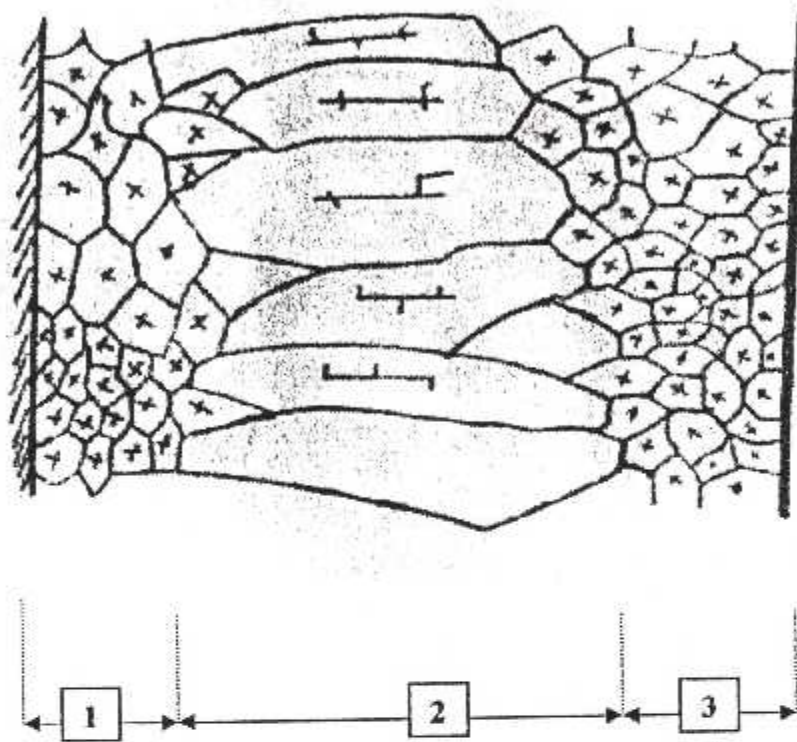


Figure (1-2) Ségrégation majeure

### ➤ Ségrégation mineure :

La ségrégation mineure se produit soit à l'échelle de microstructure de solidification, soit à l'échelle des dendrites. La composition des grains varie de leur centre vers l'extrémité. Le dernier liquide à se solidifier entre les branches des dendrites est plus riche en soluté que les zones qui se sont solidifiées en premier lieu.

Cette ségrégation peut-être à la suite partiellement modifiée par des phénomènes de diffusion dans la matrice métallique au cours du refroidissement.

### • Inclusion :

Les inclusions sont les impuretés non métalliques qui restent prises dans la matrice métallique lors de sa solidification. Elles sont des résultats des différentes réactions et phénomènes qui ont lieu durant l'élaboration et la coulée du métal. Ces inclusions sont classifiées selon leurs tailles et leurs effets sur les propriétés des matériaux en micro et macro inclusions Figure (1.3).

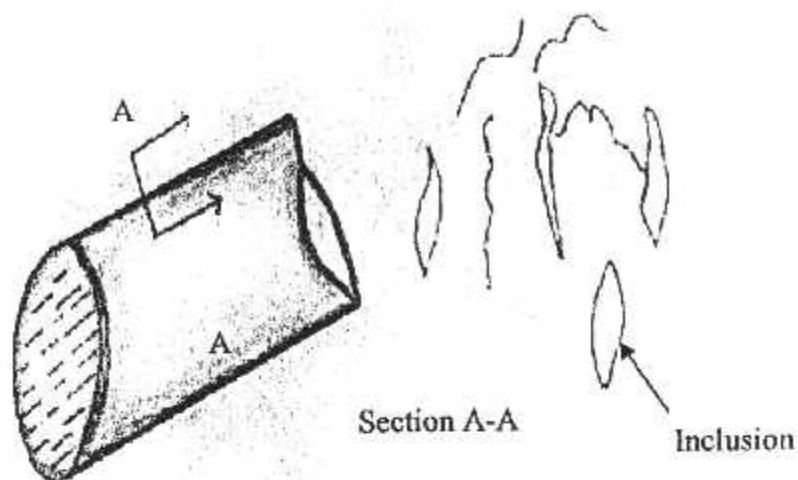


Figure (I-3) : Inclusion allongées par laminage

#### I-4-3- Type de Discontinuités physiques lors d'élaboration des pièces :

La qualité des lingots ou des pièces coulées peut-être affectée soit par des retassures qui peuvent prendre la forme de vides à l'intérieur de la matrice métallique soit d'effondrements à la surface du matériau. Les retassures sont dues à des phénomènes de contraction et de retrait qui a lieu lors du refroidissement et de la solidification du lingot ou d'une pièce coulée (figure I-4)

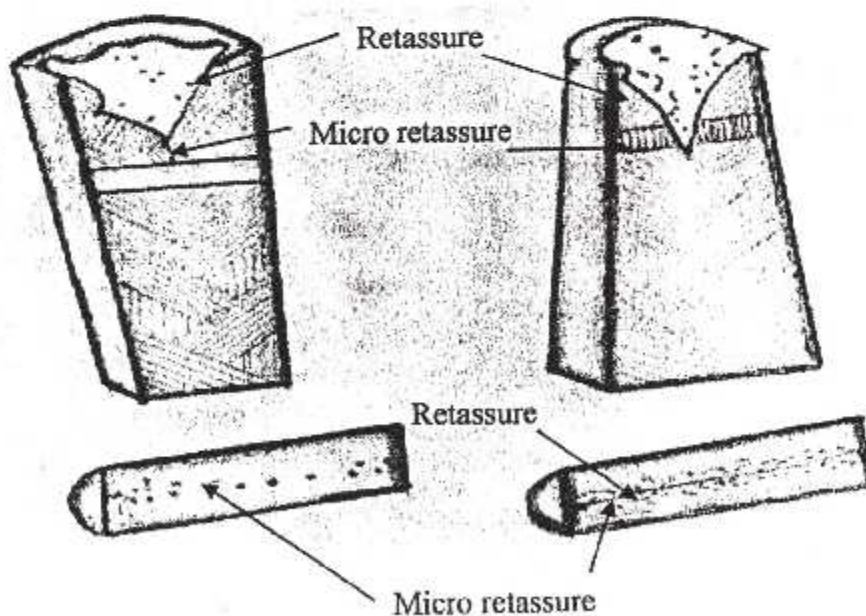


Fig., (I-4) : retassure, et micro retassure



➤ **Soufflures et inclusions gazeuses :**

On les trouvent généralement dans les pièces coulées et les lingot qui ont principalement une différence de solubilité des gaz dans le métal liquide et le métal solide et dans la dissociation de l'humidité. Les soufflures apparaissent sous forme de bulles de gaz, qui sont emprisonnées au sein de la matrice métallique. Les différents types de soufflures et inclusions gazeuses sont :

- **Porosités :**

Les porosités sont des rassemblements de très petites « bulles » de gaz. On les trouve en général dans les dernières fractions solidifiées du lingot. Les porosités peuvent être également dues à la contraction du métal à la fin de sa solidification et elles sont appelées aussi, micro retassures.

Les défauts énumérés jusqu'ici sont surtout des défauts à caractéristiques métalliques par contre d'autres types de défauts sont souvent la conséquence des fautes opératoires, nous citerons. Par exemple les criques, les tapures, les déchirures et les fissures à chaud.

- **Criques et fissures à chaud :**

Les criques et fissures à chaud se produisent à des températures élevées, c'est à dire au début de la solidification alors qu'une partie de lingot est déjà solidifiée.

La formation des criques est souvent due à la coulée rapide et à haute température, et à la qualité des impuretés contenues dans le matériau et parfois au tracé du moule ou de lingotière. Au contraire, les tapures se produisent aux basses températures et sont dues aux contraintes lors d'un refroidissement trop rapide ou lors d'un chauffage trop rapide.

Les tapures de refroidissement sont externes et longitudinales, par contre celle dues au réchauffage trop rapide sont internes et perpendiculaires à l'axe du lingot.

On peut trouver aussi des défauts accidentels qui sont dus aux quelques fautes techniques commises lors de l'élaboration. Citons comme exemple :

- **Gouttes froides :**

Les gouttes froides se produisent à la surface du lingot et parfois au sein du métal. Elles sont provoquées par le choc de jet de coulée sur le fond de la lingotière ou sur le métal liquide.

▪ **Doubles peaux :**

Ce type de défaut se produit lorsque le métal liquide se mélange avec le métal déjà solidifié et la lingotière ou à la suite de vitesse de coulée irrégulière.

▪ **Inclusions de sable :**

Ces inclusions sont causées par le sable de moulage pris dans le métal fondu. On les trouve soit à la surface du lingot ou à la pièce coulée.

Finalement il existe d'autres défauts tels que, l'irrégularité des surfaces, les rainures, les queues de rats, les croûtes, les galles etc., qui sont également dues à des irrégularités ou à des endommagements des surfaces de lingotière ou de mole figure (I-5).

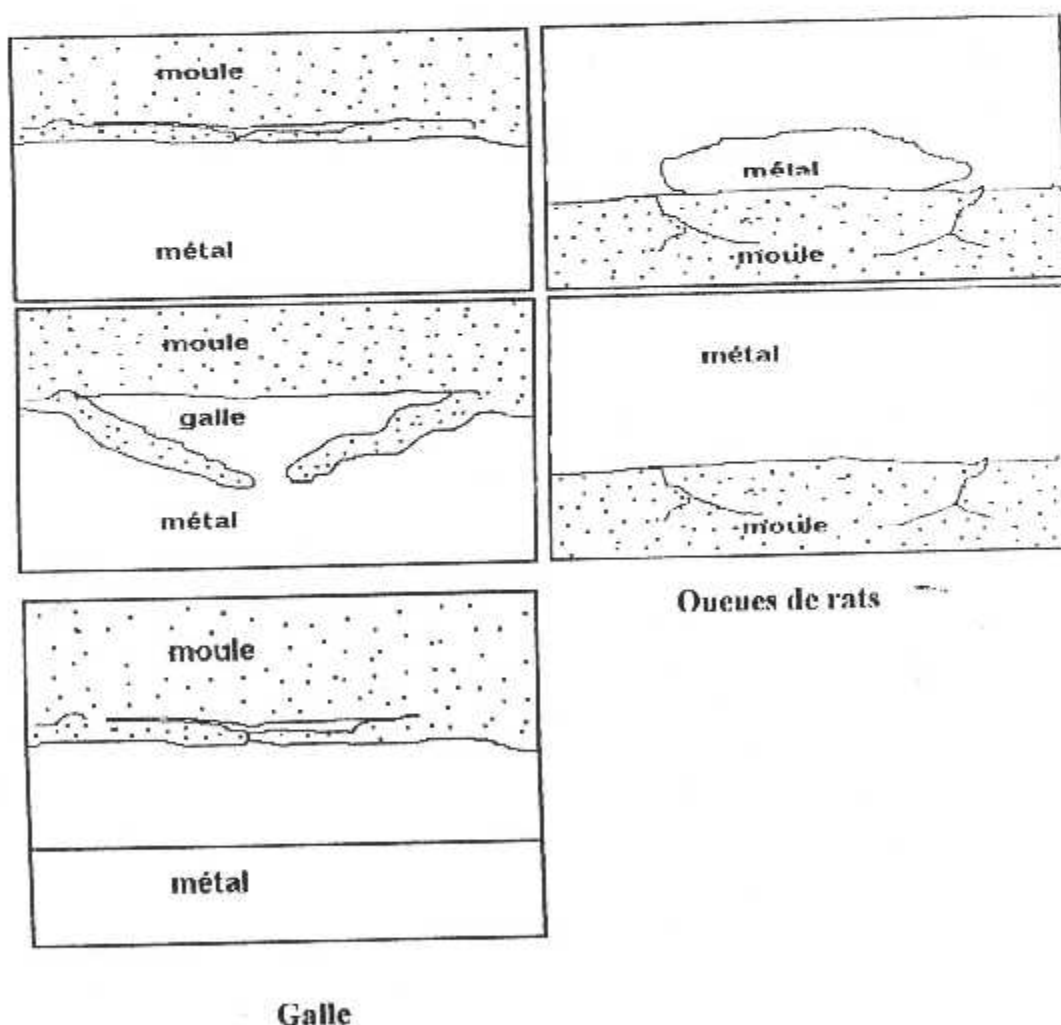


Fig. (I-5) : Défauts de surface dus à l'expansion et à la déformation du moule.

#### 1-4-4- Défaut de transformation et de fabrication

Opération de coulée, les pièces et les lingots subissent des transformations sans et avec enlèvement de matières par des techniques et procédés de fabrication tels que le forgeage, le laminage, soudage, etc., puis par des traitements thermiques et des traitements de surface. Ces derniers peuvent engendrer de nouveaux défauts ou modifier les défauts déjà existants dans le matériau (figure I-6).

Au cours des procédés de forgeage et laminage nous trouvons les tapures internes de réchauffage et de refroidissement qui sont dus aux variations trop rapides de la température.

On peut trouver également des criques extérieures et les déchirures internes engendrées par les déformations de la pièce. La présence d'hydrogène dans le métal rend ce dernier fragile. Ce qui favorise au cours des procédés de forgeage et laminage la formation des défauts tels que flocons.

Dans le cas des gouttes froides de double peaux ou de reprise de coulée et laminage peut provoquer des défauts de discontinuités telles que des doublures et feuilletage. Par contre l'usinage trop brutal ou avec des outils mal sélectionnés ou un cisailage mal conduit peut provoquer des défauts comme les micros tapures et les microfissures.

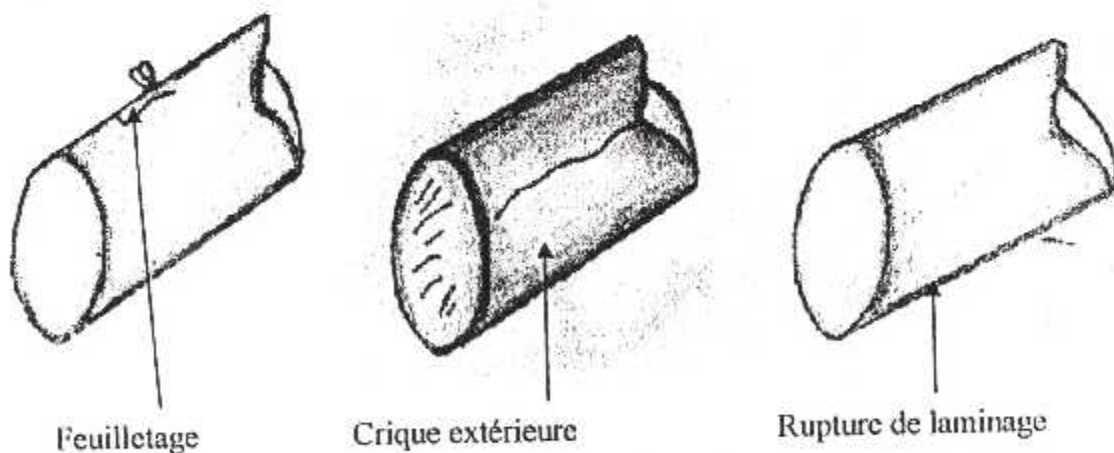


Fig. (I-6) : Défauts dans les barres laminées

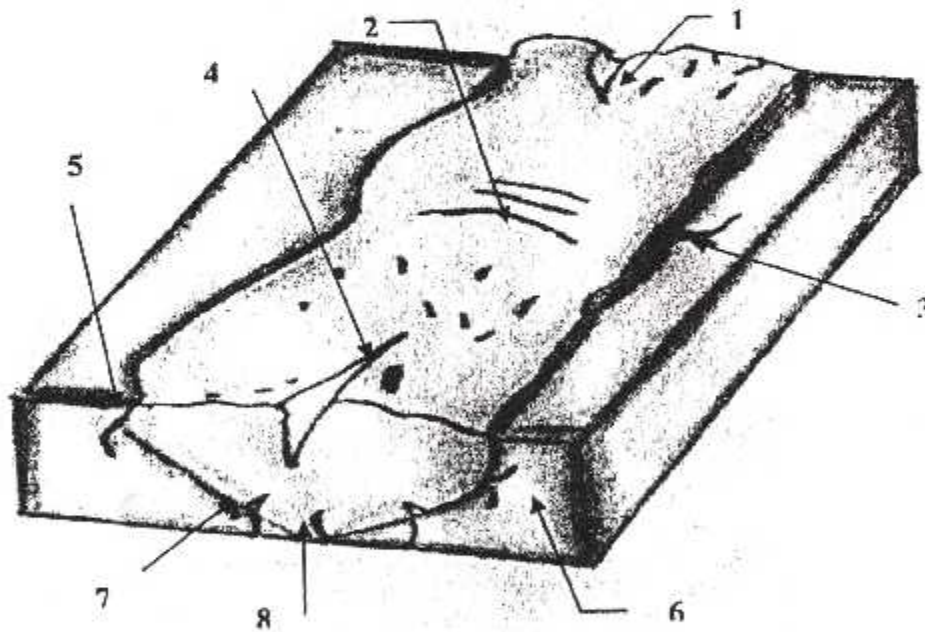
**1-4-5- Défaut dus aux soudures :** Les défauts dus aux soudures sont en générale divisés en six groupes :

**a) Fissures :**

Les fissures sont des discontinuités observées sous forme de fines ruptures provoquées au cours d'une variation de température et sous les effets de contraintes. On peut trouver :

- Des fissures longitudinales dont la direction sont parallèles à l'axe de soudage.
- Des fissures transversales dont la direction sont perpendiculaires à l'axe de soudage.
- Des fissures rayonnantes dont la direction sont aléatoires.
- Des fissures dues au collage.

On peut rencontrer également des fissures étoilées, des fissures à la racine et des fissures sans cordon (figure I-7).



**Fig. (I-7) Identification des fissures**

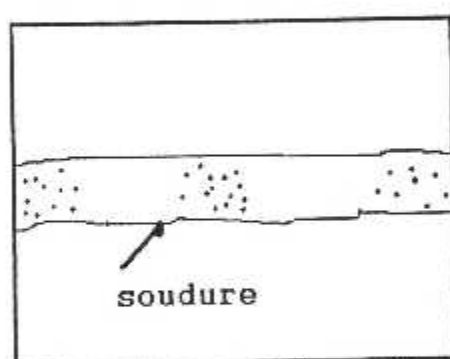
1. Fissure de cratère longitudinal
2. Fissure transversale dans la soudure
3. Fissure transversal dans la zone thermiquement affecté
4. Fissure longitudinale dans la soudure
5. Fissure dans le métal de base
6. Fissure sous cordon
7. Fissure de fusion
8. Fissure à la racine

## B) Les Cavités :

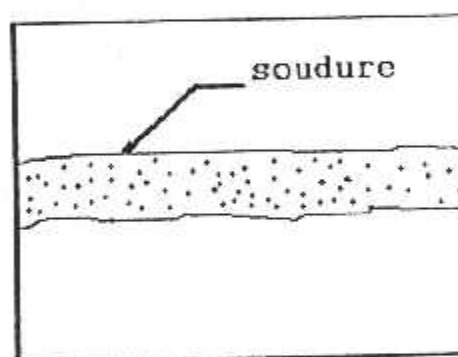
Les cavités sont des inclusions gazeuses qui sont dues à un emprisonnement de retrait au refroidissement du métal (figure. 1-8). Nous trouvons :

- Les soufflures sphéroïdales (Groupées en nid).
- Les soufflures alignées.
- Les soufflures allongées, disposait en arrête de poisson.
- Les piqûres : Ce sont des soufflures de petite dimension débouchant en surface.

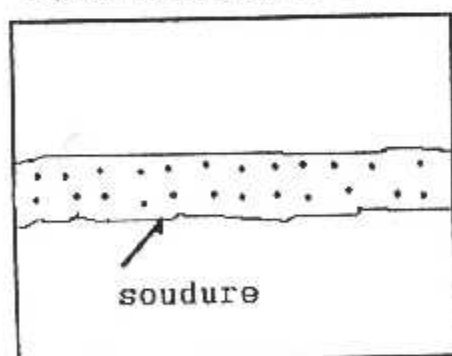
Parmi les cavités on peut rencontrer les retassures et les micros retassures qui sont dues au retrait du métal pendant la solidification et pouvant apparaître en surface.



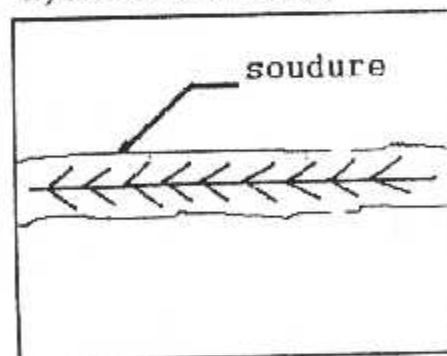
A) soufflures groupées en nid



B) soufflures uniformes



C) soufflures alignées

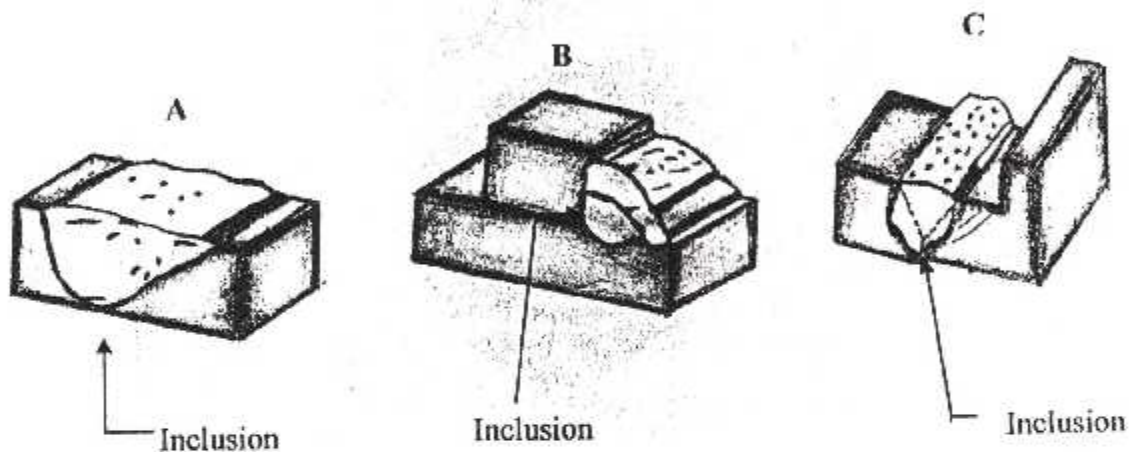


D) soufflures à longées en arrêtes de poisson

Fig. (1-8) : Types de porosités et de soufflures

### C) Inclusions dans les soudures :

Ce sont des corps métalliques ou non métalliques emprisonnés dans le métal de la soudure et peuvent être alignés ou isolés (figure I-9). Les inclusions métalliques, sont provoquées soit par l'électrode utilisée, soit par le support utilisé pour soutenir le bain de métal fondu.



Inclusion de la soudure:

- A) Près de la surface
- B) Entre cordon
- C) À côté d'une soudure

Fig. (I-9) : Inclusion de la soudure dans une pièce

### D) Manque de fusion (collage) :

Ces types de fissures sont caractérisés par l'absence de liaison soit entre le métal de la soudure et le métal de base, soit entre deux couches de métal de la soudure (figure I-10). Nous trouvons :

- Des manques de fusion entre passe.
- Des manques de fusions latérales.
- Des manques de fusion à la racine de la soudure.

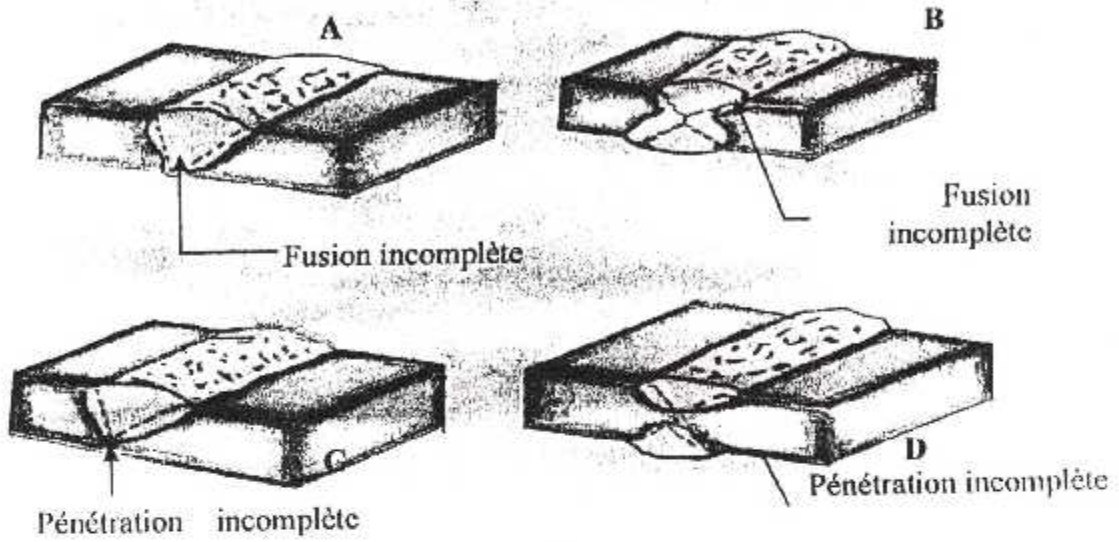


Fig. (I-10) : Défaut de fusion et de pénétration

E) Défauts de forme :

Ces défauts sont des déformations d'ordre géométriques de la surface de la soudure (figure I-11). En général il y a :

- Les variations.
- Les gorges.
- Les sections transversales incomplètes.

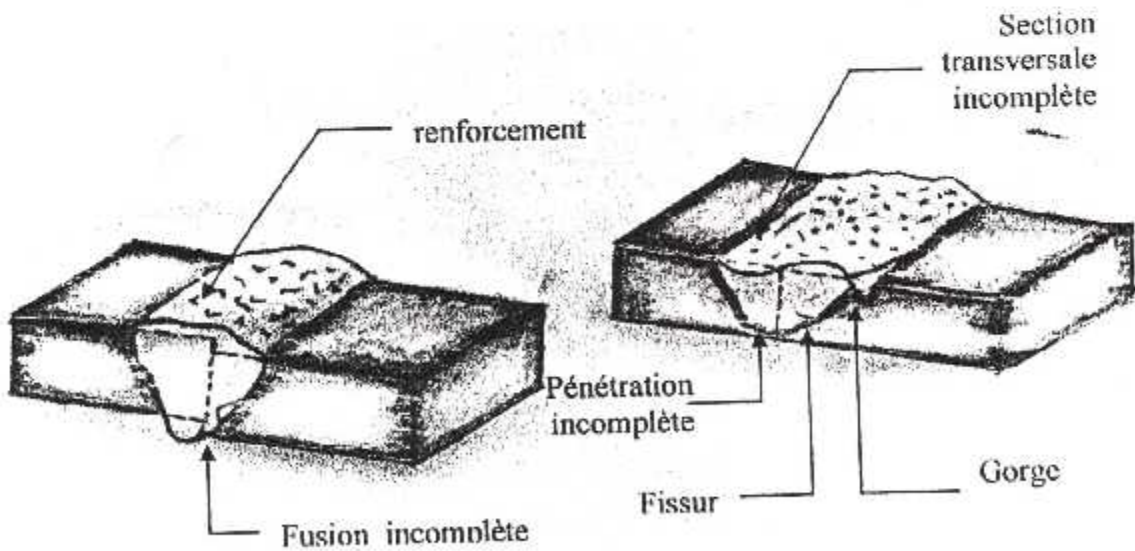


Fig. (I-11) : Défaut de forme

### **I-4-6- Défaut de traitement thermique :**

Les procédés des traitements thermiques tel que le recuit la normalisation, la trempe et la revenue peuvent causer des défauts de diverses formes. À titre d'exemple, pendant un réchauffage et un refroidissement des pièces, les tapures et les fissures peuvent apparaître sous les contraintes thermiques élevées.

#### **I-4-6-1 Défaut de service :**

La plupart des pièces ou structures subissent au cours de leur vie des conditions de service anormal. Ces conditions peuvent provoquer ou accélérer la formation ou la propagation d'un certain nombre de défauts. D'une façon générale ces défauts ont comme origine :

- La corrosion.
- Les contraintes élevées.
- La fatigue.
- La fragilisation ou la dégénérescence des propriétés du métal sous l'effet de températures trop élevées ou trop basses.

#### **➤ Défauts dus aux corrosions :**

- Diminution de l'épaisseur du métal.
- Les piqûres.
- Les fissures internes (Corrosion sous contrainte).

Comme il existe des défauts particuliers tels que, les cloques, les boursouffures et la fissuration qui sont dues en général à la diffusion de l'hydrogène dans le matériau et sa recombinaison sous forme moléculaire intérieure des cavités.

#### **➤ Défauts dus à la température :**

Dans le cas où la pièce est soumise à des hautes températures, on peut rencontrer quelques types de défauts dont la présence se traduit en général par une rupture en service. Parmi ces défauts il y a :

- Les phénomènes de fluage.
- Le grossissement exagéré du grain.
- Vieillissement accéléré et fragilisation.



## 1-5- Procédure de contrôle non destructif :

L'opération de contrôle non destructif d'un objet ne se teinte généralement pas à la détection d'éventuels défauts. En effet, même si le choix du procédé, de la méthode et du matériel a été effectué au préalable, il faut envisager toute une procédure ayant les objectifs suivants : Fiabilité de l'examen, reproductibilité, localisation des défauts, identification, caractérisation de ceux-ci, en particulier par leur taille, placement, présentation visuelle, décision concernant l'affectation de l'objet, enfin archivage des résultats et des conditions d'examen.

Ce sont des opérations d'étalonnage, de calibrage, de balayage de la sonde et de traitement des données qui permettent d'atteindre ces objectifs désormais dans de bonnes conditions grâce à l'apport intensif de l'informatique en temps réel.

### 1-5-1- Principe de détection d'un défaut :

Le principe de la détection d'un défaut consiste à exciter celui-ci et à recueillir sa réponse. Schématiquement, on peut généralement distinguer les étapes suivantes, quelque soit la méthode employée :

- Mis en oeuvre d'un processus physique énergétique,
- Modulation ou altération de ce processus par les défauts,
- Détection de ces modifications par un capteur approprié,
- Traitement des signaux et interprétation de l'informatique délivrée.

Différents types d'énergie sont employés en pratique : énergie mécanique (ultrasons, ressuage), électromagnétique (radioscopie, observation dans le visible, flux magnétique...). On peut schématiquement distinguer deux groupes de méthodes de détection qui sont :

- Les méthodes de flux, avec une excitation et une détection de même nature et pour lesquels le défaut introduit une perturbation de flux qui peut être relevé soit directement dans le flux transmis (radiographie) ou le flux rediffusé (ultrasons). par un effet de proximité (bobine de sonde à courant de Foucault, flux de fuite magnétique) .La grande majorité des procédés du contrôle non destructif se réfère à ce groupe de méthodes ;
- Les méthodes pour lesquels l'excitation et la détection sont de natures différentes, chacune mettant en jeu un processus original et spécifique .l'excitation la plus employée est la sollicitation mécanique ; elle conduit aux techniques d'analyse de vibrations mécaniques ou de microdéformations (Interférométrie) ou encore à une technique d'émission provoquée dans la plus connue est l'émission acoustique.

### I-5-2- Classement et performances des procédés de CND :

Les procédés de contrôle non destructif résultent de la mise en oeuvre des principes et techniques physiques précédents. a en deviner Certains sont anciens par contre d'autres récents ; et il y a qui sont simples, d'autres complexes ; certains sont très employés, d'autres peu. On les classe habituellement en deux familles selon la détection des défauts de surface ou des défauts internes.

Les performances des procédés de contrôle non destructif résultent à la fois de considérations théoriques pratiques.

#### ❖ Limite de détection :

La limite de détection est liée à deux facteurs de nature différente : le rapport signal/bruit et le pouvoir séparateur.

- ♦ Le rapport signal/bruit en sortie d'appareil doit être :  
Suffisamment supérieur à 1 pour qu'une conclusion claire  
Prise quant à l'absence ou la présence d'un défaut. Ce facteur dépend d'abord de la façon dont le défaut lui-même « émerge » de son environnement que l'on doit chercher à améliorer (nettoyage et meulage des surfaces très rugueuses, affinage des microstructures trop grossières des métaux) à chaque fois que cela est possible (impératifs techniques et de coût).  
les conditions d'examen (choix d'un éclairage approprié, d'un angle de tir, d'une fréquence d'excitation, etc.), la qualité de l'appareillage (bruit électronique) et la nature du traitement de l'information (imagerie, renforcement des contrastes) devant concourir à accroître le rapport signal/bruit.
- ♦ Le pouvoir séparateur correspond à la limite physique à la limite de physique de détection son fondement théorique est bien établi dans le cas des techniques utilisant une onde vibratoire telle que l'optique ou le contrôle ultrasonore. Les lois de la diffraction impliquent en effet que cette limite soit proportionnelle au rapport  $\lambda / D$ ,  $\lambda$  étant la longueur de l'onde dans le milieu considéré et  $D$  l'ouverture de l'appareil, en fait généralement le diamètre de la sonde. Le paramètre  $1 / \lambda$  étant proportionnelle à la fréquence de la vibration, on comprend ainsi pourquoi, en contrôle ultrasonore par exemple, l'utilisation de fréquences élevées est favorable à la détection des défauts les plus fins (microscopie ultrasonore). On comprend d'autre part l'intérêt théorique d'accroître fortement le paramètre  $D$  (Techniques d'ouverture synthétique en hyperfréquence et ultrasons, holographie).

## I-6- principales méthodes de contrôle non destructif :

Les méthodes de CND sont très variés et utilisant de nombreux procédés physiques et d'analyse. Schématiquement nous décelons dans tous les essais non destructif cinq étapes quel que soit la méthode choisi :

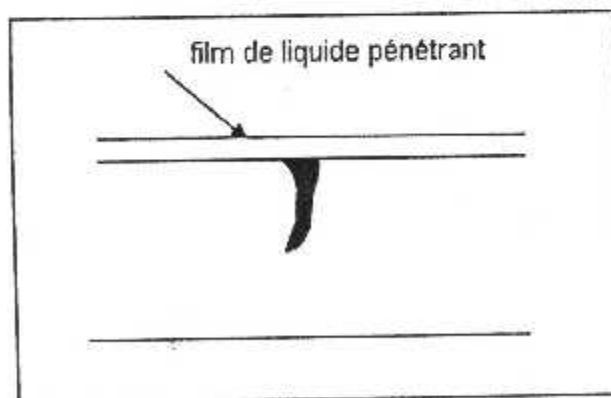
- Mise en œuvre d'un processus physique.
- Altération de ce processus par les défauts.
- Détection de ces variations par un détecteur approprié.
- Conversion de ces variations en une forme adaptée au traitement de l'information.
- Interprétation de l'information obtenue.

### I-6-1-Ressuage (FPI) :

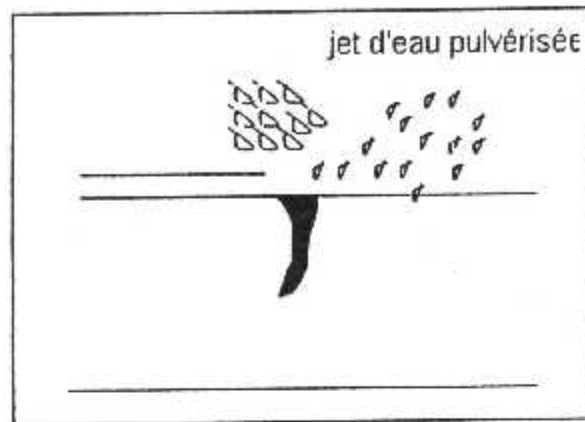
Lorsqu'on applique sur la surface d'un matériau un liquide dit « pénétrant » c'est-à-dire ayant une faible tension superficielle, il entre par capillaire dans toutes les discontinuités ouvertes à la surface du matériau.

Si après avoir nettoyé la surface du matériau examiné de tous excès de liquide pénétrant, on applique sur la surface une bande absorbante ou un révélateur. Le liquide retenu par les défauts sera absorbé par capillarité par le révélateur qui sera ainsi marqué au niveau du défaut.

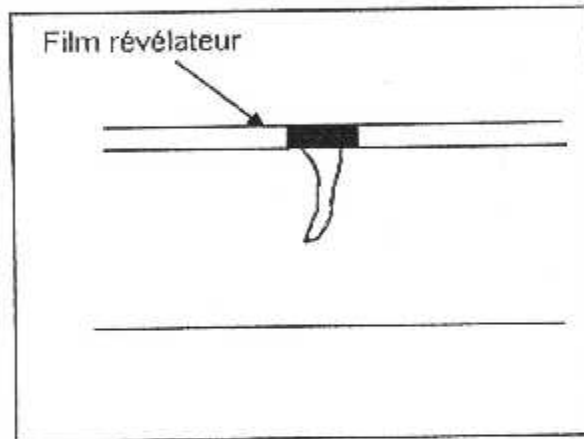
En suite l'examen se fait visuellement, soit à la lumière du jour ou à la lumière artificielle si on utilise un liquide pénétrant colorant les défauts, qui sont révélés en rouge sur fond blanc, soit en lumière noire sous un rayonnement ultraviolet lorsqu'on utilise un liquide pénétrant fluorescent qui fera apparaître les défauts d'une couleur jaune-vert en fond noir (fig. I.12).



Application et pénétration dans les fissures du liquide pénétrant



Enlèvement de l'exidant de pénétrant par la vague



Le révélateur extrait le pénétrant retenu par les fissures

**Figure ( I-12) Principe de la méthode de ressuage par liquide pénétrant pré émulsifiée**

Détection de criques en surface sur tous métaux. Pièce de fonderie, pièces forgées usinées et les soudures.

❖ **avantages et intérêt :**

- Bas coût.
- Portatif
- Facilement interprété.
- Examen visuel, en général assez aisé.
- Utilisation simple, précision, rapidité.

**❖ limitation et inconvénient :**

- Toxicité de certains produits (solvant...)
- Uniquement défaut de surface.
- Contrôle difficile les matériaux poreux ou rugueux.
- Les films superficiels peuvent masquer des discontinuités.
- Les pièces doivent être nettoyées après l'inspection.
- Défaut doit être ouvert en surface.

**I-6-2- Magnétoscopée :**

L'idée de base de la magnétoscopie consiste à produire dans la pièce à examiner un champ magnétique et à étudier les modifications de ce champ provoquées par les discontinuités présentées par la pièce. Une des façons techniques de la détection passe par plusieurs étapes :

- Magnétisation du matériau
- Application des particules magnétiques.
- Démagnétisation et son contrôle.

Les particules magnétiques sont constituées de fines particules de ferromagnétique appelé magnétite ayant une sorte perméabilité et une persistance. Elle sont enrobées afin d'avoir une plus grande mobilité et colorées en blanc-manger, vert, jaune pour obtenir un bon contraste lors l'interprétation des résultats.

Ces particules peuvent s'appliquer soit à sec ou en suspension dans un liquide.

**➤ Technique sèche :**

Lorsque la poudre magnétique est employée à sec sur la surface de la pièce à examiner elle permet la détection des défauts importants et elle est très sensible à la présence des défauts profonds quand il est utilisé avec un magnétique continu.

**➤ Technique humide :**

Elle est réalisée par la suspension des particules magnétiques dans une huile légère, du pétrole ou dans l'eau additionnée, l'application du liquide se fait alors par arrosage, ou trempé au pinceau. Cette méthode est appliquée pour la détection des défauts les plus fins (fig. I.13).

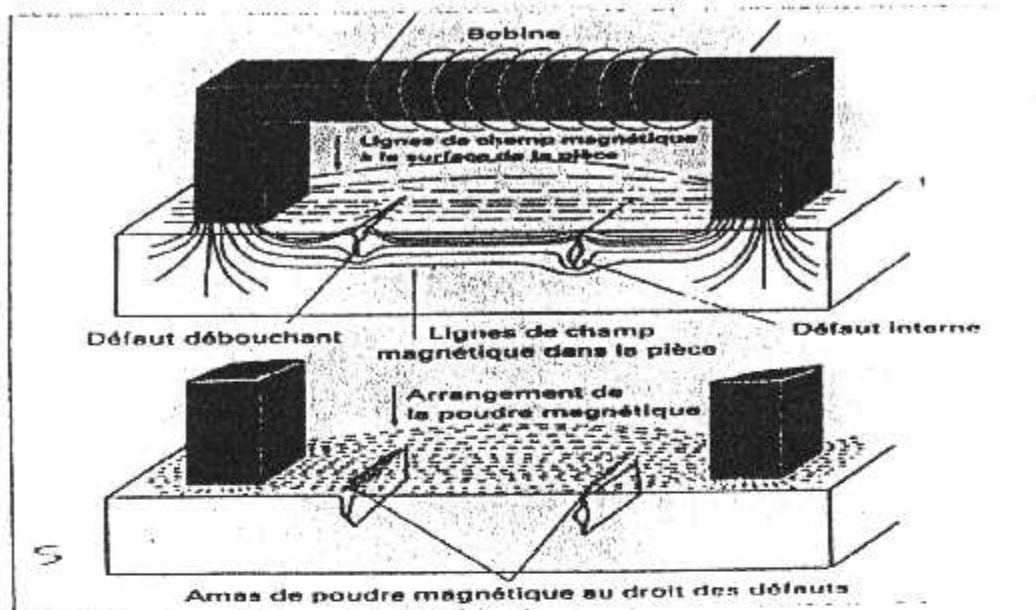


Figure 10 - Contrôle par magnétoscopie

Figure (I-13) Contrôle par magnétoscopie

❖ utilisation de la magnétoscopie :

- Détection de défaut en surface ou proches de la surface sur les matériaux ferromagnésienne de forme quelconque, composition et structure.
- -Contrôle du traitement thermique.

❖ Avantage et intérêt :

- Détection de tous les défauts de surface ou proche de la face.
- La technique très simple, peut être utilisée pratiquement partout en utilisant un équipement portable.
- Le coût est faible.
- Méthode rapide.

❖ limitation et inconvénient :

- Elle ne peut s'appliquer qu'aux matériaux magnétiques.
- Les défauts ponctuels ou les fissures fines isolés sont difficiles à détecter.
- Toute indication révélée par les particules ne correspond pas toujours à une discontinuité ou à un défaut.
- Nettoyage préalable.

- Démagnétisation après chaque inspection.
- Détection dépend de l'orientation du défaut.
- Limitée aux défauts de surface ou sous cutanés.

### I-6-3- Le courant de Foucault :

Quand une bobine par un courant alternatif est approchée d'une pièce métallique des courants de Foucault sont induits dans le métal. Ces courants créent dans l'ensemble métallique un champ magnétique qui s'oppose au champ magnétique initial.

L'impédance apparente de la bobine d'excitation est donc affectée par la présence de courant induit. La variation d'impédance est caractéristique du défaut (fig. 1.14).

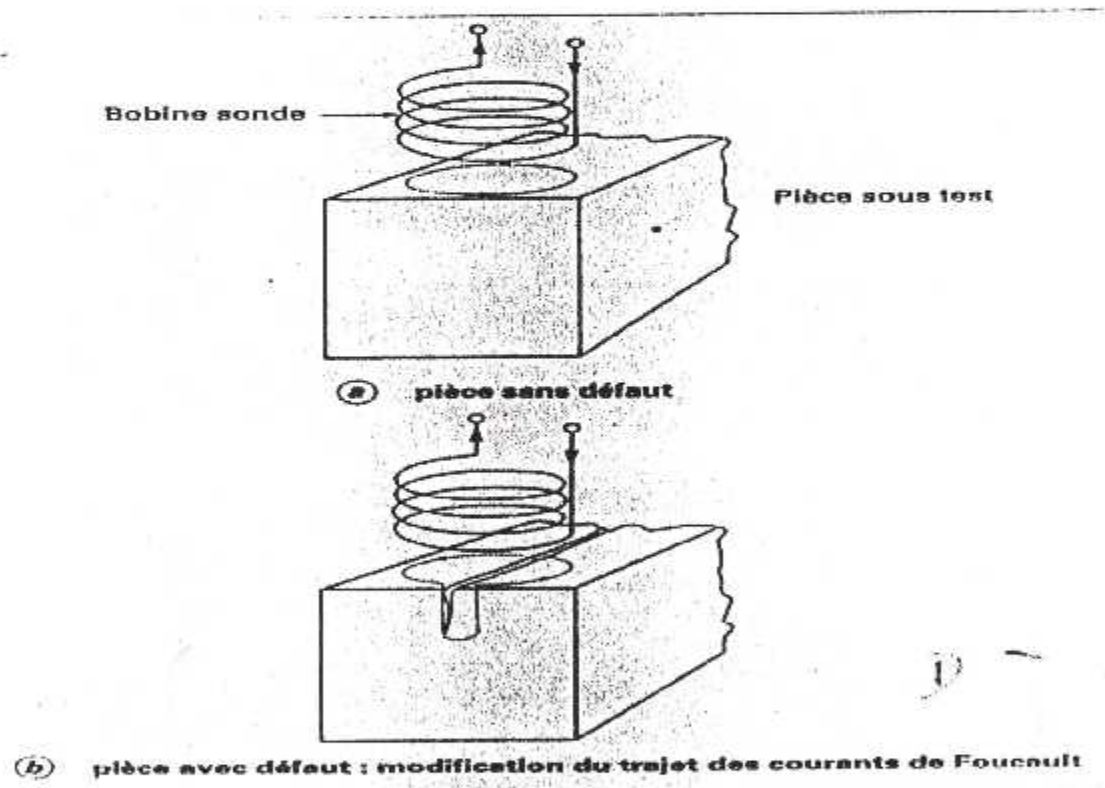


Figure 15 - Principe de la détection par courants de Foucault

Fig. (I-14) : Principe de détection par courants de Foucault

**❖ utilisation de la méthode :**

- Dimension
- Epaisseur
- Propriété métallique (tri de nuance, de dureté).
- Détection des défauts.
- Contrôle de tube.
- Mesure d'épaisseur de revêtement.
- Détection de défaut débouchant.
- Contrôle de perçage.
- Contrôle des tôles rivetées.

**❖ Avantage et intérêt :**

- Rapide, un coût bas et facile à utiliser.
- Automatisable.
- Pas de coupage nécessaire avec la pièce.

**❖ limitation et inconvénients :**

- Uniquement applicable aux matériaux constructeurs.
- Interprétation parfois délicate.
- Dépend de la géométrie de la pièce (effet de bord).
- Dimensionnement délicat des défauts

**I-6-4- Contrôle par la méthode de l'ultrason :**

Le principe fondamental du contrôle par ultrasons réside dans l'analyse de l'influence des défauts recherchés sur la propagation des ondes vibratoires dans la pièce. Plusieurs techniques différentes sont utilisées soit par écho d'impulsion soit par absorption ou par résonance.

La technique par écho d'impulsion ou par réflexion est la plus utilisée pour la détection des défauts internes, Dans cette méthode un faisceau pulsé d'ultrason est envoyé dans la pièce, celui-ci se réfléchit par un transducteur émetteur ou émetteur-récepteur.

Le temps de parcours de l'impulsion, entre l'émission et la réception est visualisée sur un écran cathodique, il permet de localiser le point où se fait la réflexion et par la suite la position de défaut. Les résultats d'examen par ultrason sont dans la majorité des cas effectués sur écran cathodique ou sur table traçante.



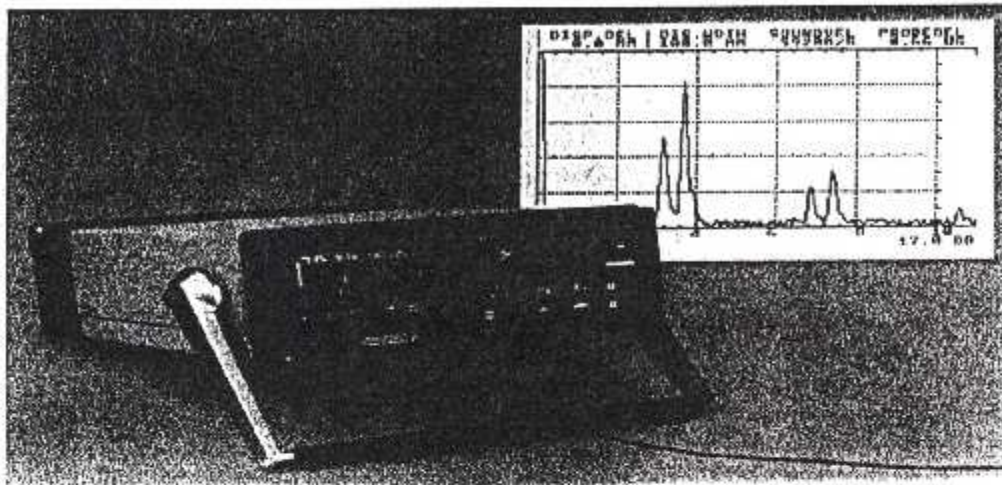


Fig. (I-15) Appareil ultrasonore

❖ Utilisation de la méthode :

- Recherche de délaminage, de parasite sur composites.
- Recherche de fissures, d'inclinaison sur métaux varies.
- Contrôle des emballages callés ou soudés.
- Mesure d'épaisseur.
- Contrôle des métaux forgés, coulés.
- Pour détecter les défauts internes tels que : variation des compositions chimique et métallurgique, manque de fusion.
- Détection de défauts en surface, ou proche, ou proches de la surface.
- Contrôle du délamination.

❖ Avantage et limitations :

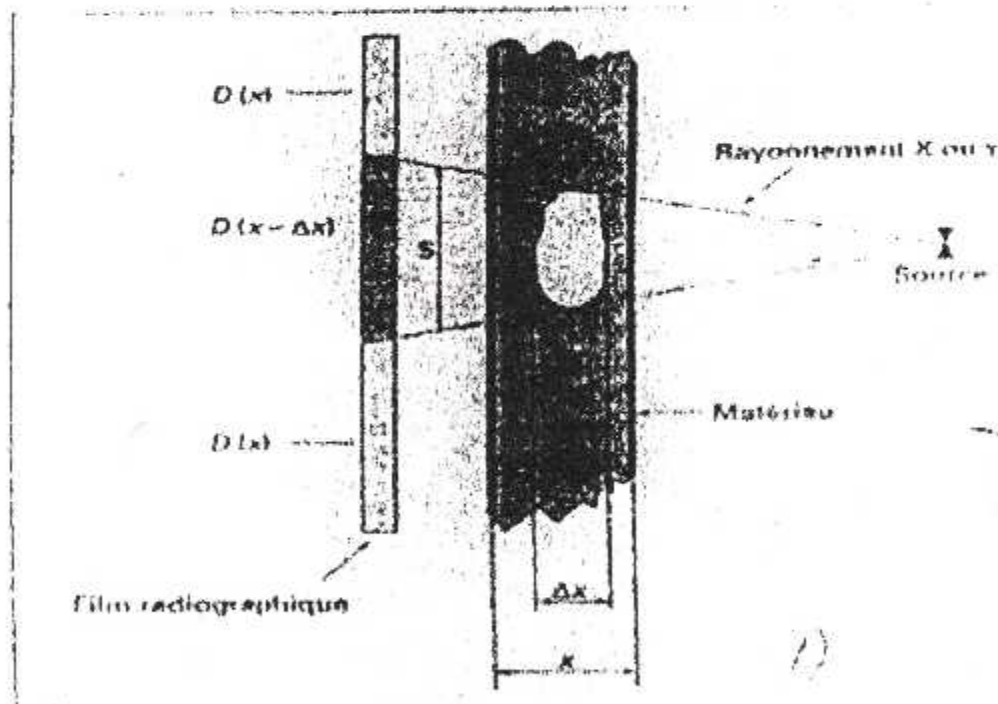
- Sensibilité au fissure, souplesse d'emploi, pénétration profonde.
- Enregistrement permanent disponible. Portatif, automatisation possible.
- 
- Rapidité, fiabilité, contrôle de matériaux divers (métaux, composition, céramique, béton).
- Facilité de mise en œuvre.
- Grande précision, bonne résolution.
- Lecture immédiate des résultats.

❖ limitation et inconvénient :

- Couplant nécessaire.
- Standard nécessaire.
- Inspection manuelle lente.
- Dépendance vis-à-vis d'un opérateur (fabriqué, qualification)
- Obligation de couplage.
- Nécessité d'étalon en mesure.
- Sources électriques nécessaires.
- Détection à l'orientation de la crique.

**I-6-5- la radiographie :**

Cette méthode utilise la propriété des rayonnements électromagnétiques (x et y) le principe de la méthode est le suivant : la pièce a contrôler est placée sur le trajet d'un faisceau de rayons x ou y et la différence d'absorption obtenue à travers la zone saine et la zone présentant un défaut nous renseigne sur la présence de la celui le détecteur est soit un film, soit un détecteur de radiations.



**Fig. (I-16) : Impression, sur le film radiographique, de l'image de défaut**

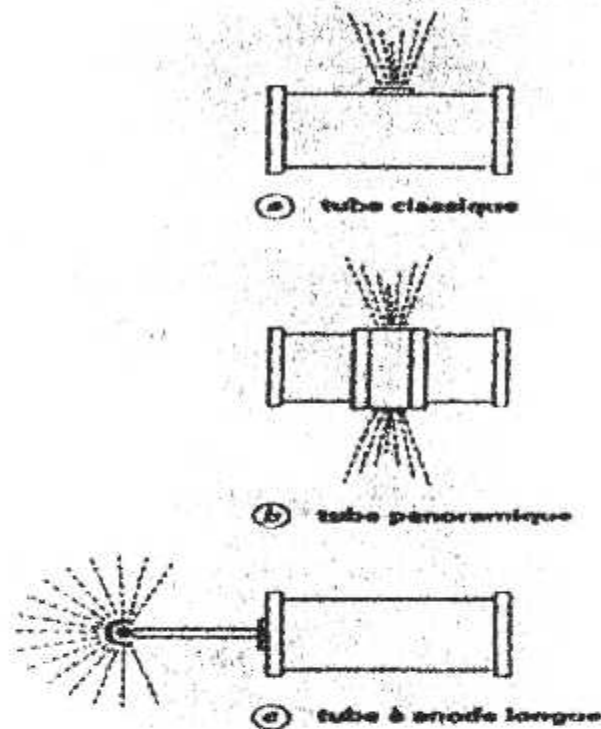


Fig. (I-17) : Type s de tubes a rayons x

❖ Utilisation :

Ce procédé est utilisé pour la détection des discontinuités internes et des variations de densité ainsi les inclusion, fissures, manque de fusion corrosion et variation géométrique

❖ Avantage et intérêts :

- Haute sensibilité a des variations du densité
- Détection de défaut internes.
- Utilisable sur une grande variété de matériaux.
- Radioscopie (le film est remplacé par un écran temps réel).

❖ Limitation- inconvénients :

- Nécessite de pouvoir accéder aux deux pièces.
- Coût élevé

- Profondeur du défaut non indiqué, orientation des défauts, pas de position du défaut.
- Sensibilité diminuée avec l'augmentation de l'épaisseur de la pièce

**Conclusion :**

Type de procédés	Méthode de contrôle	Principes physiques	Types de défauts détectés	Domaines d'application	Points forts	points
Optiques	Examen visuel direct ou assisté	Vision perturbative n réflexion	Défauts débouchants, fissures, criques, trous	Contrôle manuel de tous produits à surface accessible	souplesse	Productivité, fiabilité
	Contrôle laser			Contrôle automatique de bandes et tôles	Productivité	Taux de fausses alarmes
	Contrôle TV	Formation d'une image	Défauts d'aspect, taches	Contrôle automatique en fabrication des produits divers	Productivité	Défauts fins
	Interférométrie holographique	Détection de microdéformations provoquées	Délaminations, décollements	Contrôle en atelier de parois non métalliques	Contrôle des composites	Interprétation, productivité
	Thermographie Infrarouge	Cartographie de perturbations thermiques	Déaminations, hétérogénéités diverses	Idem contrôle sur site	Cartographie	Caractérisation des défauts
Ressuage	Ressuage	Effet de capillarité	Défaut fins débouchant	Contrôle manuels de tous produits à surface accessible	Simplicité faible coût	Productivité, peu quantitatif

Flux de fuite magnétique	Magnétoscopie	Accumulation de poudre	Défauts fins débouchants et tous-cutanés	Produits ferro-magnétiques (aciers)	sensibilité	Réservé aux aciers peu quantitatif
	Détection de flux de fuite	Distorsion d'un flux magnétique	Défauts fins débouchants		Sensibilité Automatisation	Fragilité des sondes
Électromagnétiques	Courant de foucault	Perturbation d'un courant	Défauts fins débouchants	Contrôle en ligne et sur chantier de tous produits métalliques	Sensibilité Automatisation	Matériaux non conducteurs interprétation
	Potentiel électrique	Perturbation d'un courant	Mesure de profondeur de défauts	Tous produits conducteurs	Simplicité faible coût	Contrôle manuel lent
	Hyperfréquences	Transmission ou réflexion radar	Hétérogénéités diverses	Matériaux peu conducteurs	Contrôle sans contact	Interprétation du signal
Rayonnement ionisants	Radiographie X	Atténuation d'un flux	Défauts internes	Contrôle en atelier et sur site de tous matériaux	Cartographie souple de réglage	Protactio Détection des fissures
	Radiographie $\gamma$			Contrôle en ligne	Forte épaisseurs	Profondeurs des défauts
	Radiographie en temps réel			Contrôle de structures non métalliques	Productivité	Résolution limitée
	Tomographie X	Retrodiffusion	Délaminations	Corps hydrogénés	Image en corps	Coût productivité
	Neutronographie			Contrôle des	Simple la	Équipement

	Diffusion compton			composites	radiogra- phie	conditi on d'empl oi
Vibra tions méca niqu- es	Ultrasons	Perturbatio n d'une onde Échographi e	Défauts internes Défauts débouchants	Contrôle manuel ou aut-omatique de la majorité des matériaux	Grande sensibilité Nombreuc s méthodes d'auscultat ion	Condi tions d'essai Interpr étation des échos coupla ge
	Émission acoustique	Emission provoquée par solicitati on mécanique	Criques Fissures	Parois de gros récipients Structures diverses	Contrôle global avec localisati on des défauts	Interpr étation Bruits parasit es
	Essai dynamique	Perturbatio -ns d'un am- ortissement Mesure de vitesse	Criques Fissures	Contrôle de pièces moulées	Productiv ité	Qualita tif
Tests d'étan chéi- té	Essais hydrostatiq -ucs	Détection de bulles	Défauts débouchants dans joints ou paroi, zone perméable	Tubes et enceintes en tous matériaux	Grande éteindre de flux de fuite selon la méthode	Contin gences diverse s selon la méthod e
	Tates avec gaz traccurs (halogène, hélium)	Détection chimique				
	Détection sonore	Bruit acoustique				

# CHAPITRE II

Description de l'ultrason  
et son application  
en aéronautique

## Description de l'ultrason et son application en aéronautique

### II-1 Introduction:

L'une des toutes premières applications des ultrasons fut en 1912 dans la détection des icebergs, mais lors de la 1<sup>ère</sup> guerre mondiale, le développement de la méthode d'ultrason est tellement rapide par exemple la détection des sous-marins et du sondage maritime.

Vers les années 1937, la technique fut développée pour le contrôle des aciers. Au début, les vibrations ultrasoniques sont utilisées pour compléter les essais aux rayons X mais trente ans plus tard, la méthode a supplantée l'examen aux rayons X pour le contrôle d'un grand nombre de pièce de construction.

### II-2- Principe de contrôle par ultrason

Des vibrations sont envoyées dans la pièce à contrôler, toute réflexion provenant d'un défaut ou d'une autre face peuvent dans certaines conditions être détecter en utilisant de courtes impulsions d'ondes ultrasonores à intervalles égaux émise par un cristal.

Si l'onde est envoyée perpendiculairement à la surface d'une pièce à face parallèles, cette onde va se réfléchir sur la proie opposée et revenir vers le cristal qui va transmettre le signal à l'appareil à ultrasons, le temps nécessaire à l'onde pour parcourir le trajet aller-retour dans la pièce est mesuré par l'appareil, ce principe est le même pour détecter un défaut.

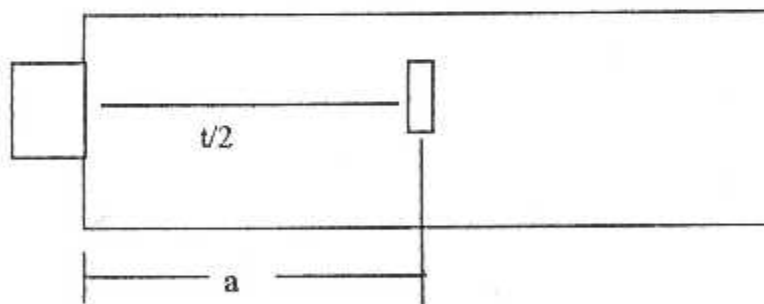


Fig.( II-1) : Principe de contrôle par ultrason

Connaissant le temps du parcours, on peut facilement trouver la position du défaut ou le fond de la pièce si on connaît la vitesse de propagation des ondes dans ces matériaux :

$$a = \left( \frac{t}{2} \right) \cdot v$$



Avec:

- a** : La distance entre l'extrémité de la pièce ,et le défaut
- t** : temps de parcours de l'impulsion sonore
- V** : la vitesse des ondes dans les matériaux

Le temps est représenté par l'appareil sur un tube cathodique, c'est la distance entre deux échos qui se suivent.

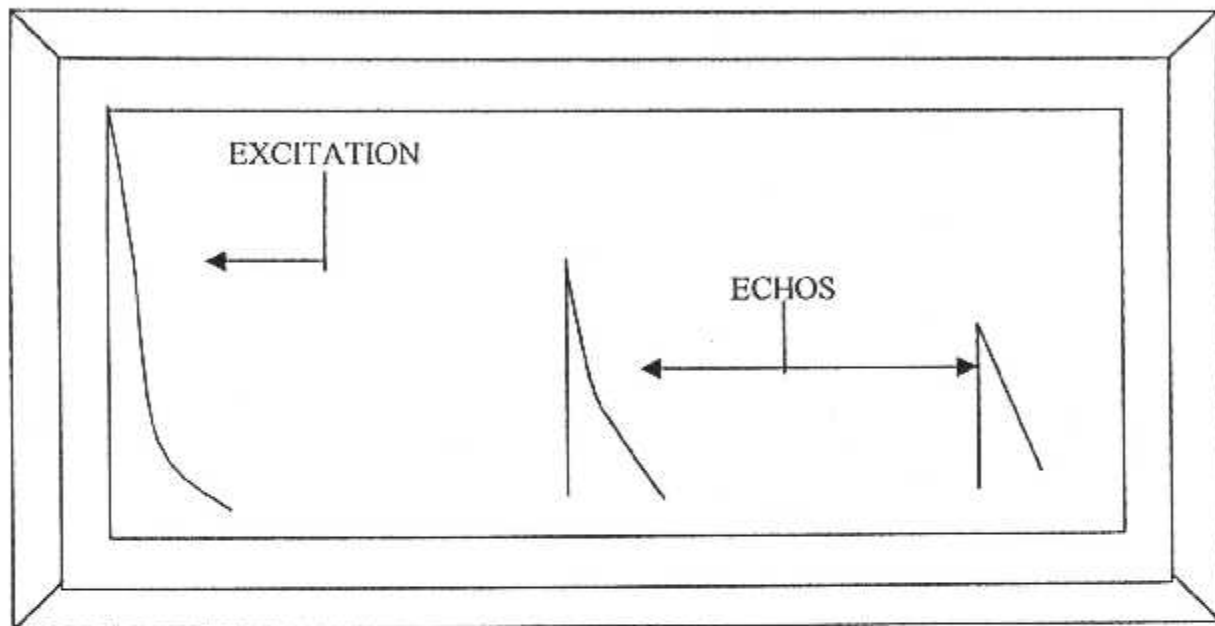


Fig.( II-2) :Représentation par l'appareil sur le tube cathodique

Si on règle l'équipement pour que la valeur en mm corresponde avec un certain écartement lu en mm sur le T.R.C, il ne reste plus qu'à lire directement la valeur de la position du défaut ou du fond de la pièce sur l'appareil.

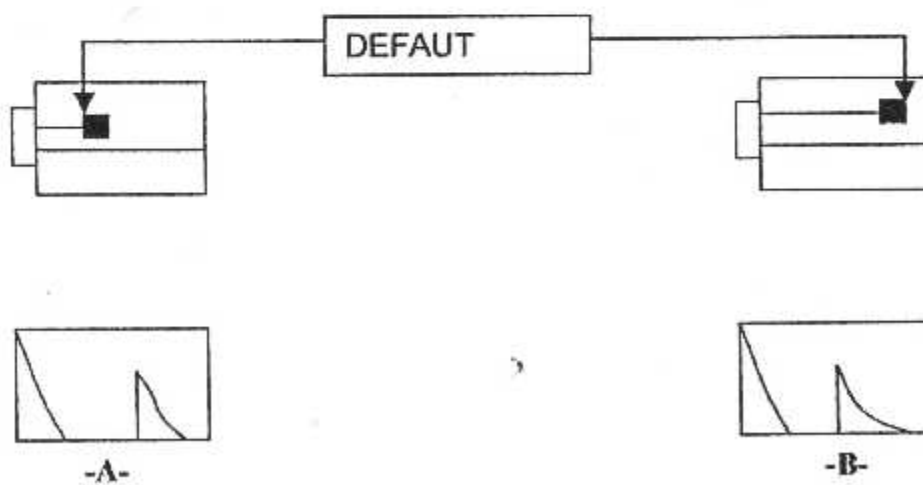


Fig. (II - 3) : visualisation de l'écho sur l'oscilloscope

## **II-3-Rappels théoriques de l'ultrason :**

### **II-3-1- Définitions :**

Un matériau est dit élastique lorsque les contraintes s'annulent en même temps que la déformation, qui constitue dans ce cas un état réversible du corps solide. Les relations qui existent entre contraintes et déformation, pour un milieu donné et à l'intérieur de la limite élastique, peuvent différer selon l'intensité des déformations.

Des forces internes appelées contraintes, vont se développer pour s'opposer à la déformation du corps solide et vont tendre à lui faire reprendre sa forme et son volume initial .

### **II-3-2- Propriétés générales des ondes :**

Une rupture locale des conditions d'équilibre d'un milieu, crée en générale une perturbation qui se propage , c'est une onde progressive. La description d'une onde fait intervenir des paramètres : vitesse, fréquence, vecteur d'ondes dont la définition ne dépend pas de la nature de l'ébranlement.

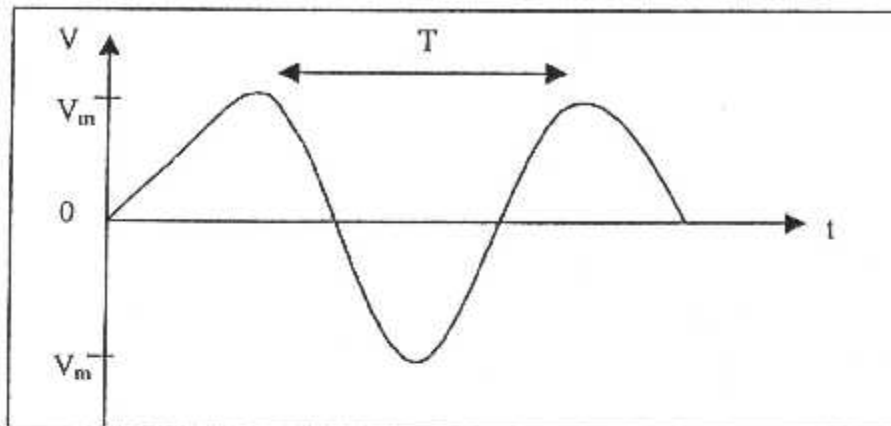
Lorsque le milieu est limité, l'onde progressive se réfléchit sur les bords, Il apparaît une onde stationnaire ou une onde guidée.

### **II-3-3- Phénomène ondulatoire**

Les ultrasons sont des ondes élastiques, tout comme les sons audibles et les infrasons, Ils ne diffèrent entre eux que par leur domaine de fréquences. Mais avant de parler de ces domaines, on doit définir :qu'est ce qu'une onde, qu'est ce qu'une fréquence, qu'est ce qu'une onde élastique ?

On parle d'onde lorsqu'il s'agit d'un phénomène périodique c'est-à-dire un phénomène qui se répète après un certain temps ( $T$ ) appelé période, et la fréquence ( $F$ ) de réapparition du temps  $T$ .  $F=(1÷T)$  s'exprime généralement en cycles /s ou par en Hertz, 1Hz=1 cycle/s.

On peut représenter ce mouvement vibratoire sur graphique dans le temps ou dans l'espace.



**Fig.(II-4) :Phénomène ondulatoire d'une onde ultrasonore**

Le temps nécessaire pour parcourir une oscillation complète est désigné par la période ( $T$ ) en seconde. Le nombre d'oscillation par unité de temps est désigné par la fréquence ( $f$ ) en cycle par seconde ou Hertz.

L'espace parcouru par ( $\lambda$ ). Les relations qui existent entre ces différents paramètres sont les suivantes :

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)} \rightarrow \lambda = \frac{V}{f} \text{ (m)}$$

Avec :

- $\lambda$  : La longueur d'onde ultrasonore
- $V$  : vitesse de propagation dans le matériau (m/s).
- $f$  : la fréquence de réapparition

Les sons d'une manière générale, sont des onde élastiques ou dites aussi mécanique, c'est-à-dire que les ondes sonores sont dues à des déplacements élastiques d'éléments les uns par rapports aux autres. ainsi les forces de rappel vers la position d'équilibre, qui est l'absence de vibration, sont des forces élastiques comme à l'image d'un ressort.

#### II-3-4- Vitesse de propagation :

Nous allons voir que la vitesse des ondes élastiques ne dépend pas de la fréquence, contrairement aux ondes électromagnétique mais qu'elle ne dépend que de la nature des matériaux qui les transportent et du type d'onde. En effet il existe 3 types d'ondes :

- Ondes longitudinales ou de compression.
- Ondes transversales ou de cisaillement.
- Ondes de surface.

Nous allons décrire ces différents types et voir l'influence sur la vitesse de propagation.

➤ **Ondes longitudinales ou de compression :**

En fait, grâce à un support, un matériau, que ce soit un gaz, un liquide ou un solide, ces vibrations élastiques peuvent se transmettre de proche en proche.

On peut montrer, que pour les métaux on a :

$$V_L = K \cdot \sqrt{\frac{R_0}{E}}$$

Avec :

- $V_L$  : Vitesse de propagation d'une onde longitudinale dans les matériaux
- $K$  : constante pour les métaux usuels
- $R_0$  : Densité du matériau ( masse spécifique )
- $E$  : Est le coefficient d'élasticité

On a, dans ce cas, uniquement les ondes longitudinales, c'est-à-dire vibrations à l'axe de la tige. On peut aussi les schématiser par une densité de lignes qui représentent l'état de contrainte, par exemple de pression. On les appelle aussi d'ailleurs ondes de compression.

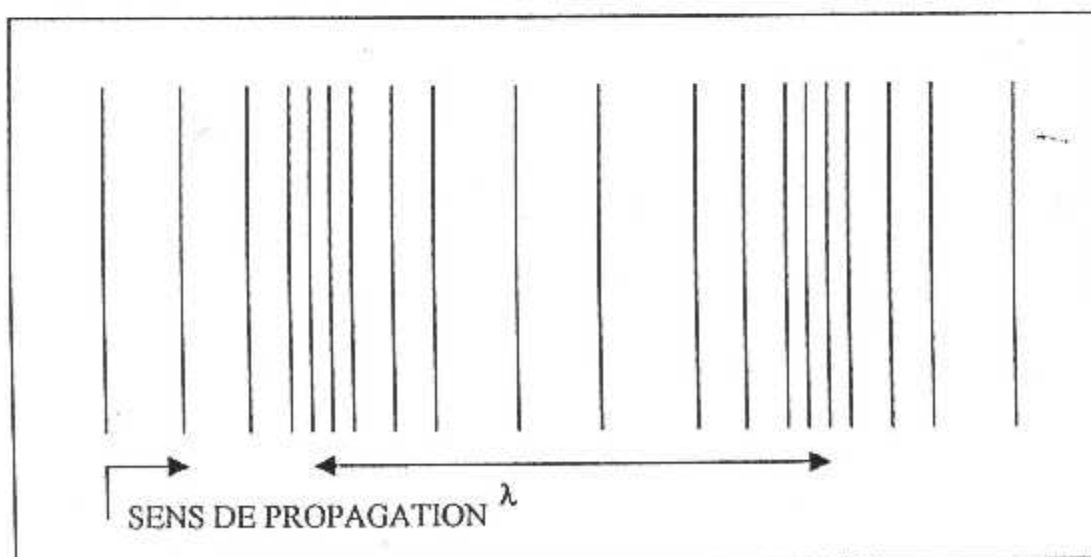
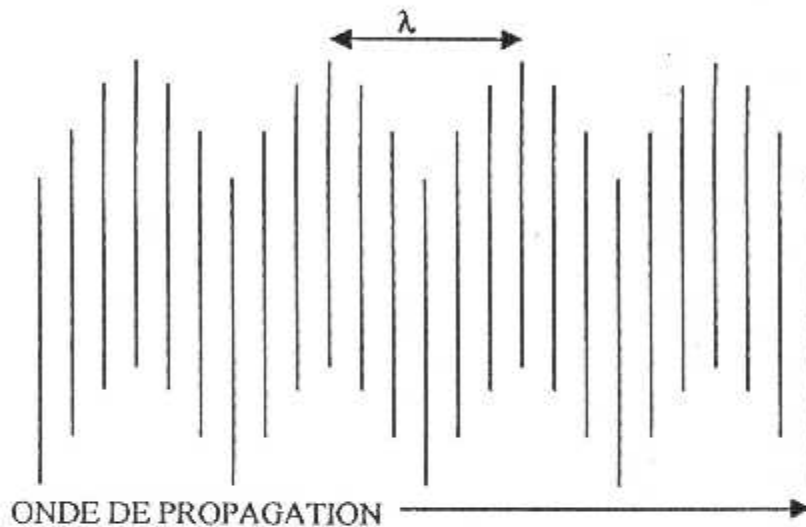


Fig.( II-5 ) : Onde longitudinal

Nous verrons ci après que seules les ondes longitudinales peuvent exister dans les fluides non visqueux d'où les gazes et les liquides en général.

### ➤ Ondes transversales ou de cisaillement [1]

En même temps que des ondes longitudinales, on peut avoir d'autres types de vibration dans les solides ; les ondes transversales représentent l'un de ces types. On peut schématiser ces ondes transversales par le schéma suivant :



**Fig. ( II-6 ) : Onde de cisaillement**

On les appelle également ondes de cisaillement, car elles font intervenir les cisaillements élastiques de la matière. On obtient, pour la vitesse de propagation :

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{R_0}}$$

Avec :

$V_T$  : Vitesse de propagation d'une onde de cisaillement dans les matériaux  
 $G$  : est le module de cisaillement ou glissement élastique de la matière.

Il est à remarquer que pour un liquide ou un gaz  $G=0$  donc ces ondes de cisaillement ou ondes transversales ne peuvent pas exister dans les fluides non visqueux (gaz et liquide)

### ➤ Ondes de surface :

Les vitesses de propagations des ondes de surfaces sont : des ondes de surface acoustique qui n'affecte que les particules du milieu qui se trouvent à proximité immédiate de la surface de séparation de l'air ou avec un autre milieu, de surface d'une étendue d'eau calme lorsqu'on y lance un caillou.

Les ondes de surfaces sont toujours inférieures aux ondes de volume dans un matériau donné, cela tient au fait que les particules qui se trouvent à la surface libre ne subissent pas les forces de cohésions élastiques que sur d'un côté. Alors que les ondes de volumes affectent des particules qui sont entourées de tous les côtés dans le milieu.

### II-3-5-Propagation des ondes élastiques :

Les ondes élastiques créées se propagent suivant leurs nature, soit dans le cœur du matériau, soit à sa surface mais toujours à une vitesse environ 100000 fois inférieure à celle des ondes électromagnétiques. c'est cette propriété des ondes élastiques de se déplacer de quelques millimètres seulement en une microseconde qui est mise en œuvre pour retarder le signal.

Le coefficient d'atténuation des ondes élastiques dépend du milieu et de la polarisation de l'onde. qui augmente avec la fréquence. Les défaut prennent une grande importance lorsque leur dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde, les pertes sont plus grandes, pour un solide poly cristallin que pour un solide mono cristallin.

### II-3.6-Transmission et réflexion des ondes

#### ➤ Généralités et cas des incidences normales :

Lorsqu'une onde ultrasonore rencontre l'interface séparant deux matériaux différents, les phénomènes qui se produisent diffèrent selon les cas, en fonction de :

- L'angle d'incidence
- la nature des deux matériaux, c'est-à-dire leur impédance acoustique.

Par définition, on appelle impédance acoustique spécifique du milieu, l'opposé du rapport de la contrainte dans la direction du déplacement des particules sur la vitesse de ces particules.

Pour les ondes planes longitudinales et transversales, nous aurons respectivement :

$$Z_L = R_0 \cdot V_L \quad Z_T = R_0 \cdot V_T$$

et

Avec :

$Z_L$  : C'est l'impédance acoustique d'une onde longitudinale

$Z_T$  : C'est l'impédance acoustique d'une onde transversale

Les angles étant toujours mesurés par rapport à la normale à l'interface, dans le cas de l'incidence normale (angle d'incidence  $\theta^0$ ) une partie de l'énergie est réfléchiée et l'autre est transmise tout en restant à incidence normale.

Dans l'étude ci-après, il sera question d'amplitude, d'intensité, d'énergie et de puissance. L'intensité d'une onde est égale au carré de son amplitude. La puissance d'un faisceau d'ondes élastiques est l'intensité de ce faisceau multipliée par l'aire traversée par ce faisceau.

L'énergie est cette puissance multipliée par le temps. L'amplitude des ondes réfléchiées et transmises sous une incidence normale à la surface de séparation de deux matériaux d'impédance acoustique.

$$Z_1 = R_{01} \cdot V_1 \quad \text{et} \quad Z_2 = R_{02} \cdot V_2$$

$$\frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Avec :

$Z_1 - Z_2$  : C'est l'amplitude réfléchiée

$Z_1 + Z_2$  : C'est l'amplitude incidente

Pour les intensités on a :

$$\frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Avec:

$(Z_1 - Z_2)^2$  : C'est l'intensité réfléchiée

$(Z_1 + Z_2)^2$  : C'est l'intensité incidente

Si  $Z_1 = Z_2$  pratiquement la totalité de l'intensité est transmise on peut facilement se rendre compte, d'après la formule que l'intensité transmise est très faible ou que l'intensité réfléchiée est très grande pour des matériaux d'impédance ( $Z$ ) acoustique très différente.

Exemple pour ondes longitudinales :

Eau -acier : **88%** réfléchi **12%** transmis

Air- Acier : **99,999%** réfléchi **0,001%** transmis

### ➤ Cas des incidences obliques

Une partie de l'énergie incidente est réfléchie, sous forme d'une onde longitudinale et d'une onde transversale, ou d'une seule de ces deux ondes selon les cas. L'autre partie de l'énergie propage dans le deuxième matériau sous forme d'ondes longitudinales, transversales ou de plusieurs de ces ondes simultanément, selon les cas.

La répartition de l'énergie entre les ondes réfléchie et transmises est fonction du type de l'onde incidente, de la valeur de l'angle d'incidence, et des valeurs respectives des impédances acoustiques des deux matériaux.

### ➤ Etude de la réflexion :

L'onde incidente longitudinale sous incidence  $\alpha_I$  est réfléchi sous forme d'une onde longitudinale de même angle  $\alpha_L$  et d'une onde transversale d'angle  $\alpha_T$ .

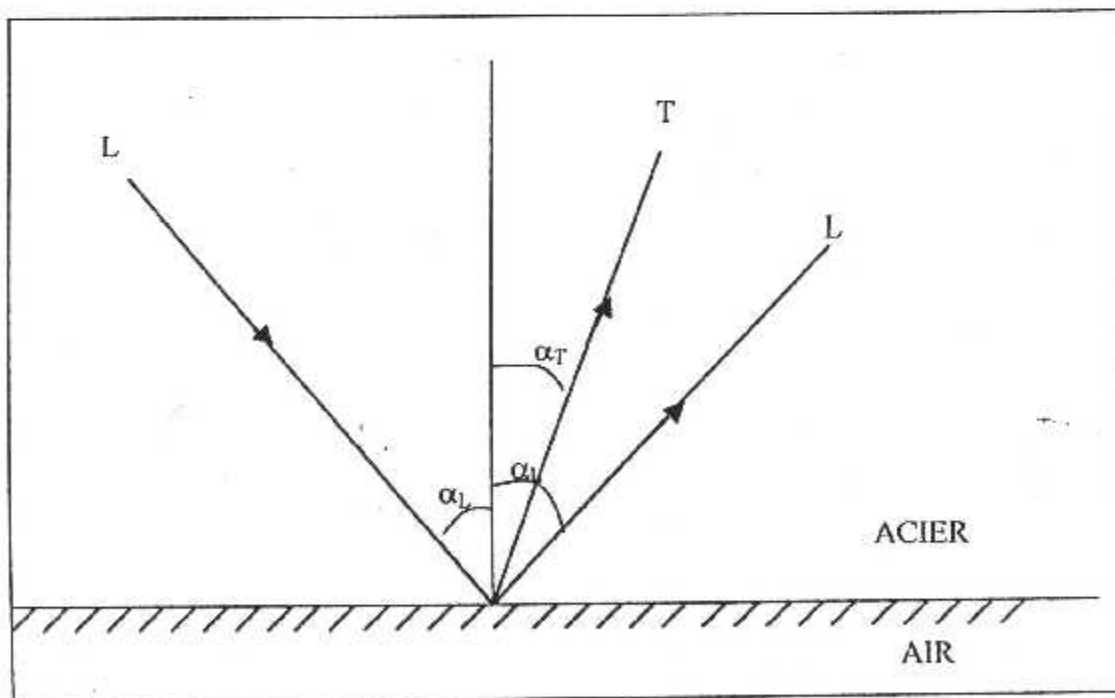


Fig. (II-7) :Phénomène de la réflexion

$V_L$  et  $V_T$  étant les vitesses des ondes longitudinales , et des ondes transversales dans le matériau considéré.



$$\frac{\sin(\alpha_L)}{V_L} = \frac{\sin(\alpha_T)}{V_T}$$

Avec :

$\alpha_L$  : Angle d'incidence de l'onde longitudinale

$\alpha_T$  : Angle d'incidence de l'onde transversale

Au cas où l'onde incidente est une onde transversale, la relation entre les angles reste la même, en considérant que l'angle d'incidence est égal à  $\alpha_T$ .

### ➤ Etude de la réfraction :

L'énergie transmise, comme l'énergie réfléchi, se répartit entre des ondes transversales.

Appelons  $\alpha_T$  et  $\alpha_L$  les angles des ondes Transversale ( T ) et longitudinale ( L ) (incidentes et réfléchies) dans le milieu A,  $\alpha_T'$ ,  $\alpha_L'$  les angles des ondes Transversale et longitudinale réfractées, dans le milieu B,  $V_L$  et  $V_T$  les vitesses des ondes L et T le milieu A,  $V_L'$  et  $V_T'$  les vitesses des ondes L et T dans le milieu B.

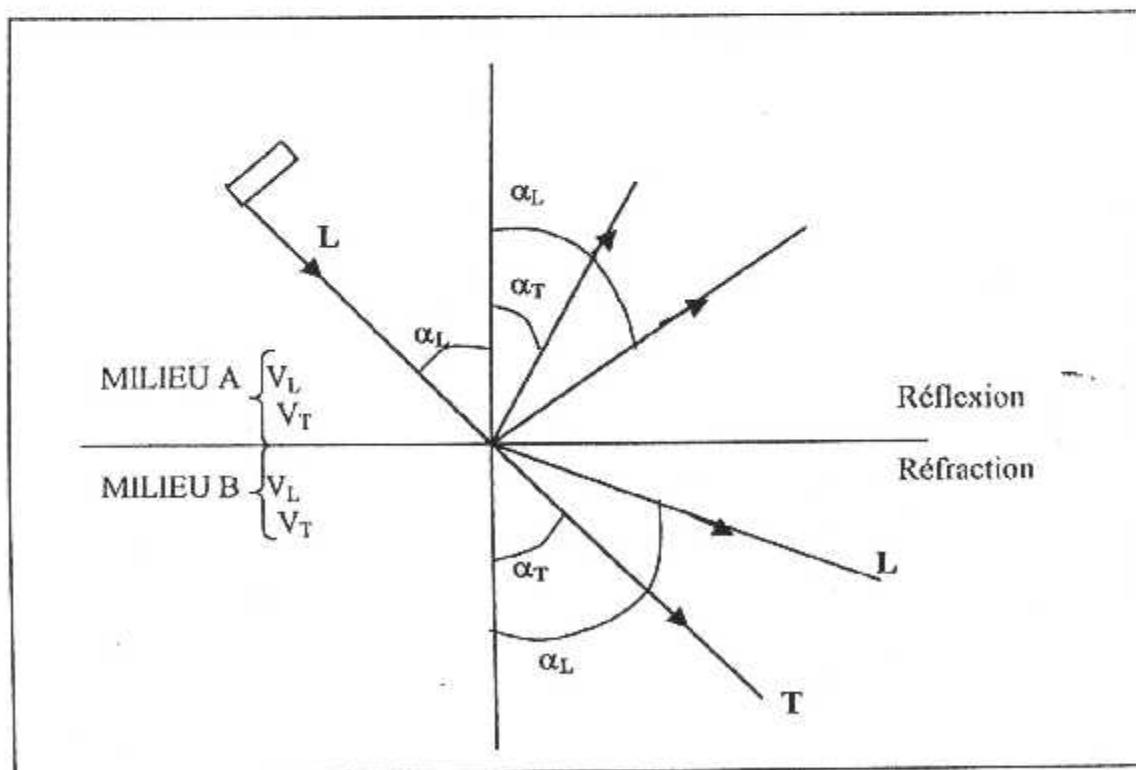


Fig.(II-8) : Phénomène de réfraction

Il existe une relation générale entre ces diverses grandeurs : cette relation est appelée loi des sinus ou loi de **SNELL**.

$$\frac{\sin(\alpha_L)}{V_L} = \frac{\sin(\alpha_T)}{V_T} = \frac{\sin(\alpha_{L'})}{V_{L'}} = \frac{\sin(\alpha_{T'})}{V_{T'}}$$

Puisque le sinus d'un angle est toujours inférieur à 1, si le calcul conduit à une valeur supérieure à 1, cela signifie que l'onde correspondante n'existe pas. La vitesse  $V_L$  est inférieure à la vitesse  $V_{L'}$  : c'est le cas d'un passage du plexiglas vers l'acier.

On appelle le premier angle critique la valeur ( $\alpha_{Lc}$ ) qui correspond à ( $\alpha_L=90^\circ$ ) et on appelle deuxième angle critique la valeur ( $\alpha_{2c}$ ) qui correspond à ( $\alpha_T=90^\circ$ ).

### II-3-7- Absorption :

Comme l'absorption augmente avec la fréquence, on peut se demander, pourquoi on utilise des ultrasons au lieu des sons audibles, Il faut en rechercher la raison dans le fait que pratiquement, il n'est pas possible d'avoir une propagation dirigée qu'avec des ultrasons.

En effet, si on peut détecter un défaut au moyen de sons audibles et d'après le fait que cela sonnera faux ou pas, de rejeter ou d'accepter un produit, Cette méthode, quoique économique et pratique ne permet pas de détacher de petits défauts et surtout de savoir où se trouve ce défaut.

### II-3-8-Diffusion :

Les causes de diffusion des vibrations élastiques mécaniques et en particulier des ultrasons, sont dues au diamètre du grain du matériau ausculté. D'une part, une croissance de la diffusion d'où de l'absorption par diffusion lorsque le diamètre du grain diminue. Ceci s'explique par le plus grand nombre de surfaces de grains. Cette absorption est  $V_T$  liée à la fréquence mais montre néanmoins une diminution avec celle-ci.

D'autre part, une croissance, jusqu'à un maximum, de la diffusion lorsque le diamètre du grain augmente. Ce maximum est fonction de la longueur d'onde et se situe aux environs de  $\lambda=d$  où  $d$  est le diamètre du grain.

Ce phénomène, que cache généralement le premier, peut s'expliquer par une mise en résonance de ces grains, qui émettent dans toutes les directions des ultrasons, et chaque grain devenant émetteur.

Ce phénomène apparaît, pour une fréquence donnée, qu'au-delà d'une certaine grosseur de grains c'est ainsi qu'il faut parfois travailler à des fréquences de 0.5 MHz pour certains types d'acier. Bien sûr à ces fréquences, le faisceau devient de moins en moins dirigé.

#### II-4 - Propagation dirigée des ultrasons

##### ➤ Champ proche [1]

Chaque point du cristal peut être considéré comme un point d'émission. Il y a donc des interférences entre ces différentes sources d'émission.

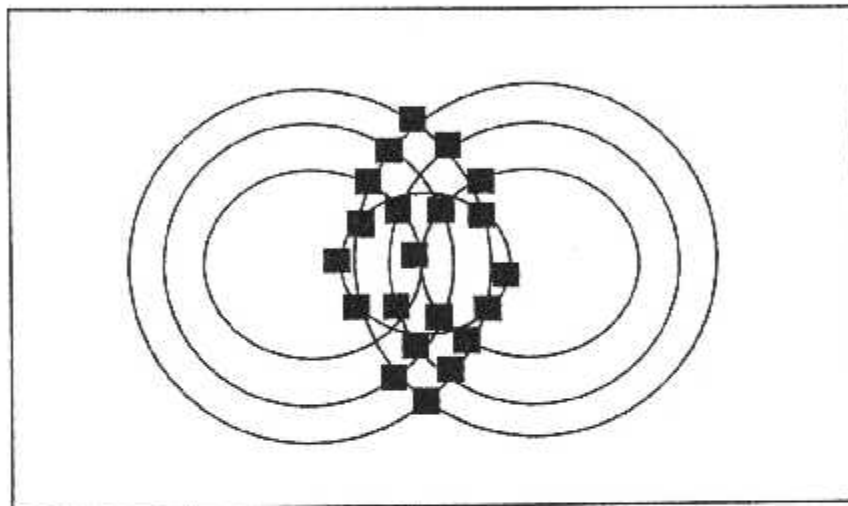


Fig.( II-9) : Champ proche d'un point interférence entre deux ondes

Cette interférence produit une variation irrégulière de la pression acoustique près du cristal.

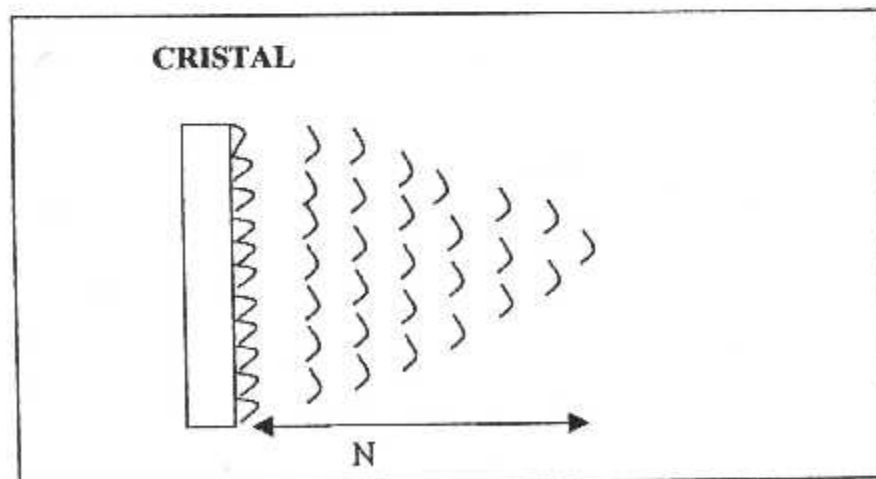


Fig.(II-10) :Champ poche irrégulière

La longueur de cette zone d'interférence appelée champ proche est donnée par la relation :

$$N = \frac{D^2}{4\lambda}$$

Avec :

**D** : Diamètre du cristal.

$\lambda$  : longueur d'onde dans le matériau.

On voit l'intérêt d'employer de basses fréquences, donc des grandes longueurs d'ondes ainsi que de petits diamètres, pour diminuer ce champ proche. Souvent, lorsqu'on risque d'être gêné par ce champ rapproché, on travaille de préférence entre deux échos successifs.

### ➤ Champ éloigné ou ouverture d'angle

Après le champ proche, le front des ondes considéré comme une onde plane et le son se propage dans un cône.

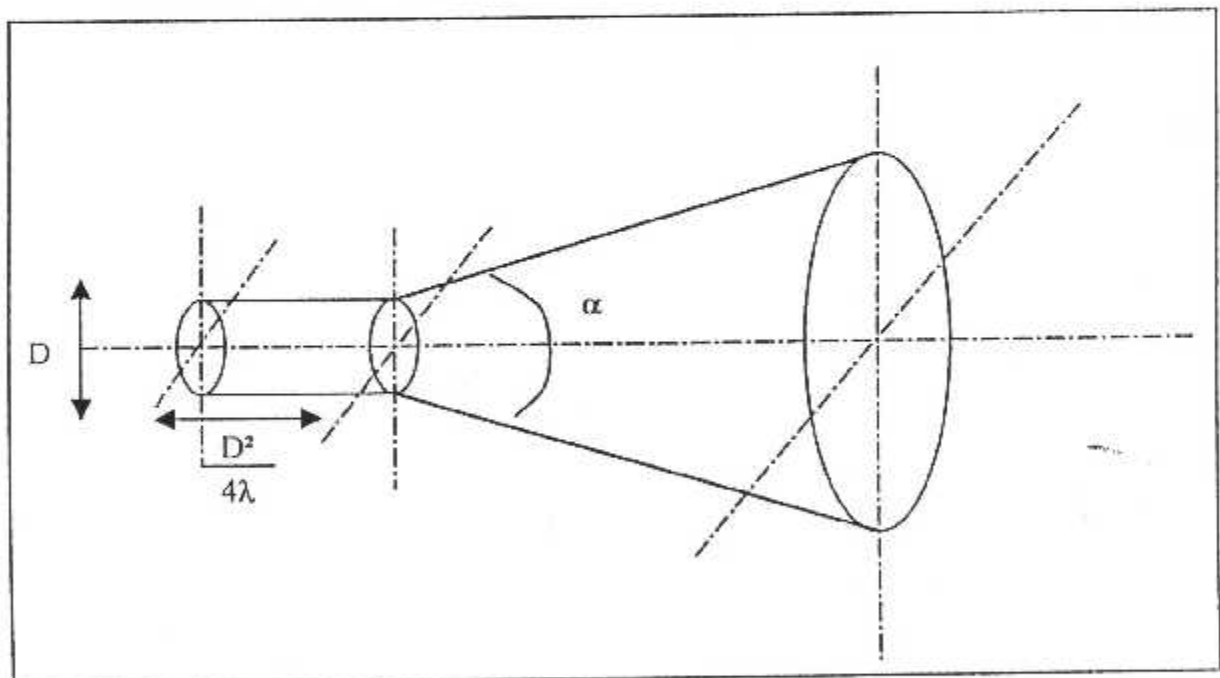


Fig.( II-11 ) : Champ éloigné ou ouverture d'angle

Pour un cristal circulaire, l'angle de dispersion est donné par la formule de Fraunhofer :

$$\sin \left( \frac{\alpha}{2} \right) = K \cdot \left( \frac{\lambda}{D} \right)$$

Dans laquelle k est une constante dépendant de la limite de diffusion du faisceau, c'est-à-dire le niveau d'énergie qu'on veut considérer .

Par exemple :

K=1.22	100%	du faisceau
K=1.08	90%	du faisceau
K=0.56	50%	du faisceau

Pour une source rectangulaire, dont les cotés sont a et b, la formule devient :

$$\sin \left( \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{\lambda}{a} \text{ ou } \frac{\lambda}{b} \text{ dans les directions respectives a et b.}$$

Il est bon d'insérer une fois de plus sur le fait que plus de diamètre de l'émetteur est élevé plus la propagation sera dirigée. Il en est de même dans le cas de la diminution de la longueur d'onde dans le matériau, c'est-à-dire une augmentation de la fréquence du faisceau ultrasonore.

On voit ici apparaître tout l'avantage des ultrasons, car ces ondes permettent d'obtenir, pour des diamètres d'émetteur acceptable, des propagations dirigées.

## II-5- Les transducteurs ultrasonores et leur conception

### II-5-1- Piézo-électricité et matériau piézo-électrique

S'il existe plusieurs méthodes pour produire des ultrasons, la seule utilisée couramment à l'heure actuelle est basée sur l'effet piézo-électrique.

L'effet piézo-électrique est une propriété qu'ont certains cristaux de se déformer lorsqu'ils sont soumis à un potentiel électrique. Comme l'amplitude et le sens de la variation de forme varient comme l'amplitude et le sens de la variation du potentiel, si ces cristaux sont soumis à un potentiel, ils vibrent à la même fréquence.

Ce sont donc des transformateurs d'un signal électrique alternatif en une vibration mécanique alternative. Il est à remarquer que l'effet est réversible c'est-à-dire que si on applique des vibrations mécaniques au cristal, ce dernier va créer un champ électrique variable.

Etant donné que le rendement d'un cristal sensible à l'effet piézo-électrique est fonction non seulement de la nature du cristal mais également de la fréquence, et surtout du rapport épaisseur longueur d'onde, Car le rendement maximum est obtenu lorsque le signal vibre à une fréquence de résonance.

On s'arrangera donc pour avoir :  $t = k \cdot (\lambda)$

Avec :

$t$  : est l'épaisseur du cristal

$K=1$  ( on prendra souvent )

$t = \lambda / 2$  (fréquence fondamentale).

On disposera actuellement de nombreux matériaux présentant des propriétés piézo-électriques dont voici les plus importants :

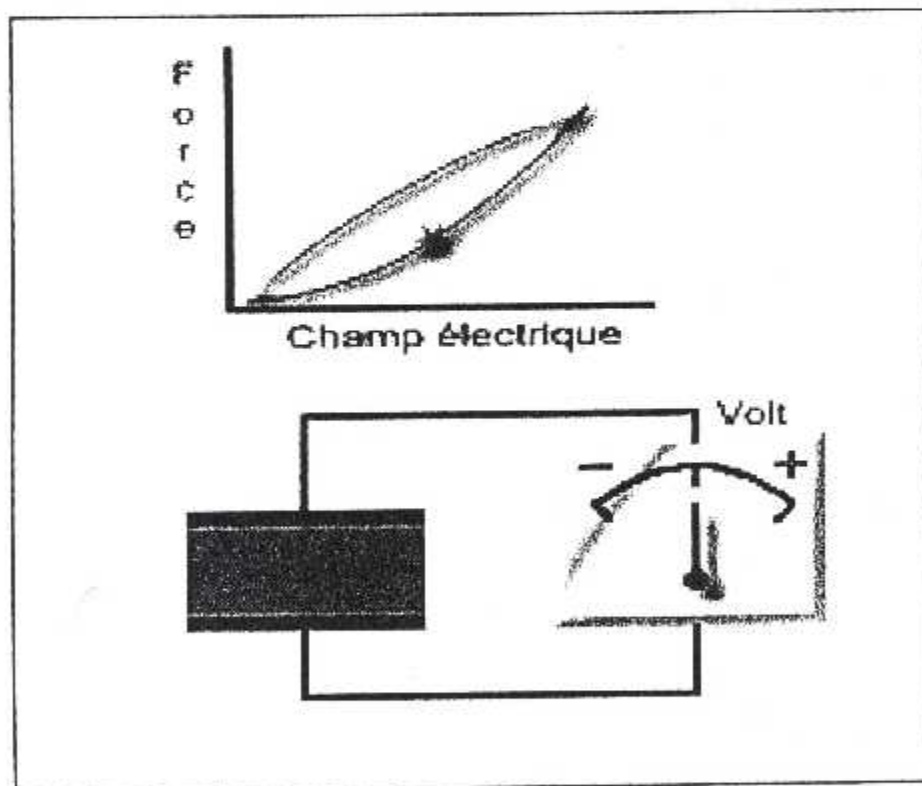
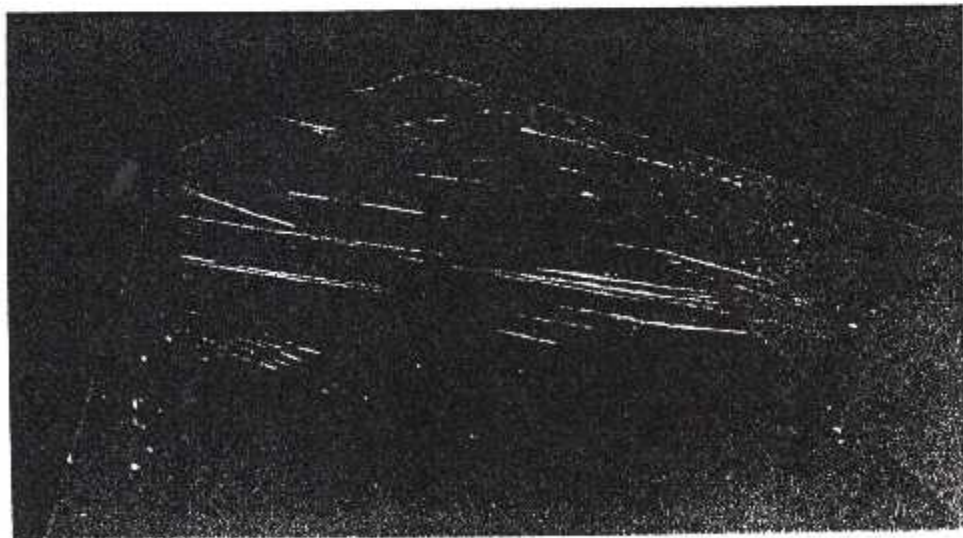


Fig.(II-12) :Effet piézo-électrique

- **Système cubique**
  - Arséniure de Gallium (**A s G a**)
  - Oxyde de Bismuth et Germanium (**Bi<sub>12</sub> GeO<sub>20</sub>**)
  
- **Système hexagonal**
  - Céramique **PZT-4**
  - Oxyde de Zinc (**Z n O**)
  - Sulfure de Cadmium (**CDS**)
  
- **Système tétragonal**
  - Paratellurite (**TeO<sub>2</sub>**)
  - Titanate de Baryum (**BaTiO<sub>3</sub>**)
  
- **Système trigonal**
  - Niobate de Lithium (**LiNbO<sub>3</sub>**)
  - Tantalate de Lithium (**LiTaO<sub>3</sub>**)
  - Quartz (**SiO<sub>2</sub>**)
  
- **Système orthorhombique**
  - Niobate de Baryum et de Sodium (**Ba<sub>2</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub>**)



**Fig.(II-13) : Matériau piézo-électrique ( quartz)**

### II-5-2-Génération et détection des ondes élastiques :

Nous abordons à présent la génération et la détection, par effet piézo-électrique, d'une part des ondes de volume longitudinales ou transversales, d'autres part des ondes de surfaces.

#### II-5-2-1-Transducteur pour ondes de volume :

Un transducteur comprend essentiellement, comme l'indique la figure.(II.14), un matériau piézo-électrique portant deux électrodes métalliques. Le champ électrique du signal appliqué entre les électrodes met en vibration le solide piézo-électrique dont l'épaisseur est égale à une fraction de la longueur d'onde élastique.

L'électrode interne fixé sur le milieu de propagation est traversée par le faisceau d'ondes élastiques, dont les dimensions sont imposées par l'électrode extérieure . Le milieu de propagation est disposé par rapport au transducteur de façon que le mode élastique soit un mode pur.

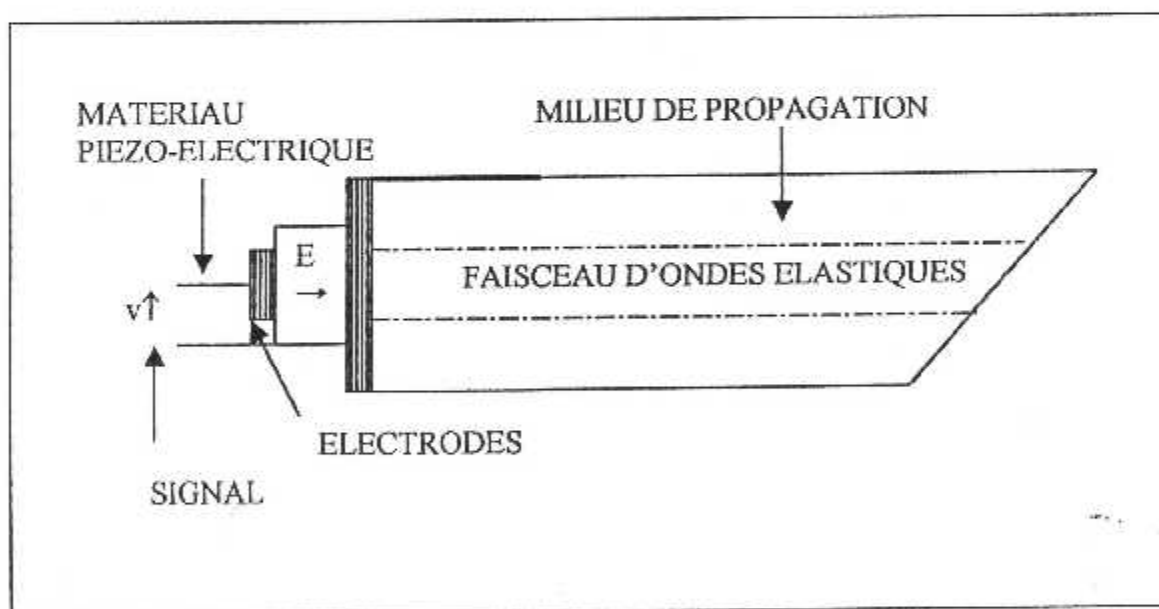


Fig.(II-14): Structure d'un transducteur à ondes de volume.

La puissance élastique utile est donnée par :

$$P = \left( \frac{1}{2} \right) Z \cdot V^2 \cdot |a|^{2 \times \Lambda}$$



Avec:

- E** : Est le champ électrique du signal appliqué entre les deux électrodes
- Z** : Est l'impédance élastique par unité de surface du milieu de propagation
- A** : Est la section du faisceau
- V** : La vitesse du signal électrique
- |a|** : Est l'amplitude de l'onde ultrasonore

### II-5-2-2- Transducteur pour ondes de surface [2]

Le terme onde de surface s'applique en principe à toute déformation, qui se propage en n'ébranlant qu'une faible épaisseur de matière s'évaluant en prenant pour unité la longueur d'onde.

Nous citons ici brièvement le fonctionnement d'un transducteur pour onde de surface à électrodes inter digitées . Ce transducteur comprend comme l'indique la figure ci-dessous, deux électrodes métalliques en forme de peigne déposées sur un substrat piézo-électrique .

La tension électrique appliquée entre les deux électrodes crée un champ électrique qui engendre des compressions et des dilatations au voisinage de la surface donnant naissance à différent type d'ondes élastiques.

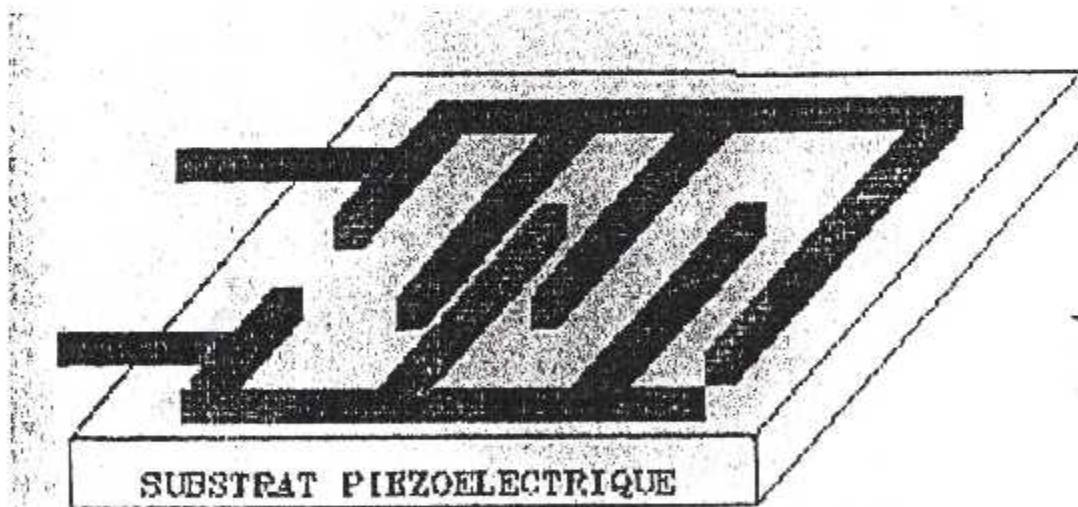


Fig.(II-15): Transducteur à électrodes, inter digitées.

La tension électrique appliquée entre les électrodes, en forme de peigne, crée des contraintes à la surface du matériau

### II-5-3- Types des transducteurs :

Dans tout système de détection des défauts par ultrasons, le choix du transducteur revêt une très grande importance, ce choix n'est pas toujours aisé car divers facteurs contradictoires ont besoin d'être coordonnés et pour la plupart des problèmes posés, la solution est généralement un compromis, Il est impossible de résoudre, par un seul type de transducteur, les multiples problèmes de détection , et il est nécessaire d'adapter la conception de chaque transducteur à objectif déterminé

#### II-5-3-1- Transducteurs droits ou normaux

Le transducteur normal, appelé aussi transducteur droit, est celui qui émet des ondes de compression (longitudinales) et les transmet à la pièce perpendiculairement au plan de la surface sur laquelle il est appliqué.

Ce type de transducteur est utilisé dans les méthodes d'examen par réflexion en jouant successivement le rôle d'émetteur et de récepteur ou dans les techniques de transmission soit comme émetteur, soit comme récepteur.

Il existe des transducteurs à contact direct sur la surface en examen et des transducteurs protégés contre l'usure par une pastille en matière synthétique ou une capsule mince de métal léger.

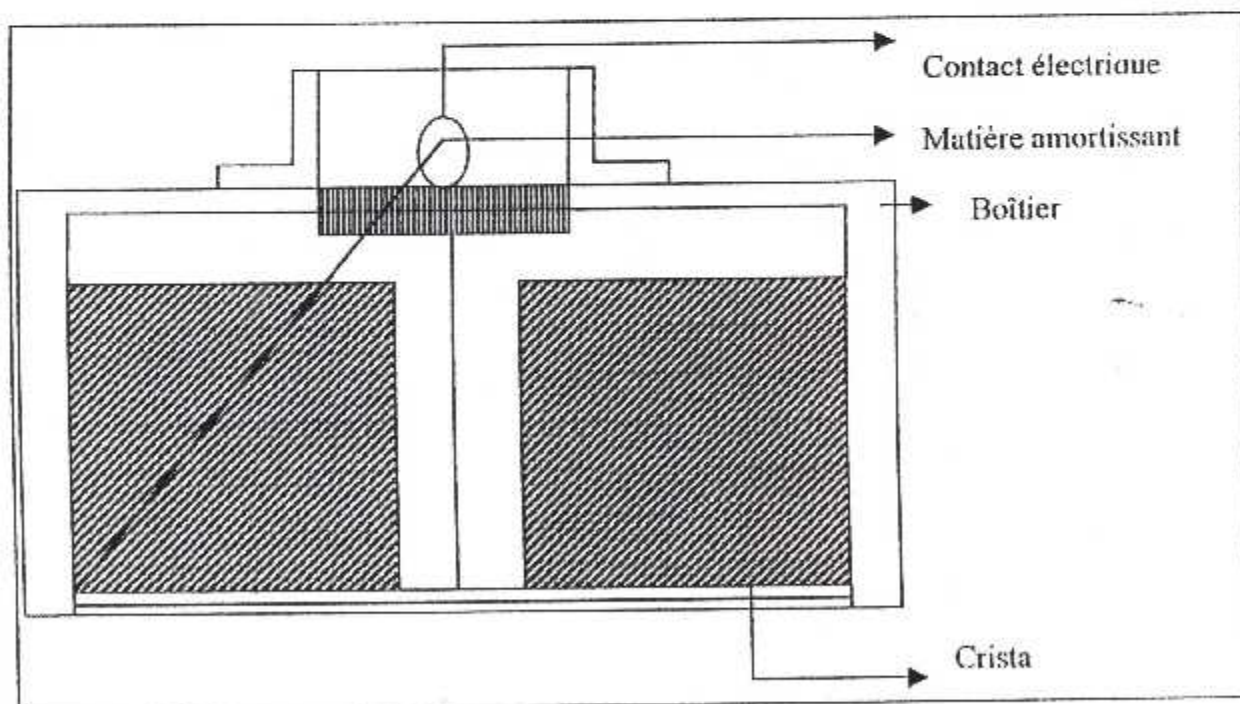


Fig.( II-16): Transducteurs droits ou normaux

Tous les transducteurs doivent être très convenablement amortis à l'aide d'un matériau qui possède une impédance acoustique plus grande que celle du cristal. Ce matériau doit être capable d'absorber toutes les vibrations provenant de la face arrière du cristal pour limiter la durée de l'impulsion émise.

Ce matériau, doit en outre, être un isolant électrique . On utilise habituellement le caoutchouc synthétique ; de la qualité de l'amortissement dépendront les propriétés de sensibilité et de pouvoir de résolution du transducteur .

L'habillage des transducteurs, constitué d'un boîtier métallique doit être conçu pour un support rigide pour le cristal. Les fréquences les plus utilisées sont de : 0,5 -1-2-4-5-6 et 10 MHz.

### II-5-3-2- Transducteurs doubles

les transducteurs doubles ou « **émetteur récepteur** » sont constitué comme le montre la figure.(II-4 ), de deux cristaux jumelés dans un seul bloc support . les cristaux sont inclinés afin de permettre par chevauchement des zones déterminées au sein de la pièce en examen. Il est indispensable d'assurer l'isolement acoustique entre les deux transducteurs afin d'empêcher la transmission directe de l'émetteur au récepteur.

Les modèles les plus courants sont amortis de la même façon que les mono palpeurs et montés sur bloc de plexiglas.

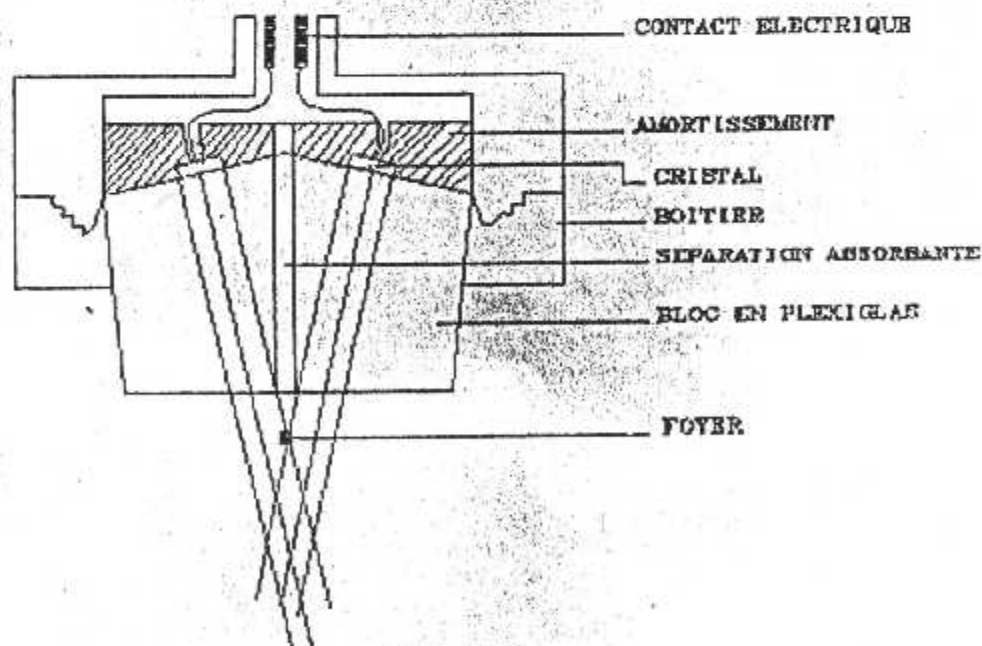


Fig.(II-17) : Transducteurs doubles

Et Grâce à ces transducteurs doubles, on s'affranchit de la zone morte (c'est une zone qui est due au fait que l'amortissement du cristal prend un certain temps et l'impulsion émise se réfléchit en partie dans la semelle du transducteur, dans cette zone.

On ne sait pas distinguer les échos) des mono palpeurs et l'on peut détecter des défauts très près de la surface en examen ou mesurer des épaisseurs de paroi avec une précision de 0.2 mm, Toutefois, il faut mentionner que la sensibilité de ces transducteurs est maximum au point d'insertion ou foyer des faisceaux et il est impossible de définir les notions de champ proche et champ éloigné.

L'utilité des transducteurs émetteurs récepteurs s'étend, pour un transducteur déterminé, sur une profondeur relativement courte . Chacun d'eux est caractérisé, outre le diamètre, la fréquence et le type de cristal , par le domaine de profondeur utile d'examen et le point de focalisation.

### II-5-3-3- Transducteurs irrigués

Pour les essais en « continu » ou pour l'examen de très grande surface, l'eau est utilisée comme agent de couplage . Elle est introduite sous pression par des orifices situés à l'avant du transducteur , et distribuée au niveau de l'interface transducteur pièce en irriguant ce milieu de façon continue.

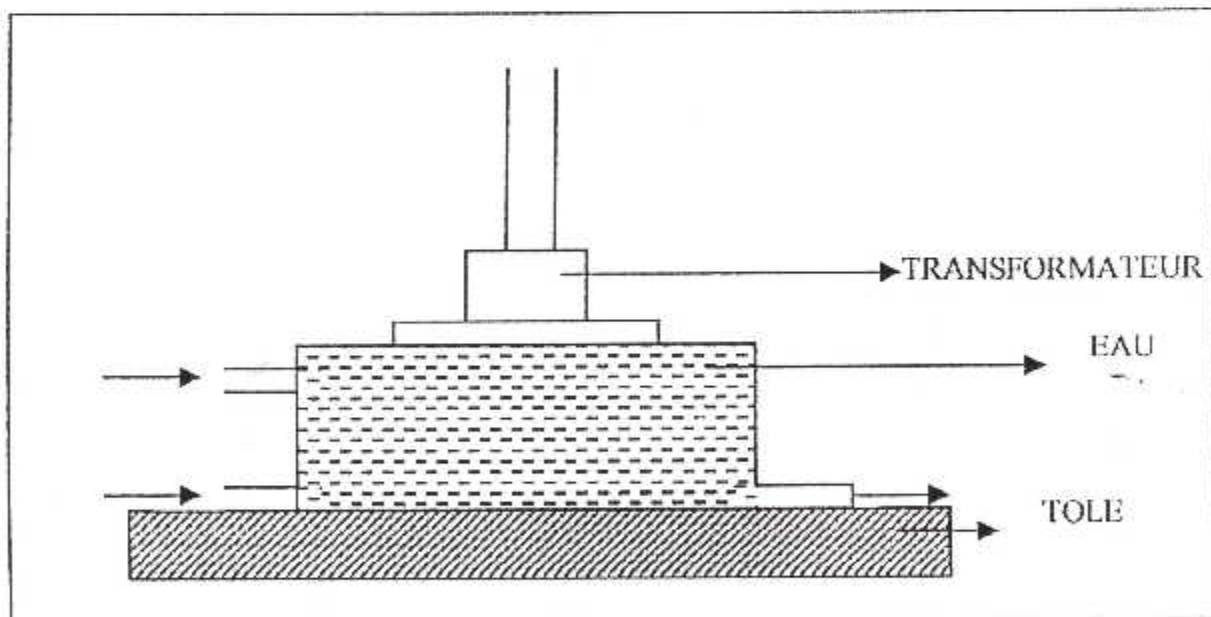


Fig.(II-18) : Transducteur irrigués

#### II-5-3-4- Transducteurs d'angle (à onde de cisaillement)

On pourrait obtenir des ondes de cisaillement ou ondes transversales à partir d'un quartz taillé en y mais les ondes transversales ne passant pas dans les liquides, et il faudrait alors coller le quartz sur la pièce.

Il existe un moyen plus commode de produire des ondes transversales à partir des ondes longitudinales, par le phénomène de réfraction. Il suffit d'envoyer une onde longitudinale incidente entre le premier et le deuxième angle critique. Les transducteurs d'angle produisant uniquement des ondes transversales dans les matériaux qui sont constitués comme l'indique la figure.(II-19), d'un cristal, généralement du détente de Baryum métallisé sur ses faces et munis de ses contacts électrique et appliqué sous un angle adéquat sur un bloc de plexiglas.

Le dispositif d'amortissement est de même nature que dans les transducteurs droits ; un boîtier métallique protège l'ensemble des éléments et donne la robustesse mécanique nécessaire.

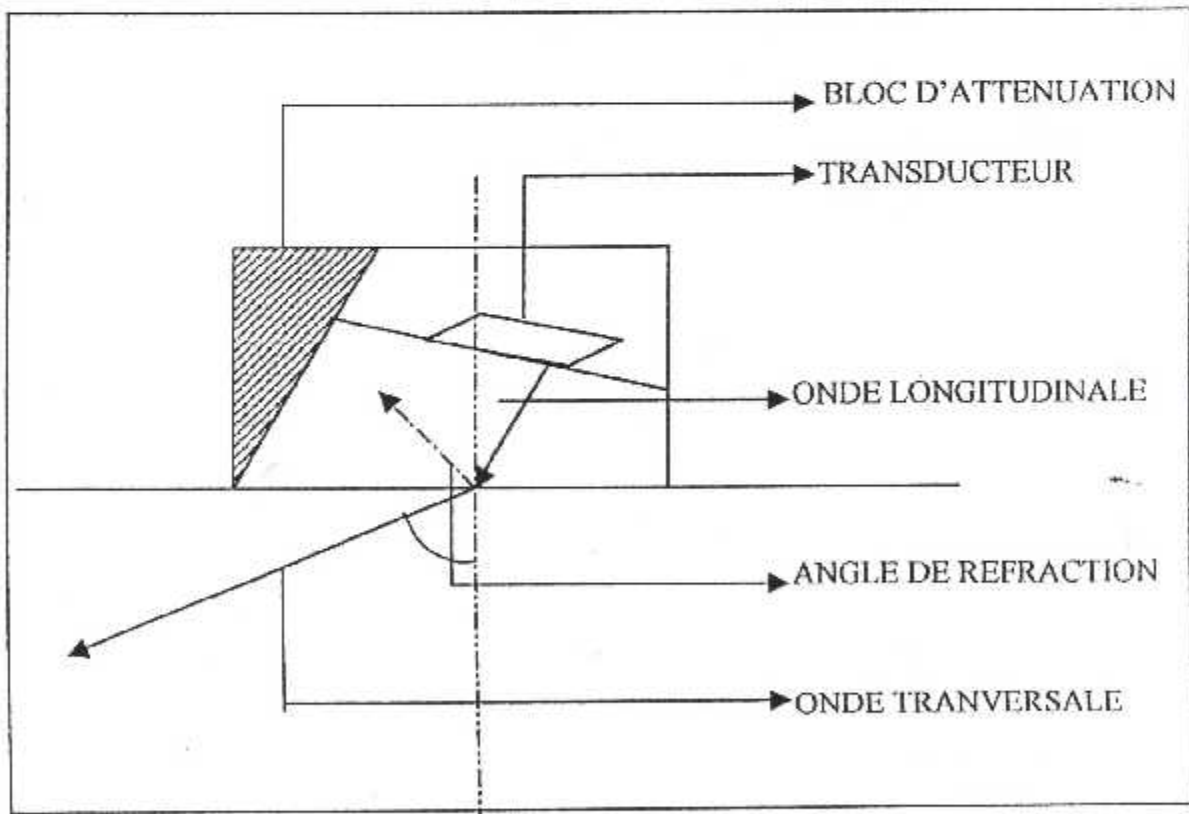


Fig.(II-19) : Transducteur d'angle

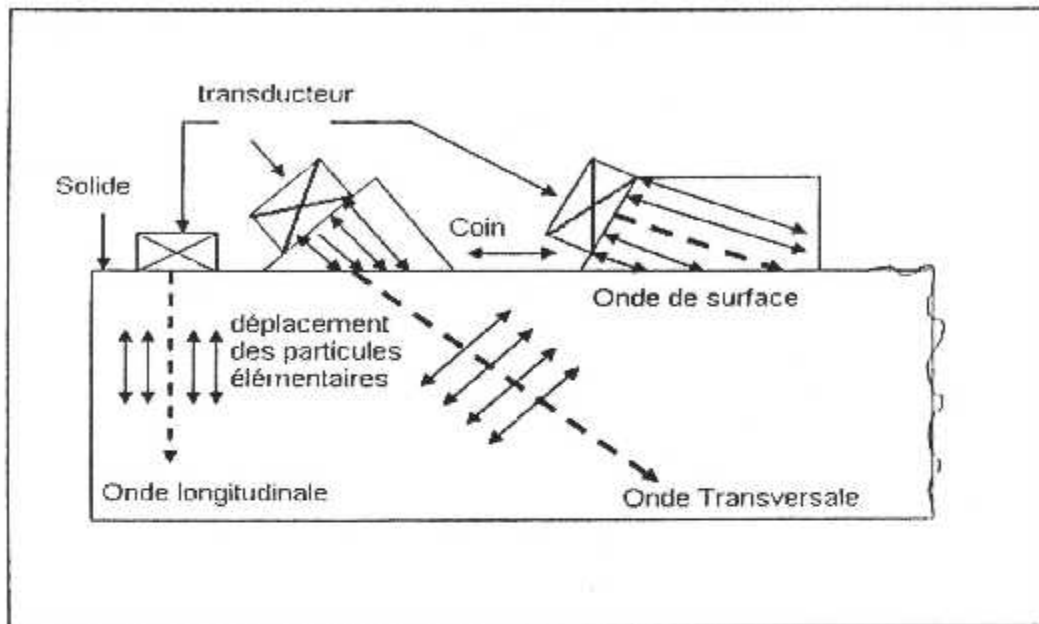


Fig.(II-20) :Création des différentes ondes

## II-6- Technique de contrôle par ultrason

Compte tenu de la diversité des pièces à contrôler , différentes méthodes sont mises à la disposition de l'opérateur .

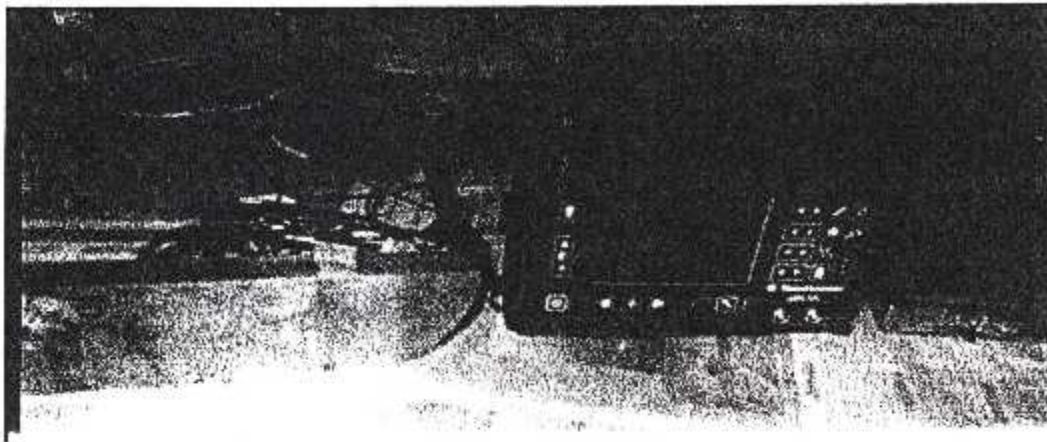
Pour choisir la méthode de contrôle donnant le meilleur résultat de manière la plus simple (suivant un type de pièce et un niveau de sévérité de contrôle donné). Il est important de connaître les différentes techniques d'utilisation et de représentation, il existe trois techniques pour réaliser le contrôle de la pièce qui sont :

- Technique de contrôle par contact
- Technique de contrôle par immersion
- Technique de contrôle par irrigation

On distingue ces méthode par la liaison entre la pièce et le palpeur .

### II-6-1 Technique de contrôle par contact :

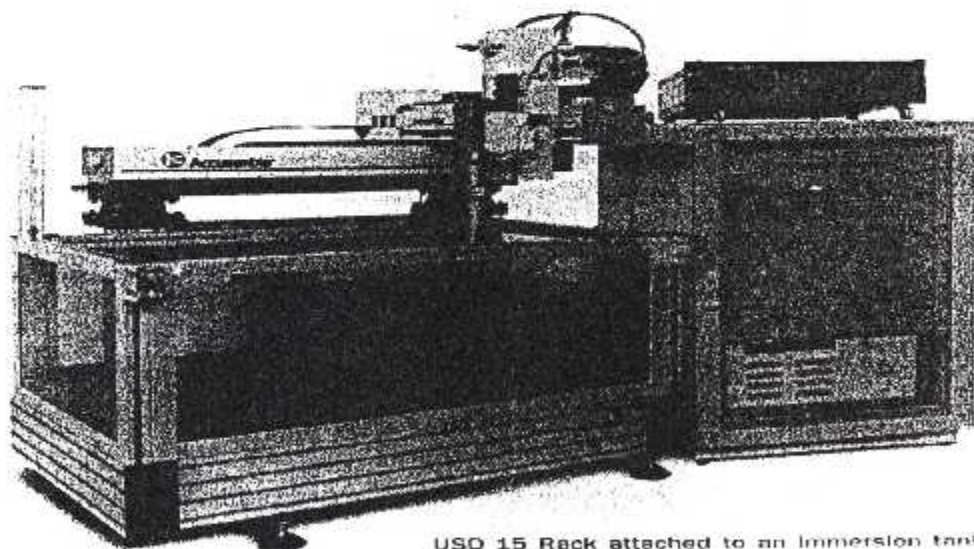
le palpeur est appliqué directement sur la pièce examinée. Un liquide de couplage (ou couplant ) est interposé entre le palpeur et la pièce. Pour examiner l'ensemble de la pièce ,il faut déplacer le palpeur par balayage manuel ou automatique. fig. (II.21) .



**Fig.(II-21) : Méthode de contrôle par contact**

#### II-6-2- Technique de contrôle par immersion :

la pièce à contrôler est immergée dans le liquide de couplage .Le palpeur et la pièce ne sont plus directement en contact .Le sondage peut être manuel mais la plupart des cas ,il est automatique. (fig.II.22)



**Fig.(II-22) : Méthode de contrôle par immersion**

### **II-7-Structure d'un appareil à ultrason :**

La structure de base d'un appareil ultrasonore pour contrôle non destructif comprend cinq parties :

#### **A) Un générateur pilote :**

C'est un générateur qui délivre des impulsions récurrents de fréquence stable ce générateur à un double rôle :

- Il synchronise la base de temps du dispositif de visualisation
- Il déclenche le générateur d'impulsion

#### **B) Un circuit de base de temps :**

C'est un circuit qui délivre des signaux en dent de scie servant de balayage à l'oscilloscope ou du dispositif de visualisation , ce circuit est relié au transducteur .

#### **C) Un amplificateur de réception**

Leur rôle est d'amplifier les signaux reçue avant de les appliquer aux plaques de déviation .

#### **D) Un circuit de démodulation ,et de filtrage :**

Ce circuit n'est pas indisponible mais il assure une meilleure exploitation des résultats , le rôle de ce circuit est d'extraire du signal électrique complexes. et il reçu le signal de base correspondant à l'enveloppe des trains d'ondes .



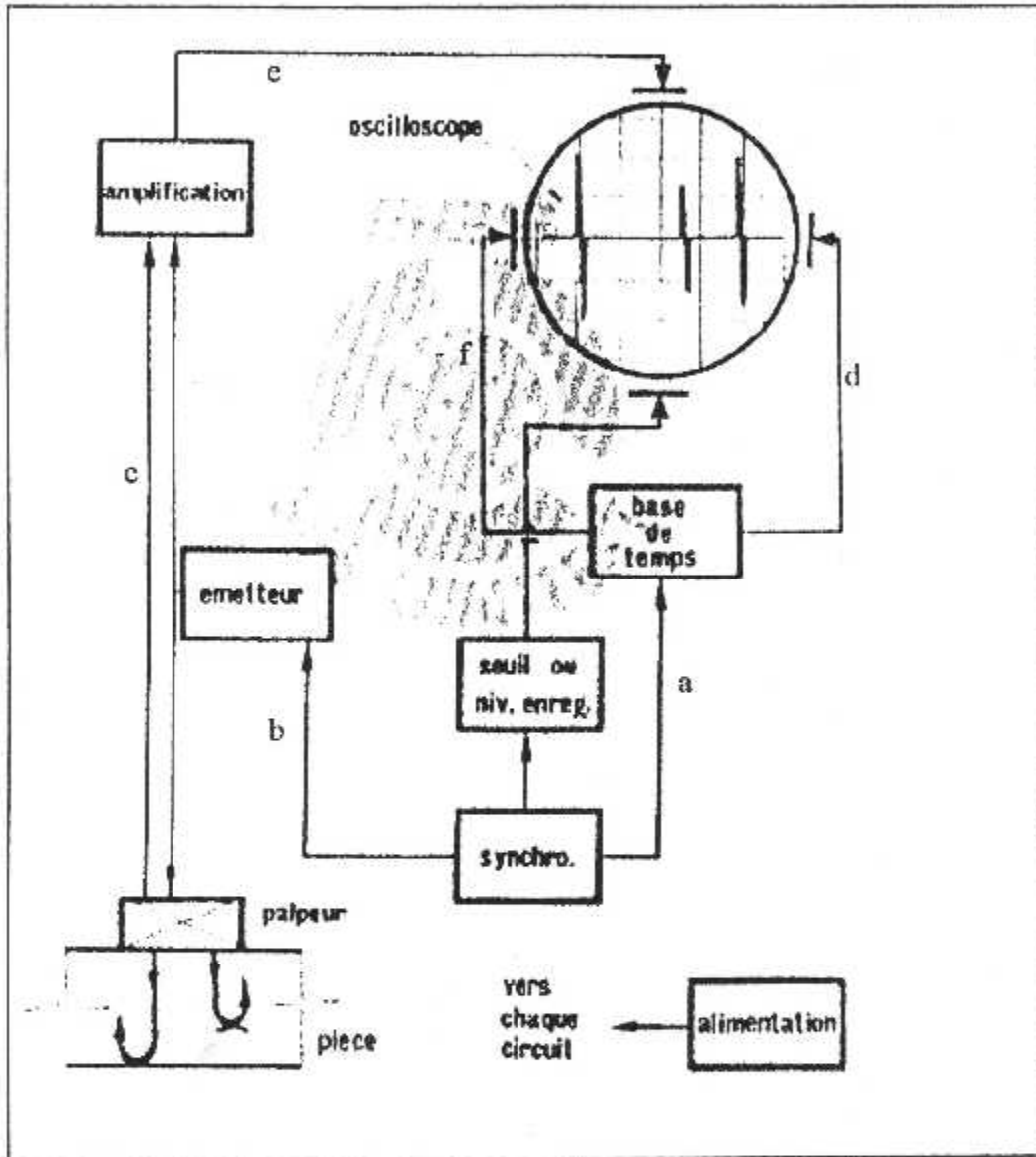


Fig.(II-23) : Structure d'un appareil à ultrason

**Remarque :**

- Le balayage de l'oscilloscope démarre avant l'émission d'impulsion
- En « c », et en « e » ou à des signaux de même forme ont des amplitudes différentes

L'impulsion émise a toujours une amplitude beaucoup plus importante que celle des échos ( on parle d'impulsions électriques ). Il peut en résulter soit une saturation de l'amplificateur de réception ou bien sa destruction, Il faut donc prévoir un circuit supplémentaire qui déconnecte pendant l'émission l'entrée du récepteur alors le récepteur est inopérant pendant la durée de l'émission on dit qu'il est « morte »

Si on cherche des défauts très près de la surface de la pièce on ne pourra pas les détecter pour (surface de la pièce) diminuer cette zone « morte » il faut diminuer la largeur de l'impulsion émise ( nous on ne peut pas aller en de ça d'une limite ) ou allonger le trajet de l'impulsion de départ de manière à retarder le temps  $t_1$  d'apparition du défaut

Cette dernière méthode consiste à placer entre le transducteur et la pièce un matériau on jeûne calibrée de façon que le temps de parcours soit supérieur à la largeur de l'impulsion. Ce pendant cette méthode n'est pas toujours applicable et dans le cas de rôles par exemple on préfère utiliser des ondes de surface.

**II-8- Application des ultrasons en aéronautique :**

Dans le domaine aéronautique ,les ultrasons à un grand intérêt , car la maintenance des avions exige des vérifications successives très détaillées de l'état de la cellule ,et de tous les systèmes constitutifs tels que : système carburant, système pneumatique ,l'assemblage des pièces etc...., pour accomplir la mission ,et On veut donc connaître l'application des ultrasons en tous les organes de l'avion ,soit dans le moteur ,ou bien dans la structure avec l'heure de vol de chaque pièce inspecter à l'aide des Schémas suivants .

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* Nez d'avion (radôme)	<b>350 HDV</b>	<b>A, D</b>
* panneau de revêtement supérieur de crique (1)	<b>400 HDV</b>	
* les trappes du train d'atterrissage (2)	<b>300 HDV</b>	
* panneau inférieur du revêtement de bord de fuite au niveau du fixation du train (3)	<b>400 HDV</b>	
* la planche de la sortie du train d'atterrissage (4)	<b>250 HDV</b>	
* capot de carénage de soutien d'aile (5)	<b>300 - 400 HDV</b>	
* carénage de bord de fuite (6)	<b>400 HDV</b>	

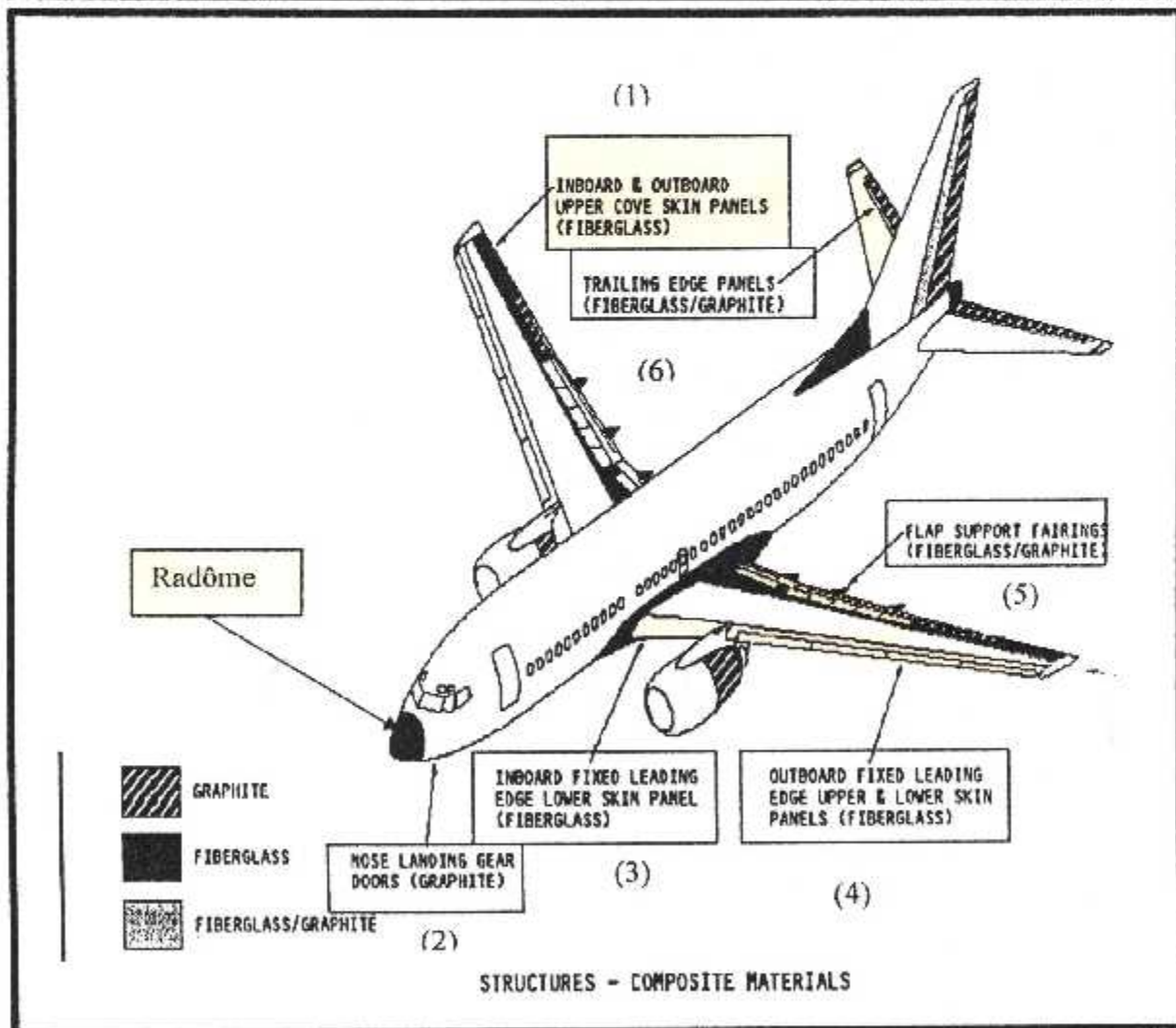


Fig. (II-24) : Contrôle des organes en composite

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* anneau de turbine (1) * panneau des accessoires du réservoir du carburant (2)	100 HDV	Visite journalières

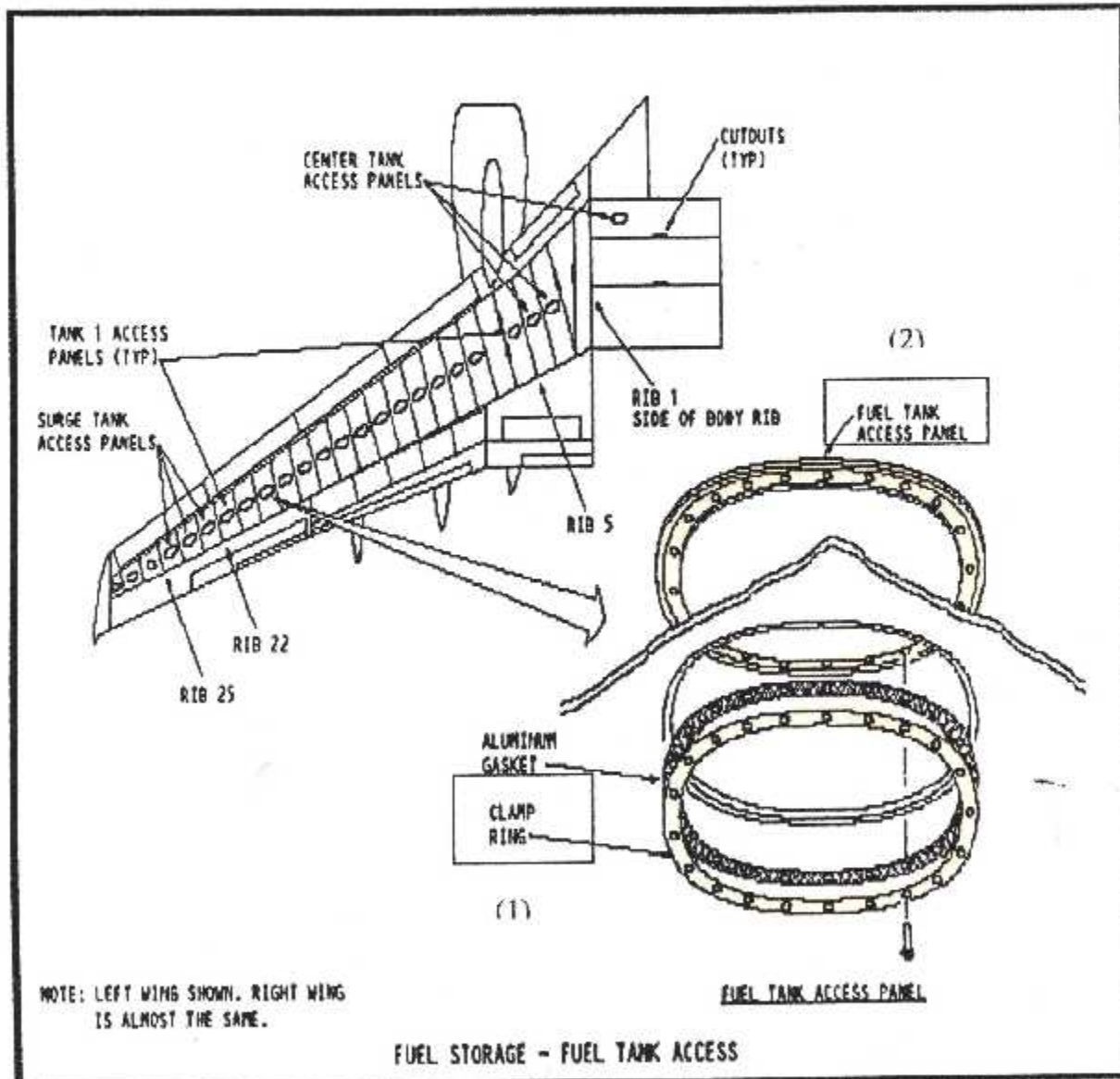


fig.(II-25) : Contrôle les accessoires du réservoir

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* lien du réservoir auxiliaire (centrale) du carburant (3) * surface interne, et externe des réservoirs de carburant (1), (2),(3)	100 HDV	Journalière, D

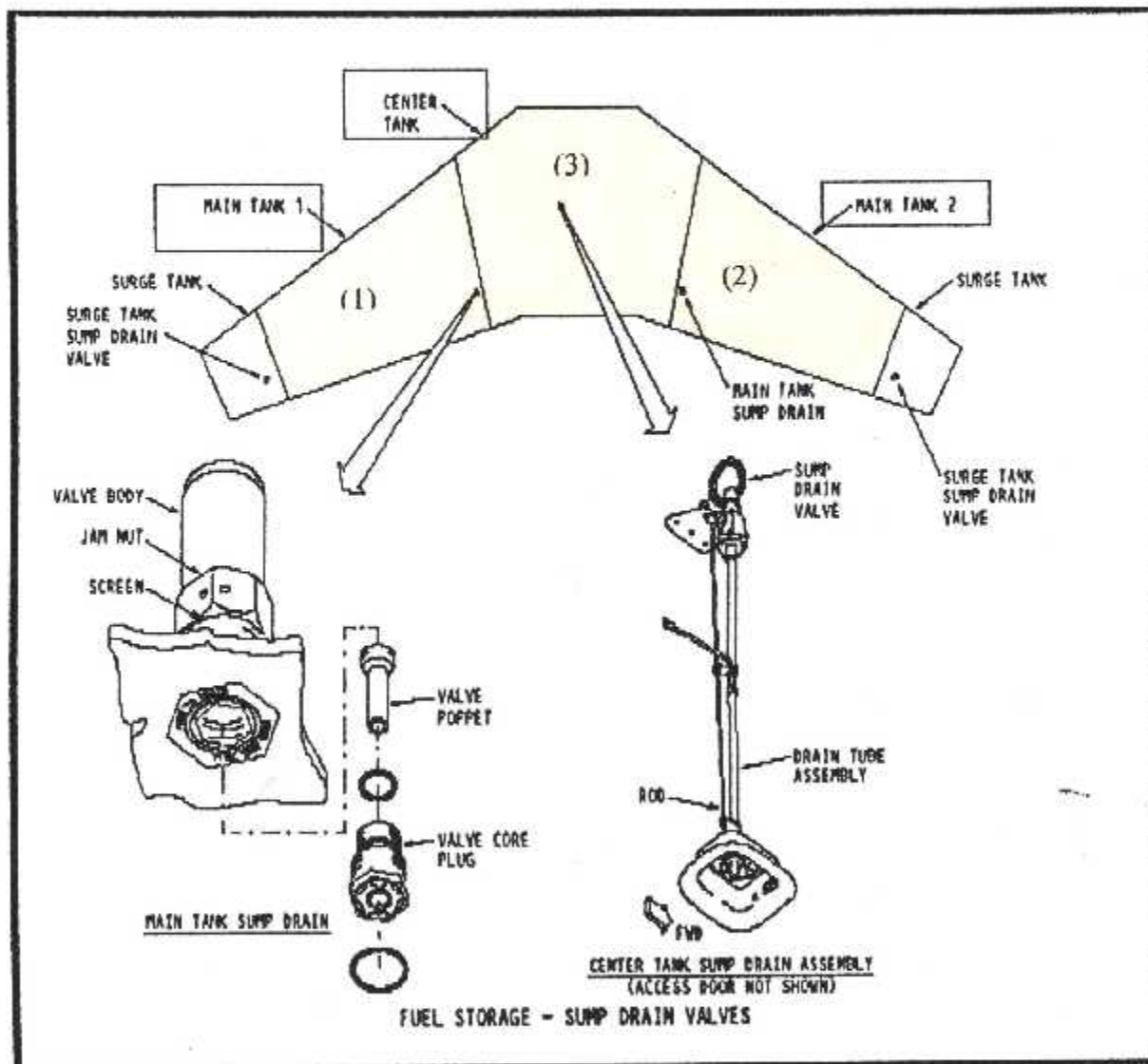


Fig. (II-26): Inspection de lien de réservoir auxiliaire de carburant

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* la barre de transmission d'articulateur de la porte des passagers (1) * bras de charnière (2) * charnière d'assemblage supérieur (3)	10-15 HDV	Journalière, D

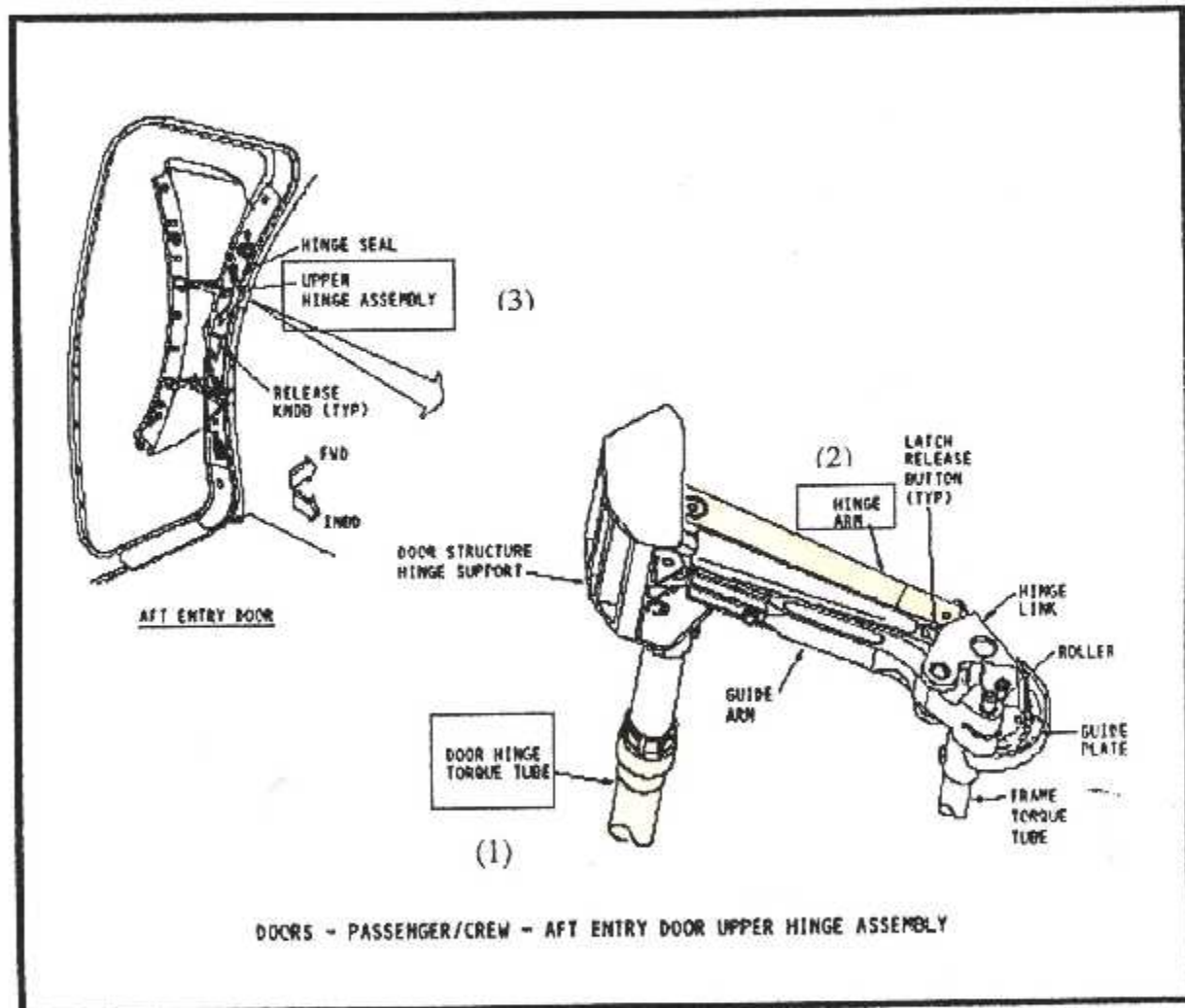


Fig.(.11-27) : Inspection au niveau de la porte des passagers

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* armature de fuselage (1)	15 HDV	Journalière, D

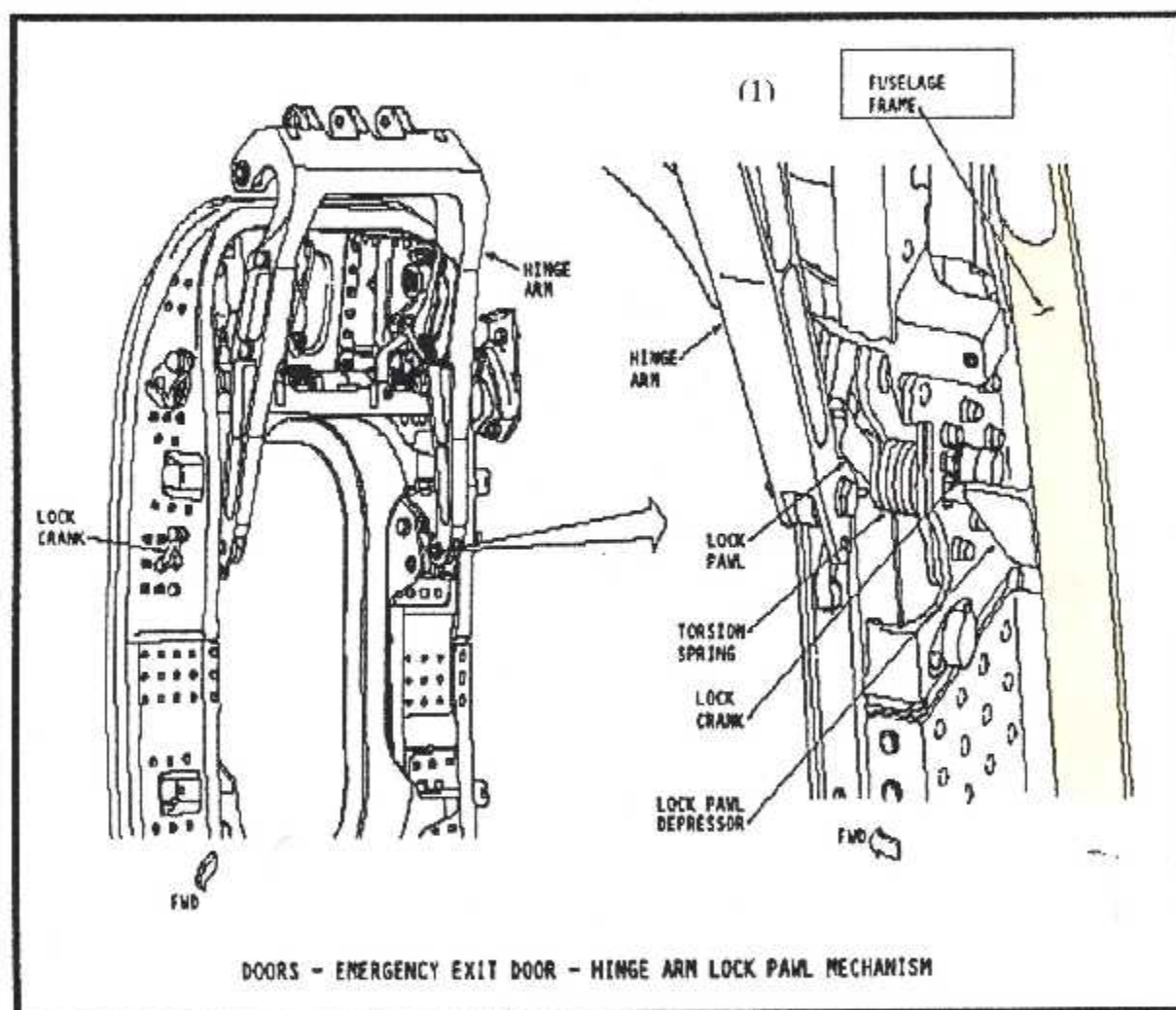


Fig. (II.28) : Contrôle les pièces de contact avec le fuselage et la porte

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* l'articulateur (1) * système de contrôle d'ouverture de la porte du train d'atterrissage (2)	100 HDV	Journalier, D

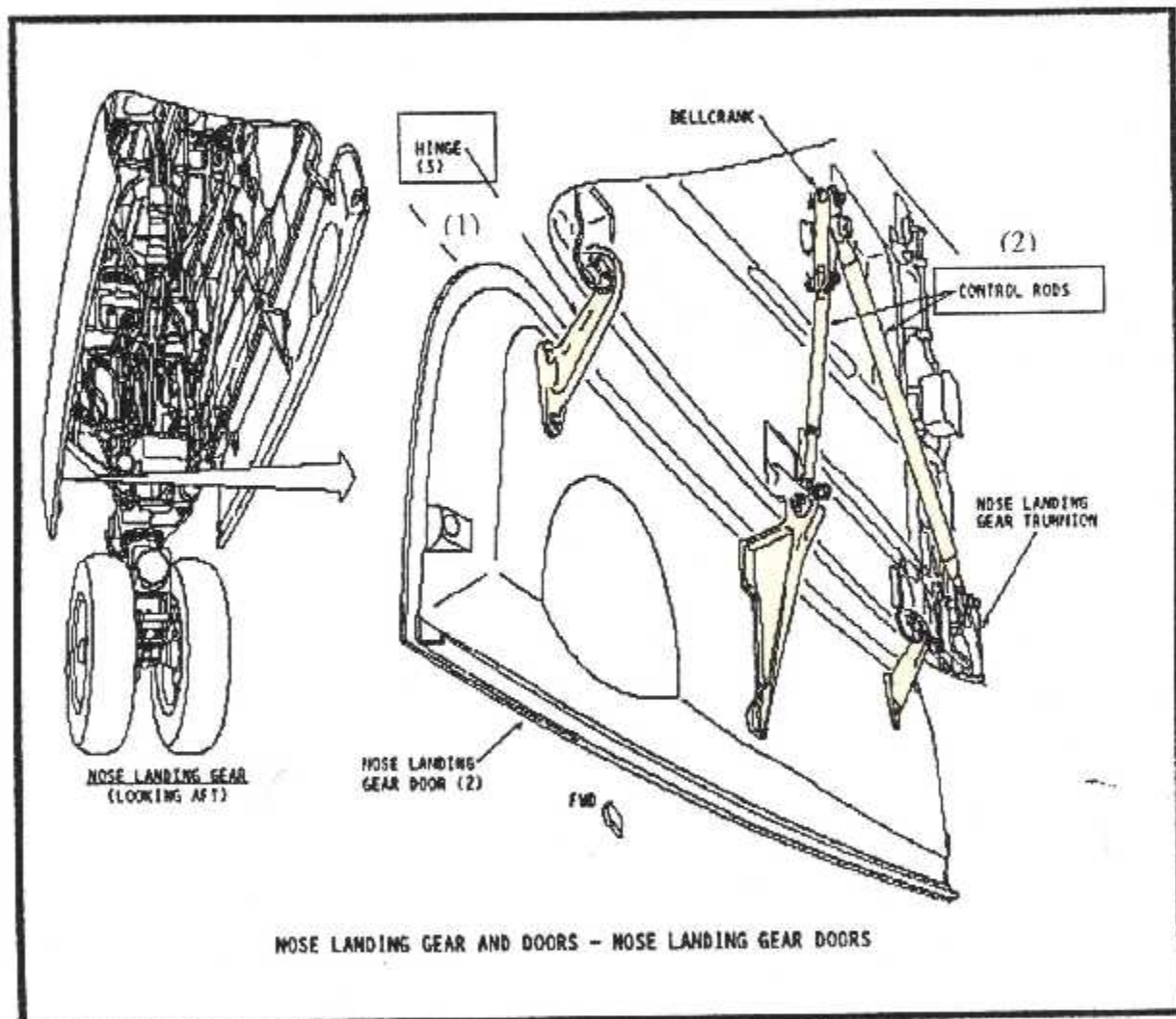


fig.(II-29) : Inspection des pièces d'articulation



Elément contrôler	Heur de vols	Visite
*goupille supérieur de lien de torsion du train d'atterrissage (1) * bras de faisceau de déclencheur du train d'atterrissage (2) * le nez du train d'atterrissage (3) * train d'atterrissage avant( principale) au niveau du lien de torsion (4)	3600-4000 HDV	C, D

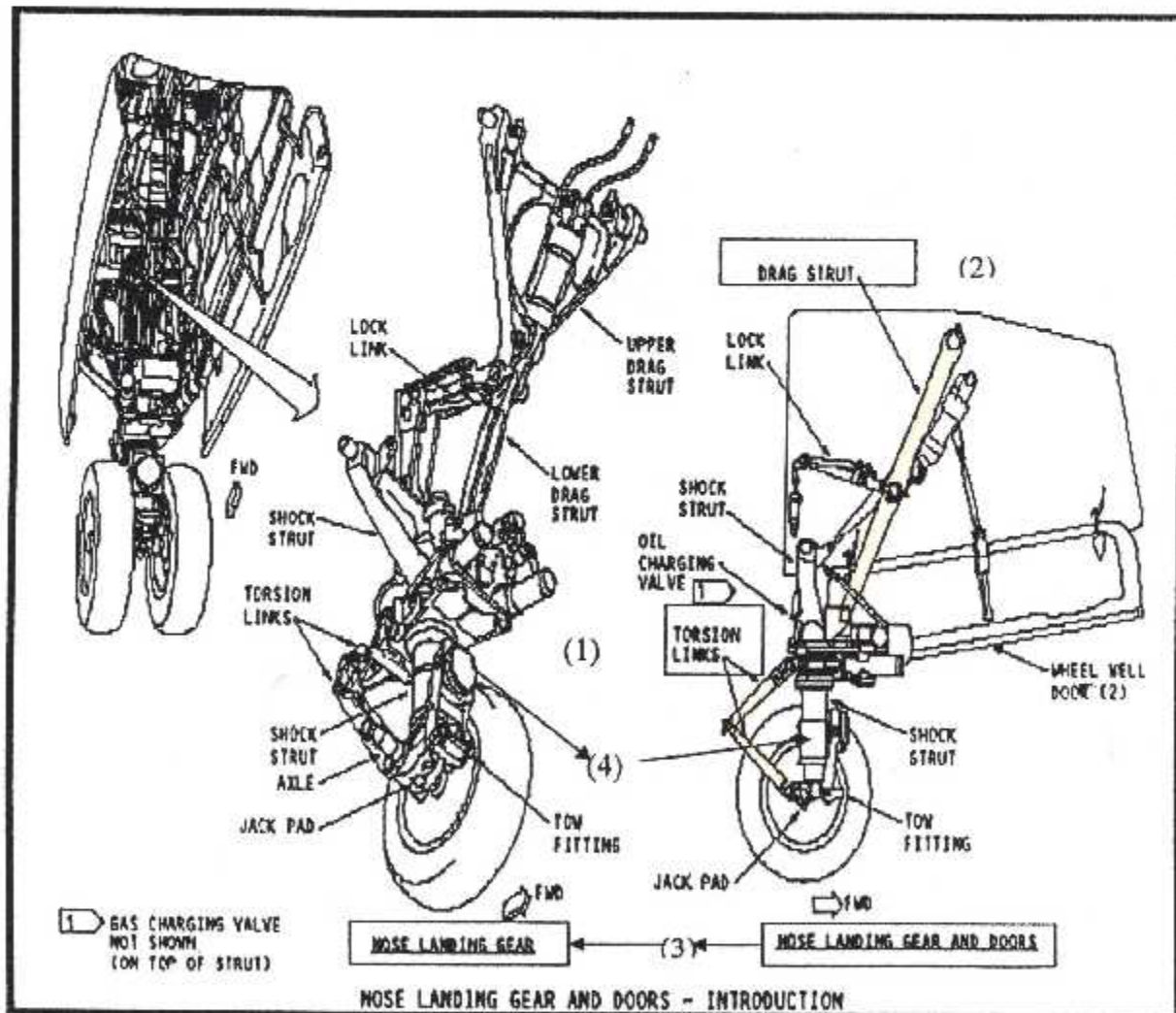


Fig. (II-30) : Contrôle le train d'atterrissage

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* pièces d'assemblage au niveau des boulons (A)	5000 HDV	A,B,D

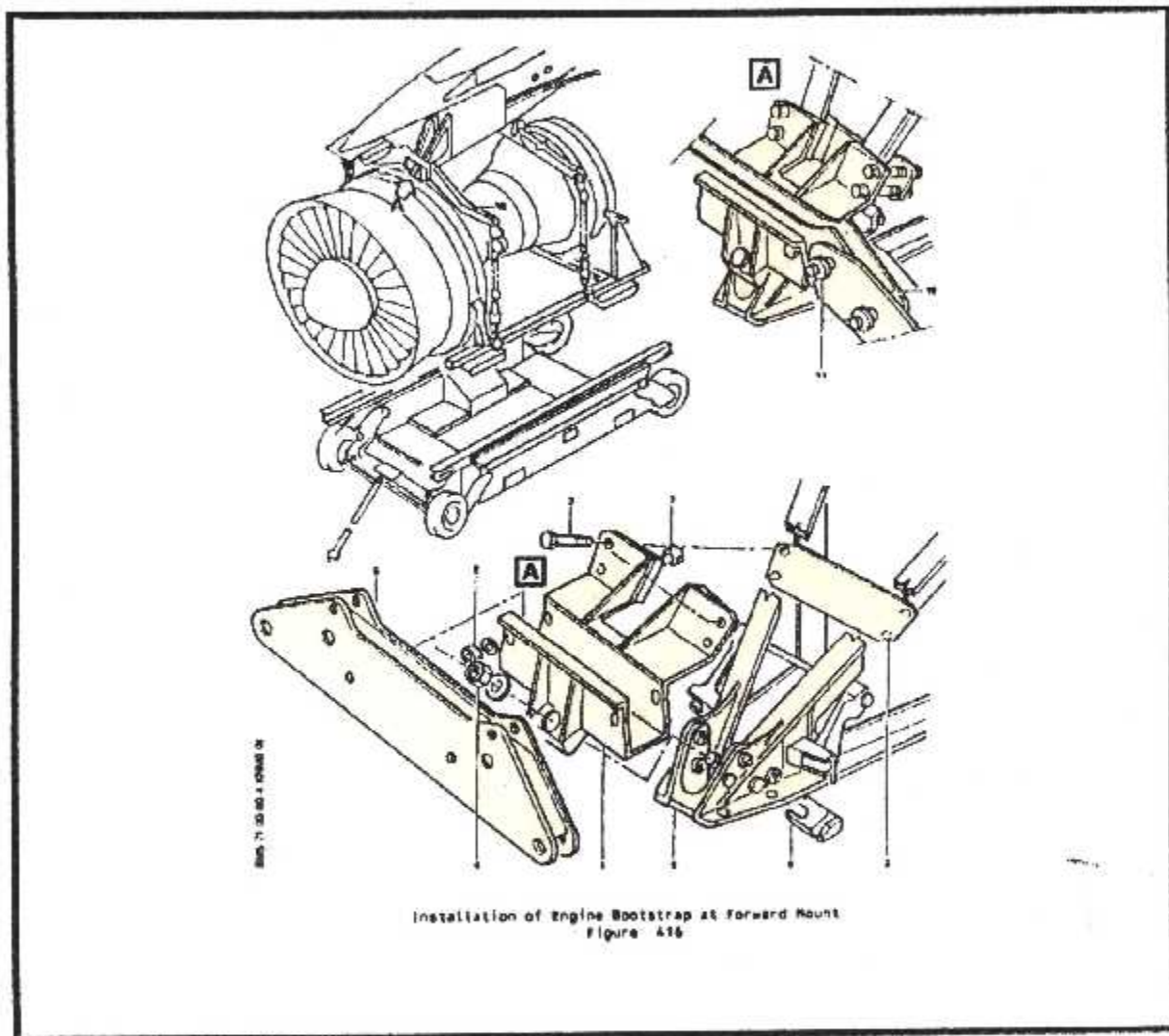


Fig. (II.31) : Contrôle des pièces d'attache moteur à l'aile

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* Au niveau des boulon de fixation (A), (B), (C), (D)	5000 HDV	A,B,D

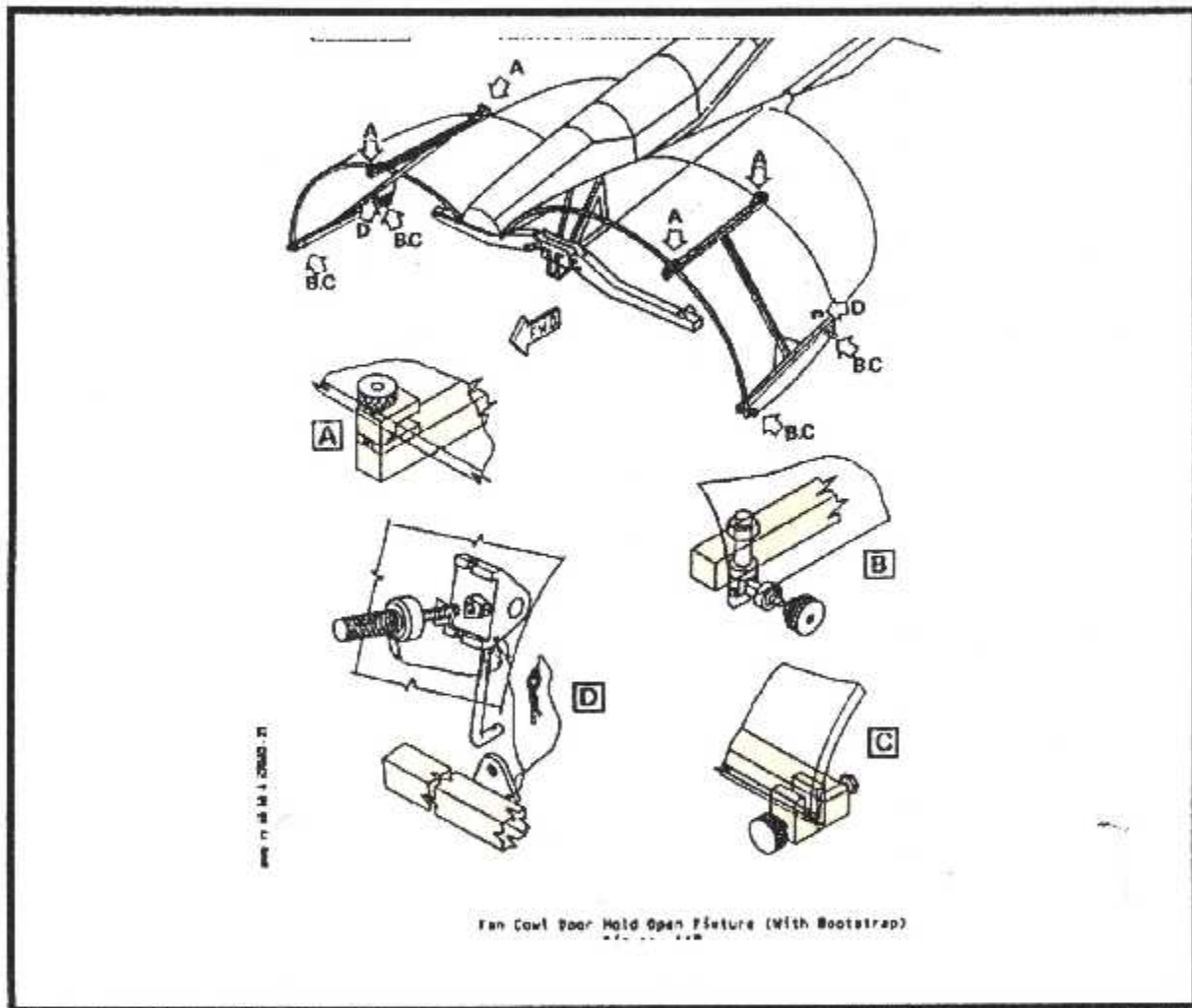


Fig. (II-32) : Contrôle des pièces de contact entre le moteur et leur capotage

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* contrôler les trous des pièces au niveau du capot (1),(2)	5000 HDV	A, B,D

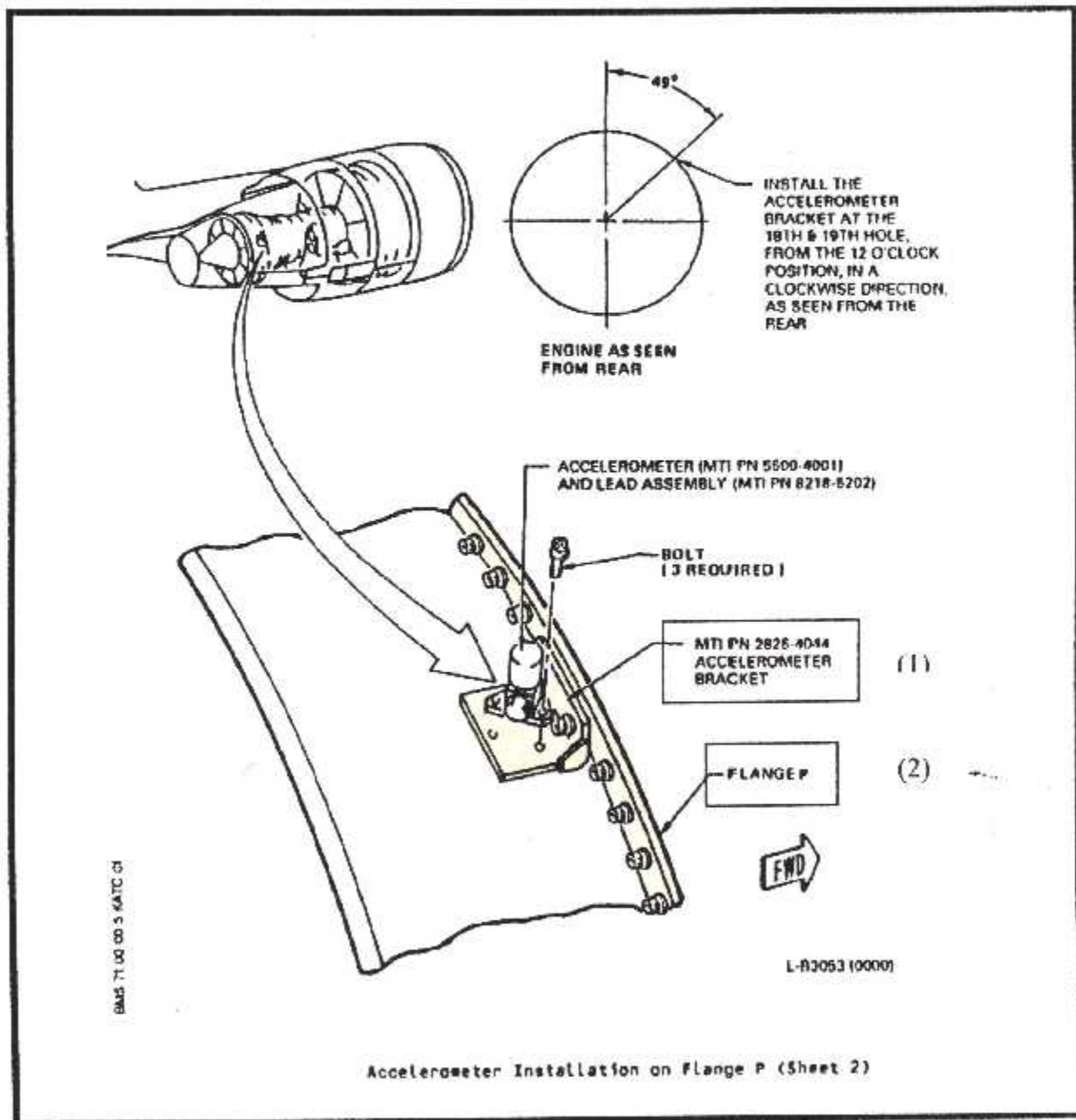


Fig. (II-33) : Contrôle d'assemblage

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* le disque d'ailette (1)	1000 – 1200 HDV	C,D

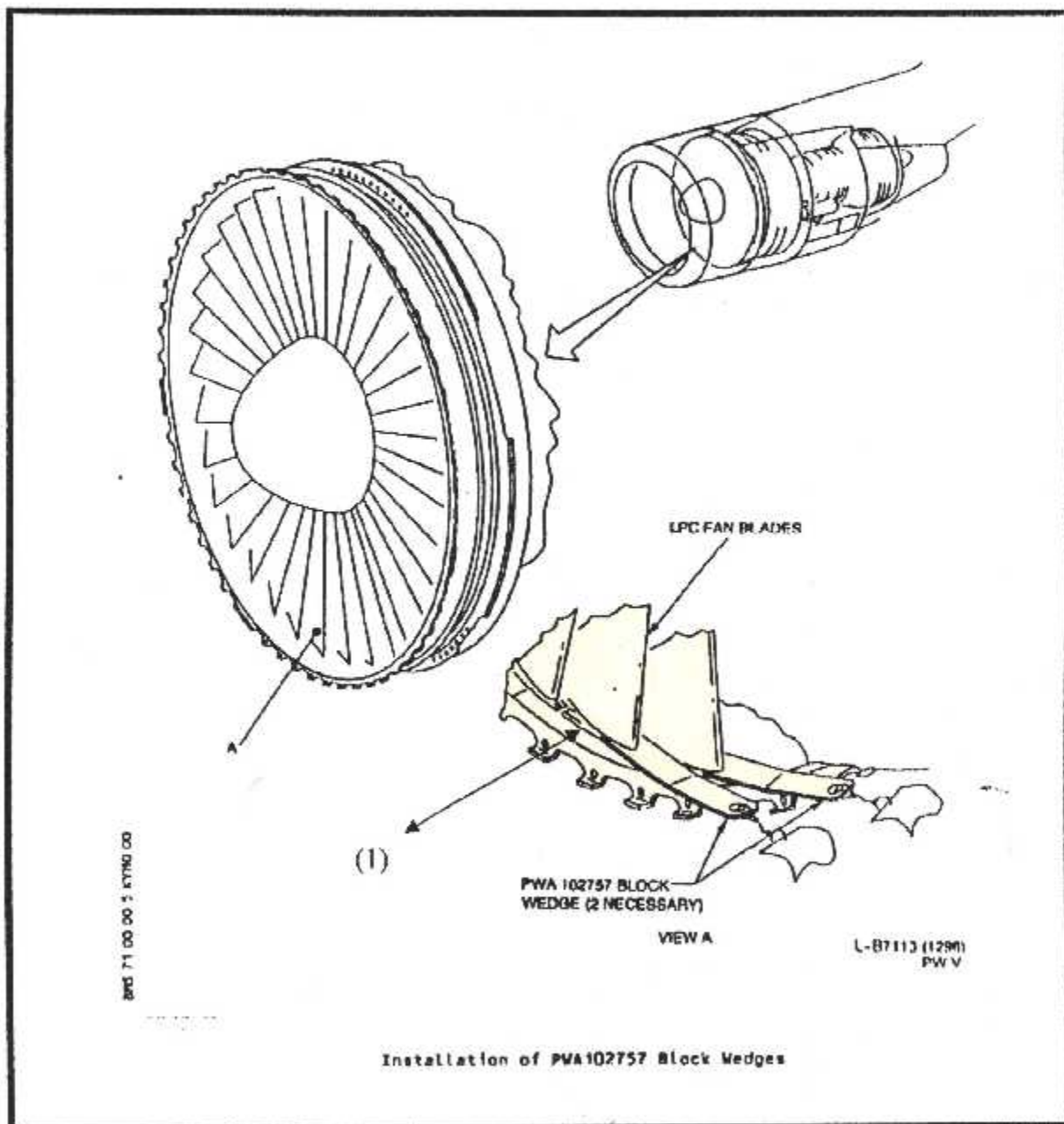


Fig. (II-34) : Contrôle du disque de fan et le compresseur

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* l'assemblage réalisé entre les trois capots du moteur (les deux zones de fixation) (1), (2)	5000 HDV	A, B, D

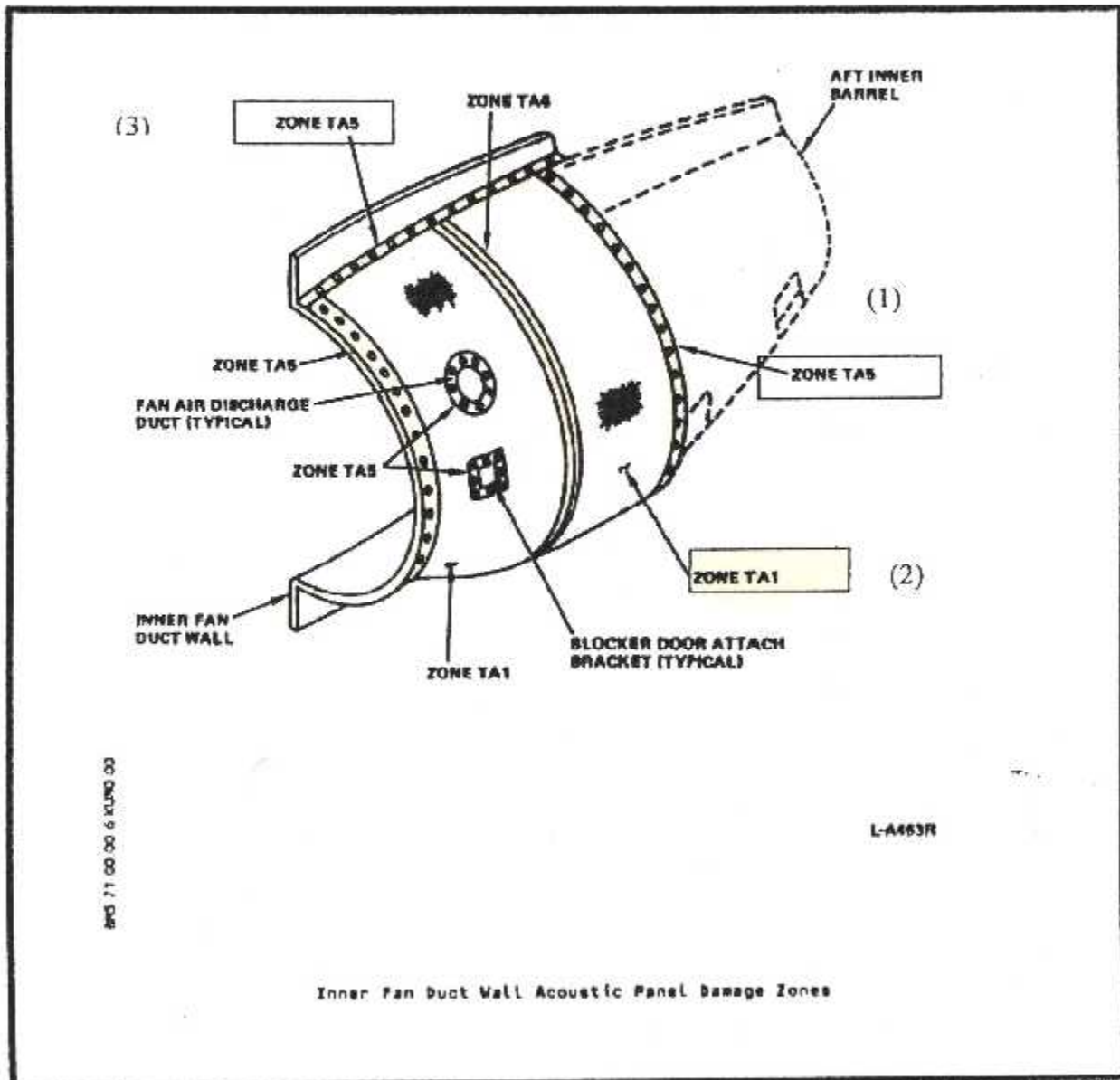


Fig. (II-35) : Inspection au niveau du capotage

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* les tous ,la ceinture ,l'étanchéité d'assemblment (1), (2), (3)	Après le démontage, et montage du moteur	P r - D

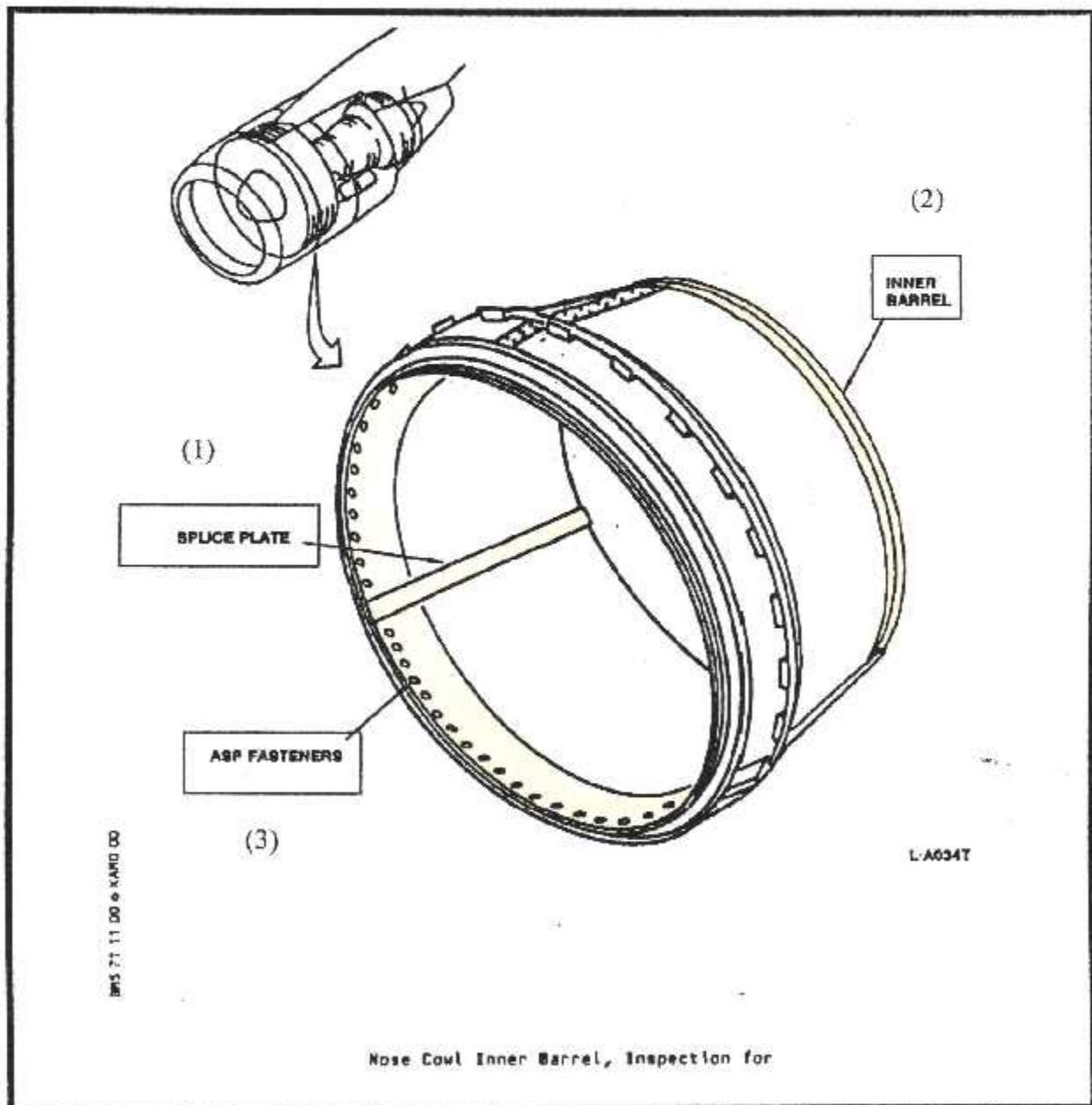


Fig. (II-36) : Contrôle l'assemblage du capot fan

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* l'assemblage entre la sortie de la turbine, et la tuyer d'éjection (1), (2)	Après le démontage, et montage du moteur	P r - D

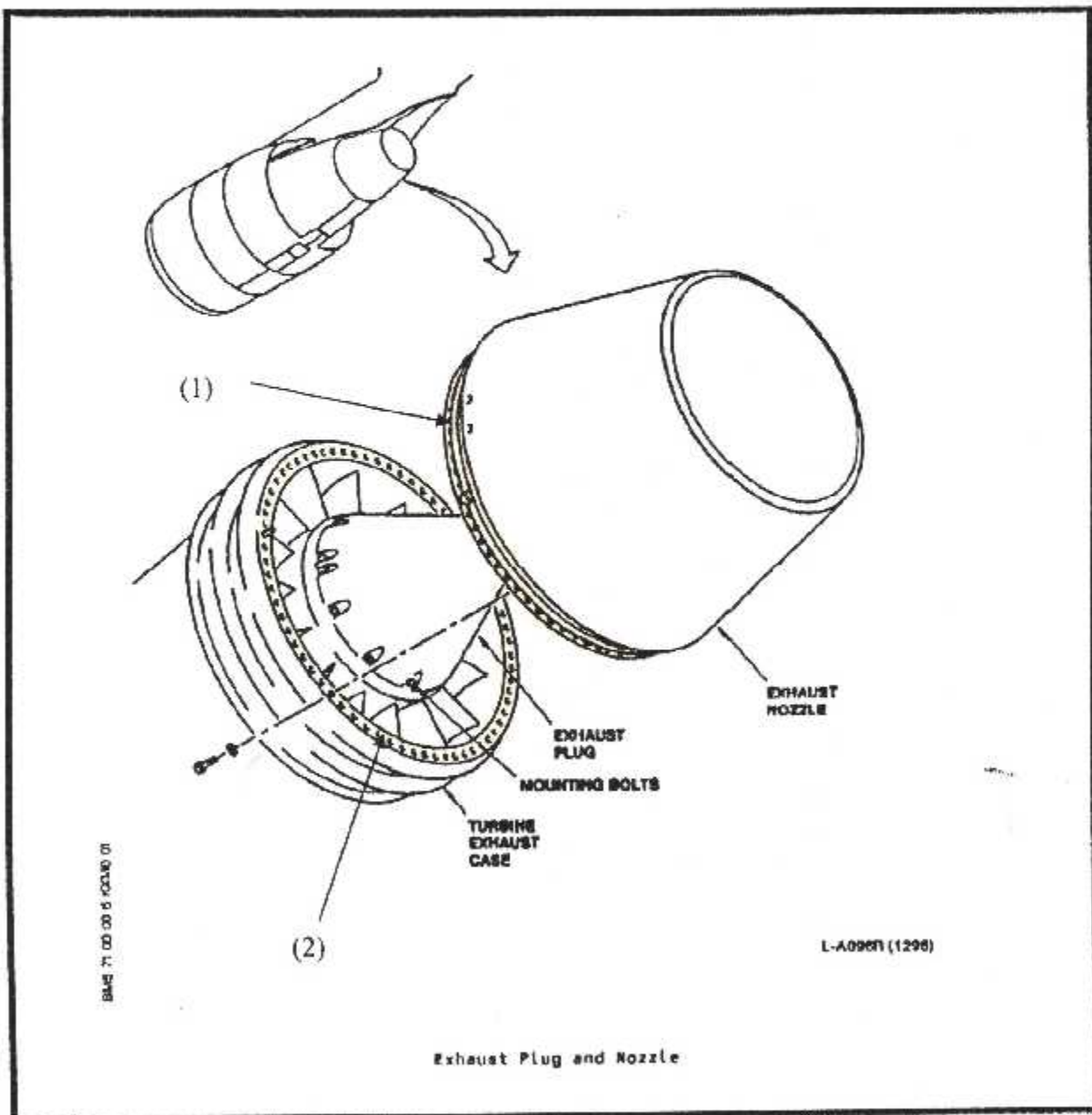


Fig. (II-37) : Contrôle l'assemblage entre la tuyer d'éjection et la sortie du turbine



Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* La pièce de blocage ,et d'attache du diffuseur de la case (au niveau des trous) (1)	Après le démontage, et montage du moteur	P r - D

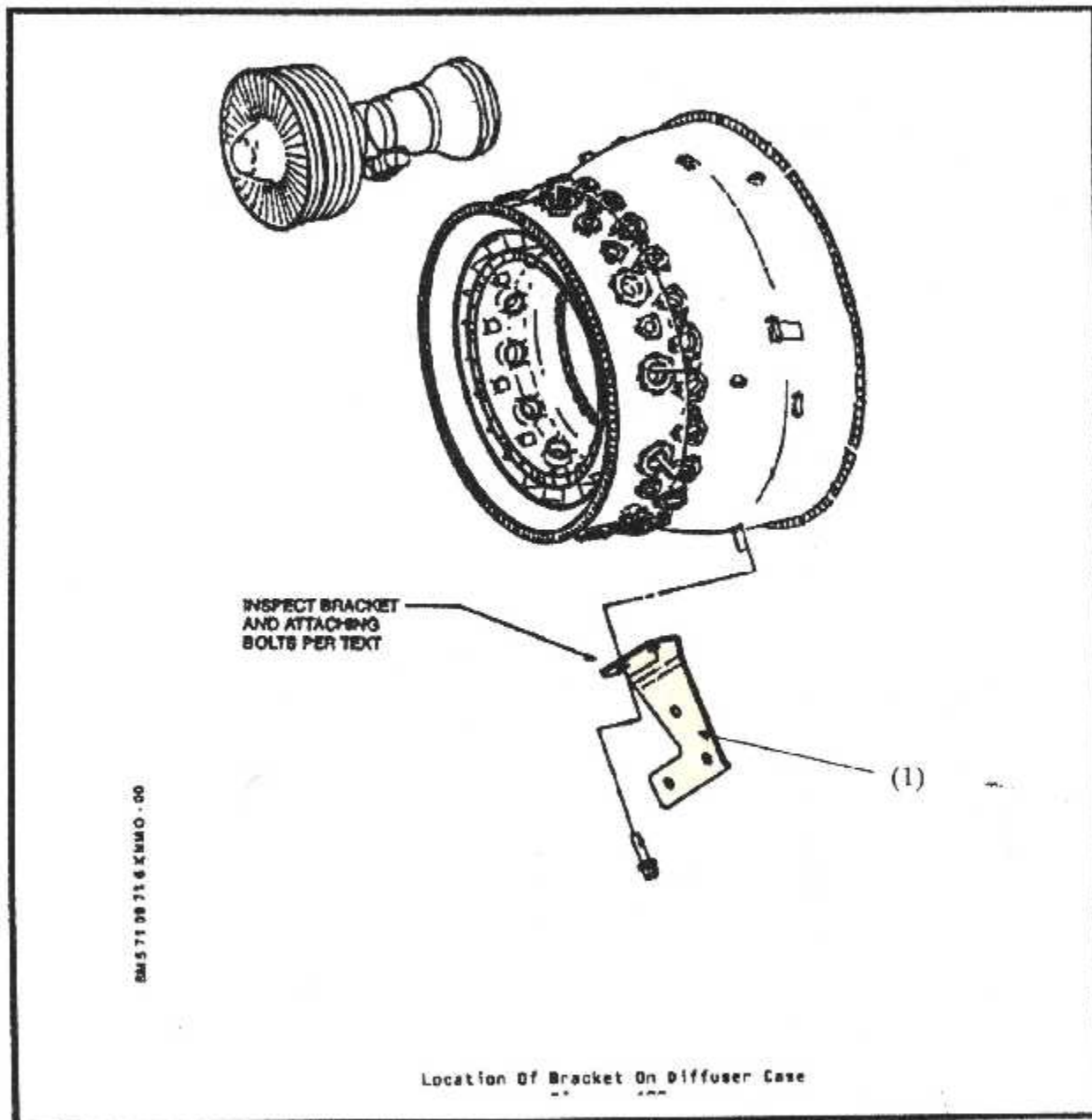


Fig. (II-38) : Contrôle du braqueur d'attache

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* Le verseur de pousse (1)	300-400 HDV	A,D

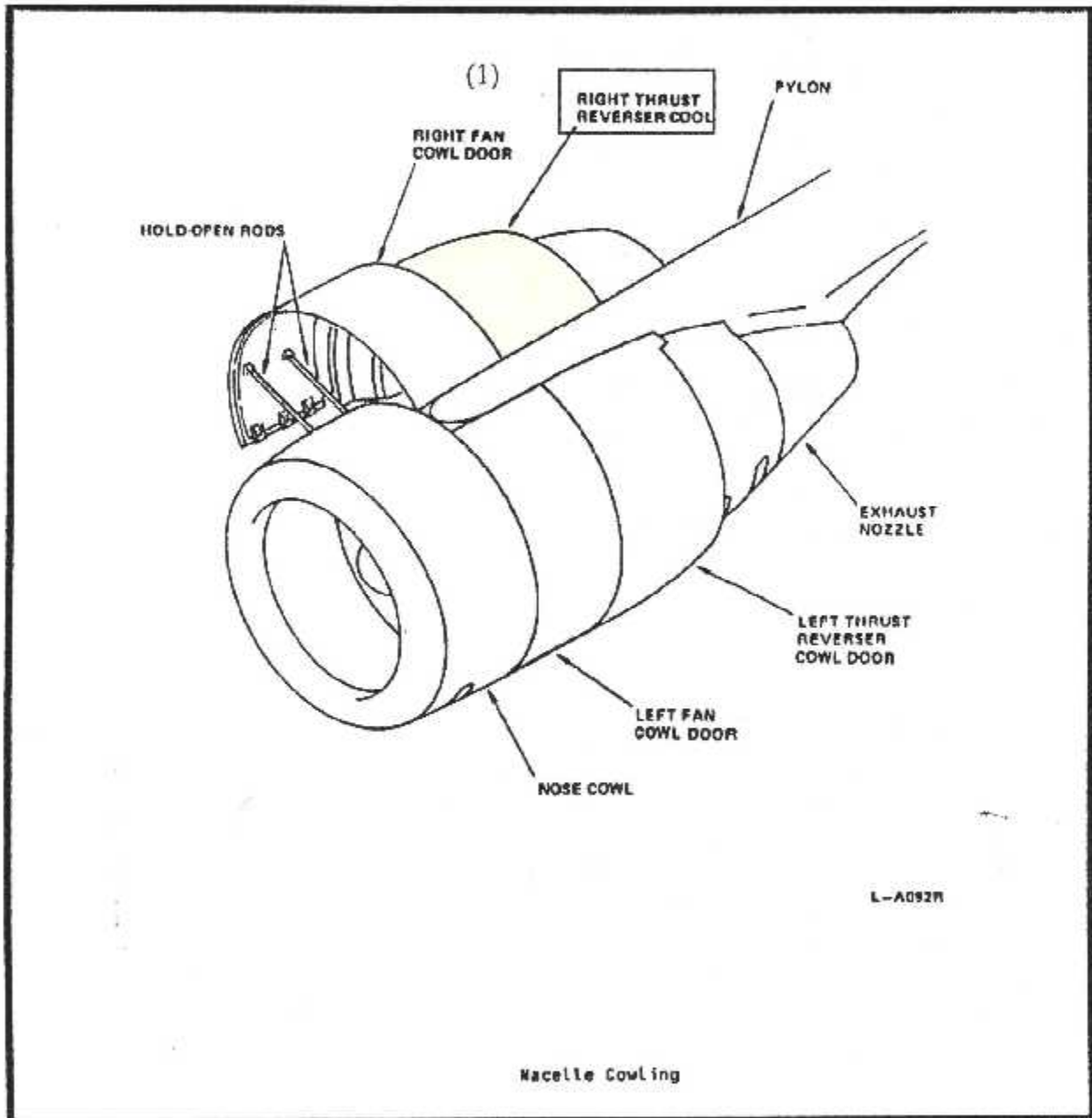


Fig. (II-39) : Contrôle d'assemblage réalisé entre les capots

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* la cascade (matériau en composite nid d'abeille) (1)	3600-4000 HDV	C,D

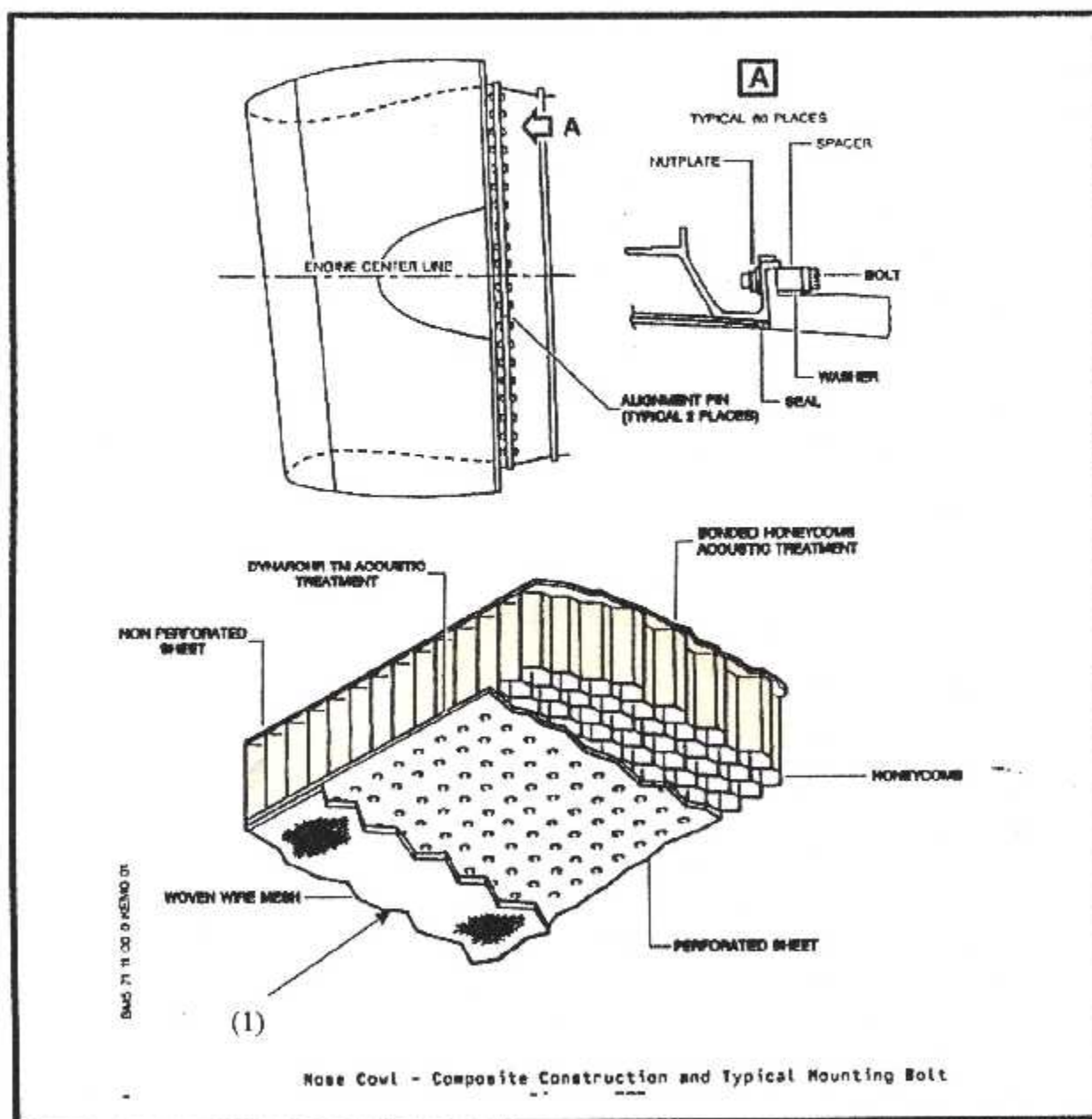


Fig. (II-40) : Contrôle de la cascade

Élément contrôler	Heur de vols	Visite
* accessoire d'alignement (1) * La plaque d'alignement (2) * La porte du capot de fan (3) * L'entrée du capot (4)	300-400 DV	A, D

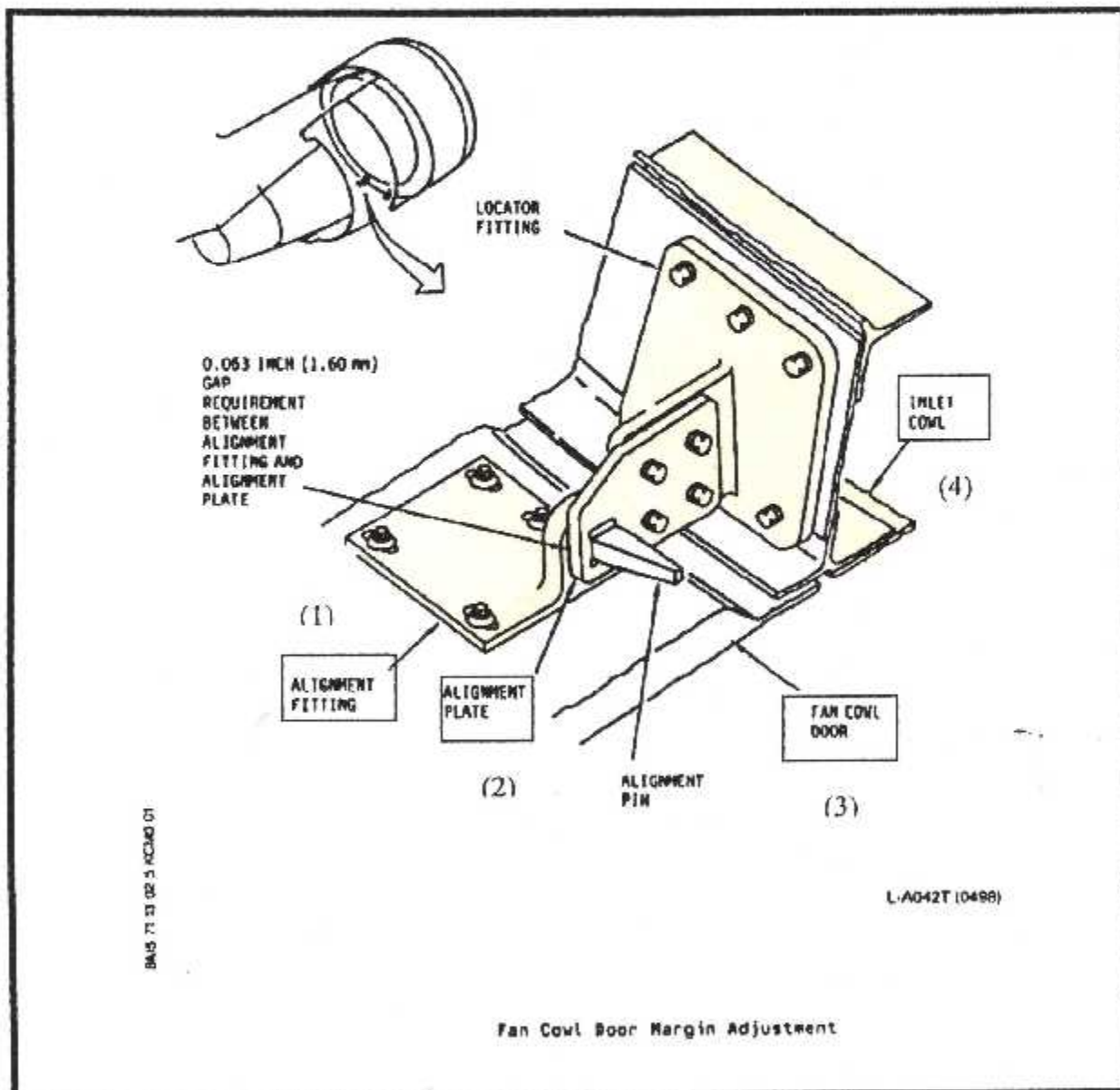


Fig. (II-41) : Contrôle d'ajustement du capot de fan

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
<ul style="list-style-type: none"> <li>* fixation arrière du moteur (1)</li> <li>* bielle de poussée gauche (2)</li> <li>* le boulon à portée conique (3)</li> </ul>	<p>Après le démontage, et montage du moteur</p>	<p>P r - D</p>

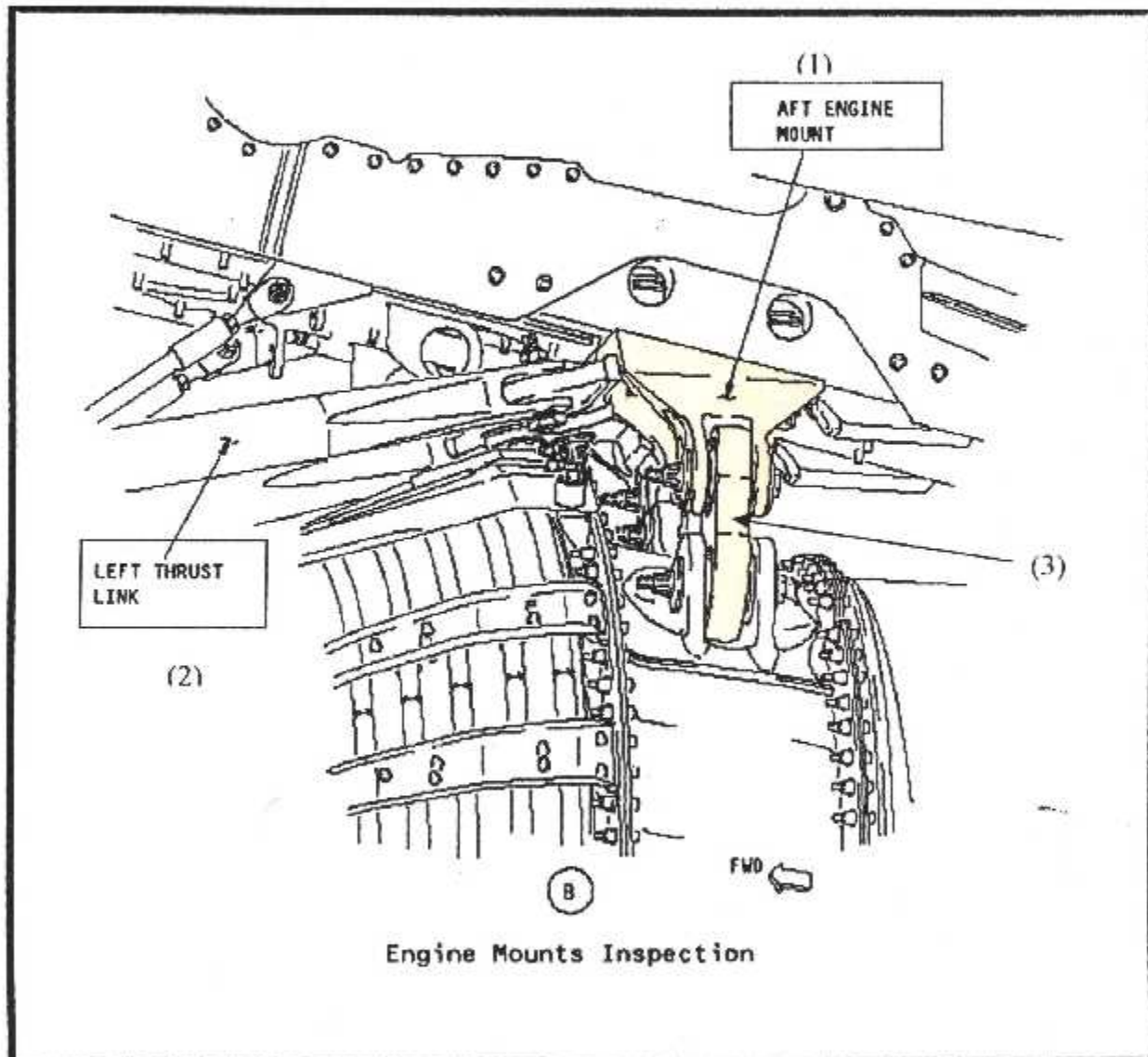


Fig. (II-42) : Contrôle l'attache du moteur

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* la bride d'assemblage arrière de la chambre de combustion (1)	400 HDV	A, D

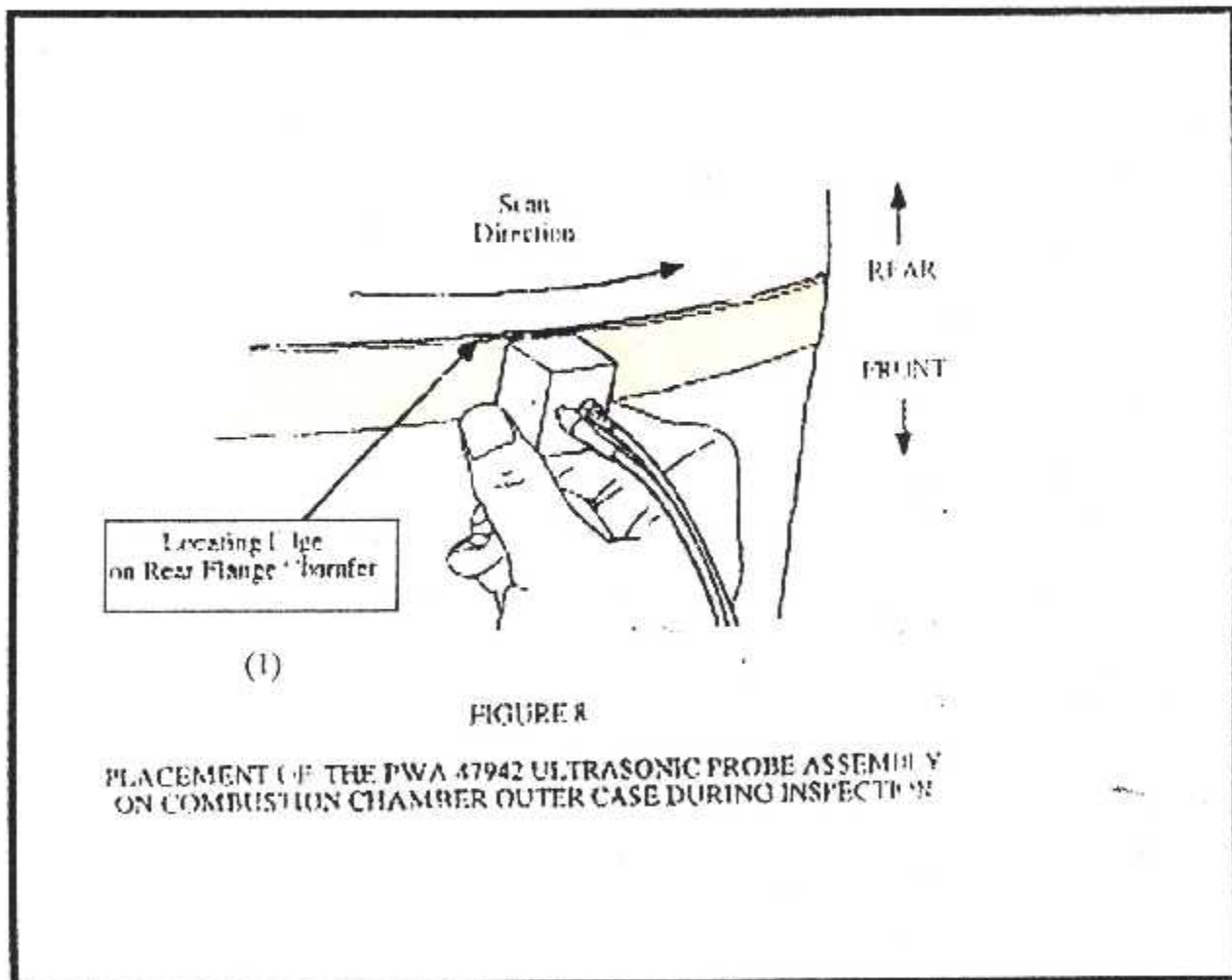


Fig. (II-43) : Contrôle de la chambre de combustion

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* pied d'attache d'ailette du deuxième étage rotor du compresseur (1)	400 HDV	A.D

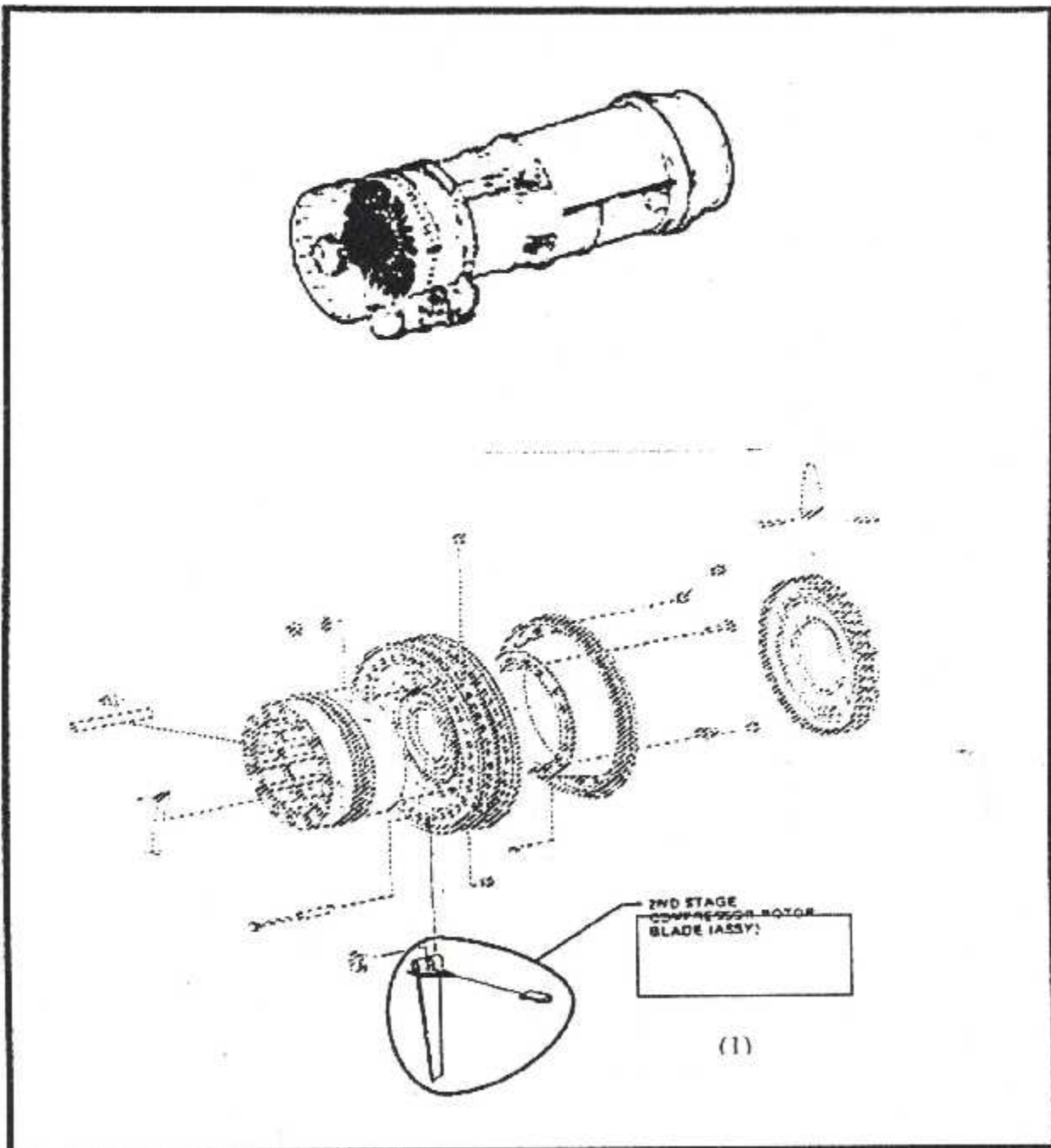


Fig. (II-44) : Contrôle les ailette du compresseur d'un moteur JT8D

Elément contrôler	Heur de vols	Visite
* Le bossage latéral (au niveau de la soudure périphérique) (1) * le carter latéral (au niveau de la soudure périphérique) (2)	5000 HDV	A, B, D

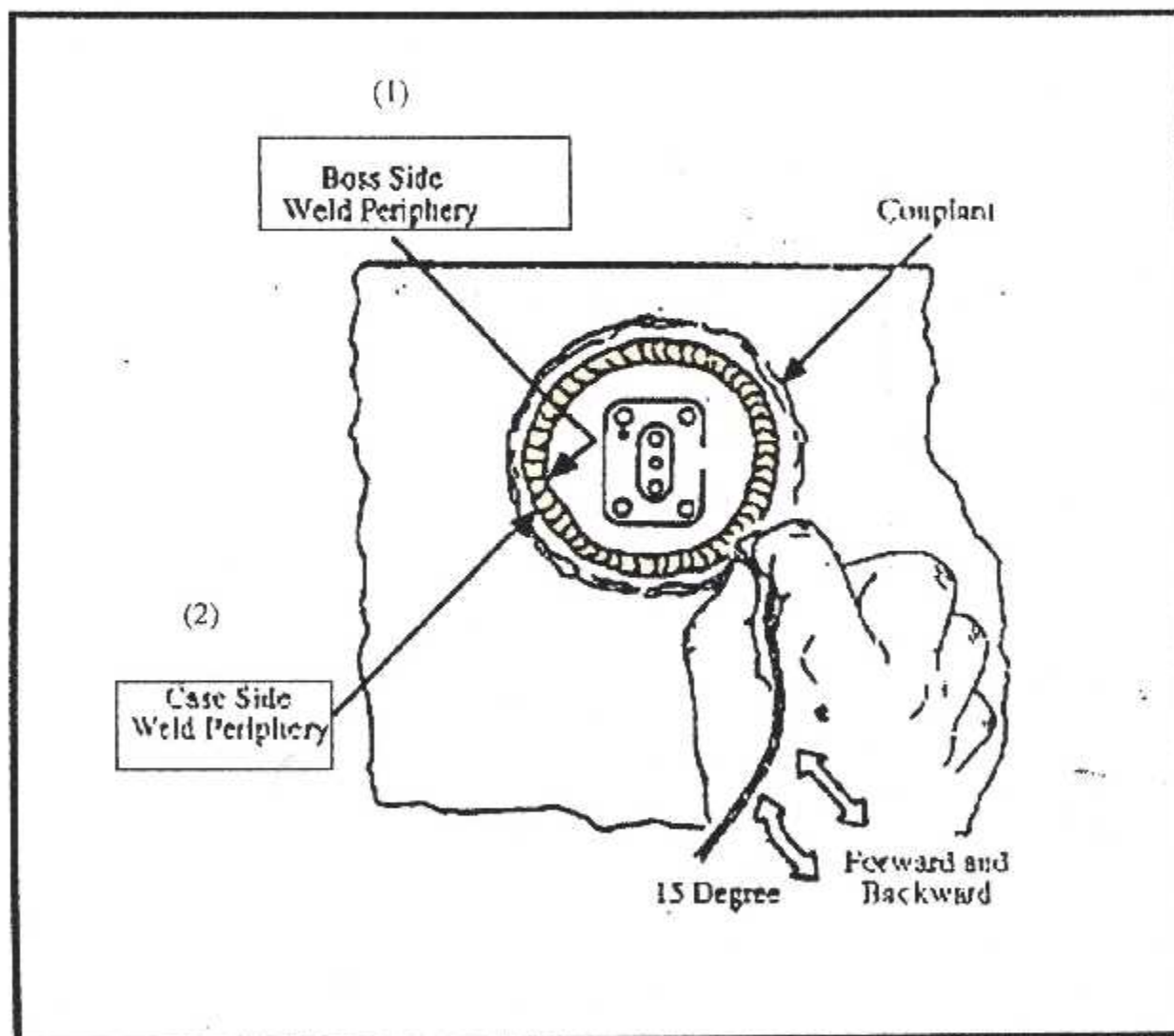


Fig. (II-45) : contrôle du carter d'un moteur JT8D



# CHAPITRE III

Réalisation d'un  
appareil à ultrason  
par immersion

## Réalisation d'un appareil d'ultrason par immersion

### III-1- Introduction :

La réalisation d'un système est de former un ensemble des pièces, qui sont capable a constituées une intégration fonctionnelle, et cette dernière consiste a utilisé des machines d'usinage après le moulage des pièces.

L'importance de la réalisation est de connaître la réalité de la construction mécanique. Et pour avoir une étude pratique sur leurs performances a l'aide du mouvement suivant les directions, par exemple : le déplacement d'un palpeur afin de détecter les défauts dans une pièces mécanique.

Dans notre projet on a basé sur les mêmes principes de la fabrication mécanique pour construire un système d'inspection, qui utilise la technique d'ultrason par immersion. Cet appareil a été fabriqué par constructeur « Pratt & Whytney » du turboréacteur JT8D, Elle se trouve au niveau d'Air Algérie, puis on a effectué quelques améliorations au niveau de celle-la pour augmenter les avantages d'utilisation.

### III-2- Description générale sur la fabrication mécanique :

Les techniques de l'usinage sont : en évolution accélérée vers la production économique, et cette évolution est l'heureux résultat des progrès en construction électromécanique, et de la découvertes des matériaux de coupe rapide.

Le rôle fondamentale d'usinage est de construire des pièces différentes correspondantes aux dessins techniques présenter par l'ingénieur , et le moulage est l'intermédiaire de cette transformation, puisque il représente l'état initial de la pièces avant l'usinage, d'une manière générale les pièces mécanique passent par deux phases essentielles, qui sont :

- La phase de moulage
- La phase d'usinage

#### III-2-1- La phase de moulage des pièces mécanique :

Le moulage est un ensemble d'opérations qui permet d'obtenir des pièces pleines, ou creuse pouvant présenter des formes très compliquées, il est basé sur le modèle qui est identique à la forme de la pièce, avec des dimensions supérieures à cette dernière, généralement, on distingue trois procédées de moulages suivants :

- Le moulage en sable silico-argileux, et ses dérivés (procédé au sable auto siccatif, procédé au gaz carbonique, procédé à modèle perdu procédé shaw, etc....)
- Le moulage en moule métallique, ou moulage en coquille (par gravité sous pression, par dépression)
- Le moulage à la cire perdue

### III-2-2- La phase d'usinage des pièces :

Après avoir la forme initiale de la pièce par le procédé de moulage, On doit respecter cette forme à l'aide des techniques d'usinage correspondantes, afin d'assurer les dimensions réels de la pièce fonctionnelle, et dans cette phase on utilise les principale techniques d'usinage suivantes :

#### III-2-2-1- Technique de fraisage :

Le fraisage est l'opération de génération de surface plane de forme hélicoïdale d'exécution de filetages, de taillage, des engrenages, des rainure droite, et hélicoïdale à l'aide d'un outil en rotation qui appelée « **La fraise** ». Il est animé de deux mouvements principaux :

- $M_c$  : Mouvement de rotation de l'outil, la fraise est entraînée par la broche de la machine (mouvement rapide circulaire de coupe)
- $M_a$  : Mouvement de translation de la pièce fixée sur la table de la machine (mouvement lent rectiligne uniforme d'avance)

Selon le sens de rotation de la fraise, et de translation de la pièce, on distingue deux formes de fraisage, qui sont :

- **Fraisage en opposition** : La pièce se déplace dans le sens de la rotation de fraise.
- **Fraisage en avalant** : La pièce se déplace dans le même sens de rotation de la fraise.

Le travail de fraisage en opposition est le plus régulier et l'usure de l'outil est moins prononcé que l'usinage au fraisage, aussi les copeaux sont différents. Le fraisage est basé sur deux modes qui sont :

- **Fraisage en bout** : L'axe de la fraise est perpendiculaire sur le plan de la pièce
- **Fraisage de profil** : L'axe de la fraise est parallèle sur le plan de la pièce

### III-2-2-2 Les machine d'outils de fraisage :

Les machines-outils utilisées pour le fraisage sont appelées fraiseuses. Ces fraiseuses se distinguent par la position de l'arbre porte fraise ou de la broche, et par la possibilité de mouvement de la table porte pièce.

#### ❖ **Fraiseuse horizontale :**

Elle utilise des fraises montées sur un arbre porte fraise horizontal, et elle est utilisée pour le surfacage. Et pour l'exécution de rainures, et de profil rectiligne.

#### ❖ **Fraiseuse universelle :**

Est la dérive de la fraiseuse horizontale. Elle permet. Aussi bien d'employer des fraises montées sur un arbre porte fraise horizontale que sur une broche verticale. Elle ne peut également. Assumer différentes inclinaisons. Elle est employée pour exécuter de nombreuses formes de fraisage, y compris les formes hélicoïdales.

#### ❖ **Fraiseuse verticale :**

Est équipée d'une broche porte fraise vertical, et inclinable. Elle est employée soit pour le surfacage, soit pour l'exécution de rainures, et de contours droite ou circulaires.

#### ❖ **Fraiseuse pour outillages :**

Est une machine très souple. Aux multiples possibilités de mouvements de la tête horizontale, et verticale ainsi que de la table porte pièce elle est utilisées pour le fraisage de pièces légères mais de formes compliquées.

#### ❖ **Fraiseuse à banc fixe :**

C'est une fraiseuse de production, elle peut travailler, en même temps avec une ou plusieurs fraises montées sur un ou plusieurs arbres. Utilisées pour dresser, et usiner des pièces de grandes dimensions.

#### ❖ **Fraiseuse à fileter :** Conçue uniquement pour le taillage des vis.

#### ❖ Fraiseuse à copier ou à reproduire :

Cette fraiseuse est munie d'un dispositif qui permet de reproduire des contours même compliqués, suivant un modèle ou gabarit qui guidera la fraise le long de la

Forme à exécuter. Utilisées pour l'exécution de pièces aux formes compliquées et irrégulières.

#### III-2-2-3- Techniques de tournage :

Le tournage est une opération qui consiste à exécuter des surfaces de révolution plane cylindrique ou conique, ou de forme. Il est animé de deux mouvements principaux :

- $M_c$  : Est un mouvement de rotation autour de l'axe de l'outil, et il est communiqué à la pièce.
- $M_a$  : Est un mouvement rectiligne parallèle à la surface usinée, et il est communiqué à l'outil.

Dans le tournage la pièce est en rotation, main l'outil est en translation, généralement on distingue les modes de tournage suivante :

- Tournage en plateaux 3 mors
- Tournage en plateaux spéciaux
- Tournage conique
- Tournage sur axe parallèle
- Tournage sur équerre
- Tournage perpendiculaire
- Tournage avec déformation
- Tournage en lunette

#### III-2-2-4- Les machine de tours :

Les machines tours utilisées pour le tournage sont appelées tours. Ces tours sont distinguent à position de l'arbre de porte outil.

#### ❖ Tour de potier :

Comme son produit, la porterie artisanale. Il a peu évolué. La matière d'œuvre (terre molle) montée sur un plateau tournant, est mise en forme par les mains du portier (ses outils). Au bas de l'axe vertical un lourd volant accumulateur d'énergie. Est maintenu en rotation par le pied du portier.

### ❖ Le tour primitif horizontal

Le tour antique à bois ou à pierre était, comme le tour de potier, animé par la force humaine. La pièce en œuvre tourne entre deux pointes horizontales devant un outil actionné à la main ou au pied. Les progrès sont abords très lents jusqu'à l'invention de la machine à vapeur. L'invention du tour parallèle avec chariot porte-outil par Vaucanson date de 1760.

Depuis 1900, les besoins et les possibilités de l'industrie ont entraîné du perfectionnement de plus en plus rapides (puissance et précision). Le tour horizontale, Devenu tour à charioter et à fileter ou tour universel à cause de la variété de ses applications, fait place de plus en plus à des machines spécialisées :

- tour parallèle
- tour vertical
- tour frontal
- tour revolver
- tour à barre
- tour à copier
- tour à cycle automatique

Le présent ouvrage porte principalement sur l'étude, et l'utilisation de la machine de base : le tour parallèle à charioter et à fileter.

### III-2-2 -5- Technique de perçage :

Le perçage la réalisation de trous cylindrique. Ou conique exécutés par un outil à deux tranchant qui pénètre dans la pièce à percer par enlèvement de matière. Les moyens utilisés sont : le tour .la fraiseuse, la raboteuse, la perceuse, l'aléseuse.

### III-2-2-6- : Les machines de perçage :

#### ❖ Perceuse sensitive :

C'est la plus machine outil utilisée pour le perçage, les diamètres de trous à percer sont faibles (15mm), le mouvement d'avance est obtenue manuellement par l'intermédiaire d'un levier d'ou le nom « perceuse sensitive » .de la façon qu'on reçoit la pénétration de l'outil dans la matière, le mouvement de rotation est obtenu au moyen d'un courroie, celle-ci relié à la poulie étagée menée en arrière solidaire du moteur, la poulie étagée menée en avant solidaire à la broche.

**❖ Perceuse à montant :**

Elle réalise des travaux de précision par alésage, grâce à la qualité du guidage de l'organe porte broche, elle possède une grande capacité de travail, et permettant de percer des trous jusqu'à 80mm de diamètre. Le mouvement d'avance est sensitif ou automatique.

**❖ Perceuse radiale :**

L'ensemble porte broche se déplace sur un bras horizontale mobile autour d'un axe vertical. Elle est utilisée pour l'exécution des trous pour les pièces volumineuse. Il est possible de percer des trous jusqu'à 100mm de diamètre.

On peut aussi réaliser travaux de fraisage, dressage, ou surfacage. Ainsi l'alésage des trous pour les pièces de grande diamètre.

**❖ Perceuse à deux têtes :**

- Perceuse à deux ou plusieurs broches pour percer des trous en même temps.
- Perceuses à deux ou plusieurs têtes indépendantes pour l'exécution des diamètres différents

**III-2-2-6- Technique d'alésage :**

L'alésage un opération d'usinage permettant la réalisation des surfaces de révolution généralement à l'intérieur, elle offre une bonne précision géométrique (cylindrique, circularité, Etc.), et une bonne état de surface. leur outil (alésoir) est montée dans le tour sur une barre d'alésage

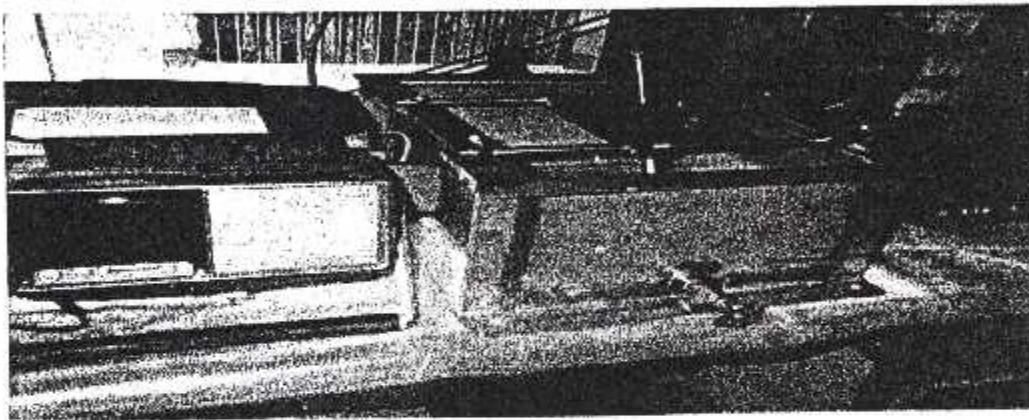
**III-3- Description de l'appareil à ultrason par immersion :**

La technique d'ultrason par immersion demande un mécanisme capable de porter le palpeur , et le déplacer à l'aide des forces uniformes dans toutes les directions de l'espace , avec un mouvement rectiligne uniforme ,afin d'assurer un bon contrôle de la pièce .et ce mouvement est obtenue manuellement ,ou bien automatiquement .

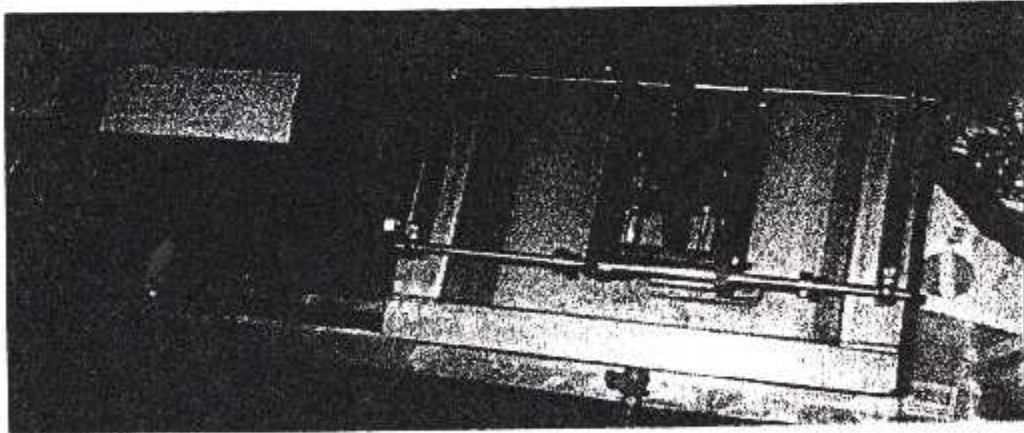
Chaque system d'inspection d'ultrason par immersion à une structure spécialisée par le constructeur pour faciliter les l procédure d'inspection suivant le type, et la forme de la pièce.

Suivant les informations ,et les besoins de notre institut ( IAB ) de cette appareil pour démarrer les travaux pratique au niveau de laboratoire du contrôle non destructif ,On effectue un modèle identique a celle qui se trouve en Air Algérie qui est spécialisée à contrôler les pieds d'attache des ailettes qui sont placer dans le disque rotatoire du compresseur d'un turboréacteur JT8D.

Suivants les étapes de la construction mécanique utilisées pour fabriquer chaque pièce i ncluse dans les mécanismes de fonctionnement de cet appareil représenté par la figure suivante :voire figure(III-1)



**Vue complète**



**Vue de haut**

**Fig. (III-1) : L'appareil d'ultrasonore d'air Algérie**



Cette appareil porte les mécanismes de fonctionnement suivants :

- Un ensemble des pièces qui porte un palpeur droit de 5 MHz, avec une bonne étanchéité, qui assure le réglage du palpeur avec un angle d'incidence des faisceaux ultrasonores donnée par le constructeur comprise entre  $3^{\circ}$  et  $5^{\circ}$
- Un ensemble des pièces constituant un mécanisme qui assure la translation du mécanisme précédant pendant l'étalonnage suivant l'axe ( $xx'$ ), afin d'avoir l'échos de fond maximale, et le palpeur sera perpendiculaire aux contraintes de cisaillements maximales, (le déplacement est compris entre 0,5 à 1.5 mm),
- Un système de translation pour déplacer l'ensemble des deux mécanismes précédant suivant l'axe ( $yy'$ ) pour inspecter toute la pièce (pied d'attache d'ailette), et ce système est fixé aux extrémités dans une cuve (bassin).
- Le bassin, pour rôle de fixer tout le système, Il porte l'eau, et le support du pied d'attache d'ailette, et au niveau de cette cuve il y a un robinet de décharge d'eau après chaque contrôle. voir figure (III-2)

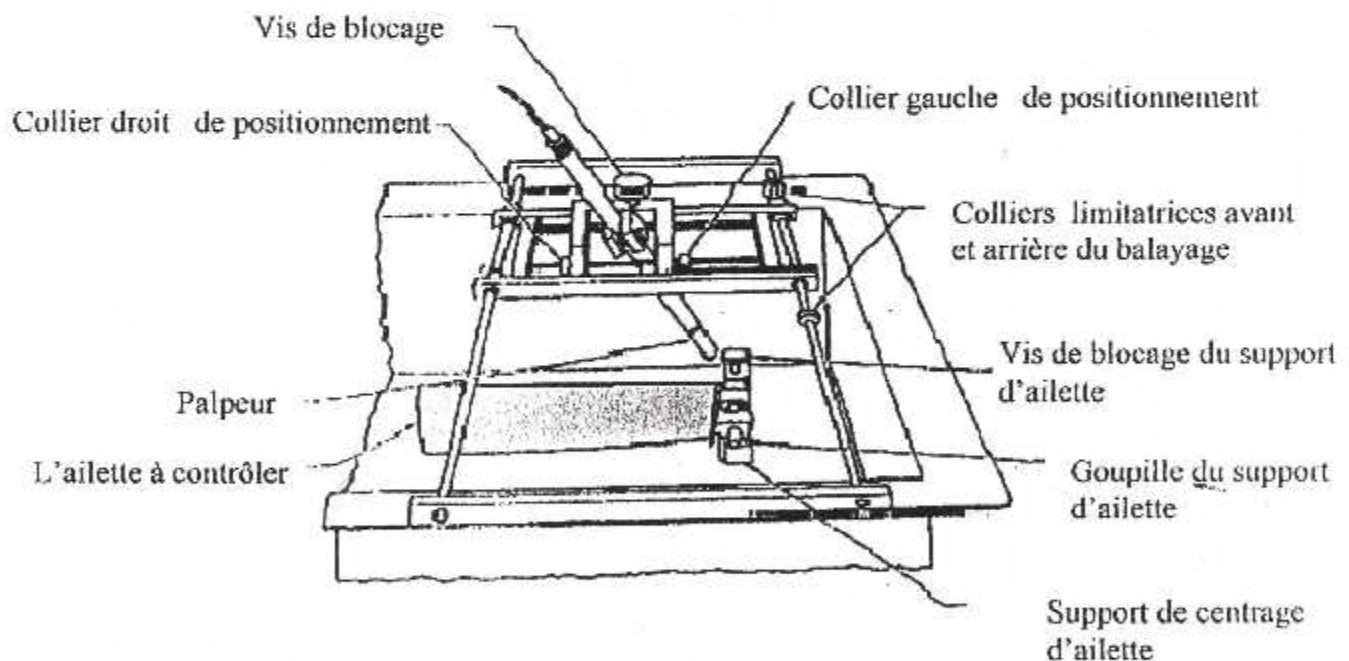


Fig. (III-2) : Schémas de l'appareil à ultrason par immersion d'Air Algérie

Pour avoir une connaissance approfondie sur notre projet, on vous conduira à découvrir les principales étapes utilisées pour la réalisation, on commence par les composants de ce système qui sont :

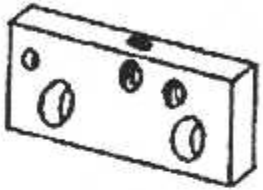
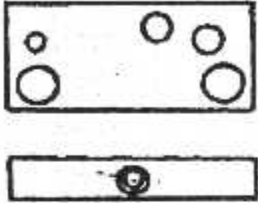

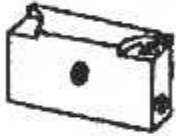
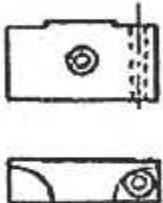

Pour avoir une connaissance approfondie sur notre projet, on vous conduira à découvrir les principales étapes utilisées pour la réalisation, on commence par les composantes de ce système qui sont :

- Un ensemble des pièces qui porte le palpeur avec une bonne étanchéité, qui va assurer le réglage du palpeur à des différents angles d'incidences.
- Un palpeur droit de 5  $Mh_z$
- Un ensemble des pièces constituant un mécanisme qui assure la translation du mécanisme précédant pendant l'étalonnage suivant l'axe ( $xx'$ ), à l'aide d'une manivelle, afin d'avoir l'écho de fond maximale, et le palpeur sera perpendiculaire aux contraintes de cisaillements maximales, (le déplacement est de 80mm),
- Un système de translation pour déplacer l'ensemble des deux mécanismes précédents suivant l'axe ( $yy'$ ) pour inspecter toute la pièce, à l'aide d'une manivelle avec un déplacement de 240mm, et ce système est pas fixé sur le bassin..
- Un système de roulement pour le balayage de tout le système suivant l'axe ( $xx'$ ).
- Le bassin supporte l'ensemble des mécanismes, avec le système de déplacement de roulement, il porte l'eau, et le support du pied d'attache d'ailette I et au niveau de cette cuve il y a un robinet de décharge d'eau après chaque contrôle.


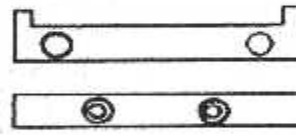

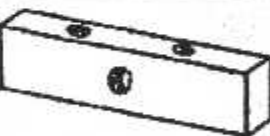
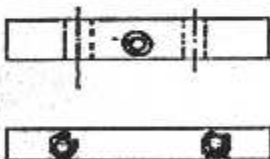

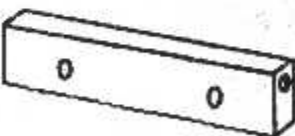
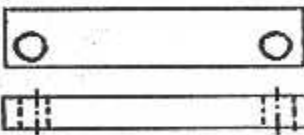


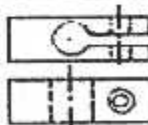

### III-3-1- Fabrication des pièces constituant l'appareil à ultrason par immersion :

Après avoir toutes les dimensions réelles des pièces constituant l'appareil à ultrason par immersion, on a commencé par la préparation des modèles des pièces en bois rouge avec une augmentation de 2mm dans les dimensions, puis on a fait le moulage sur les modèles, afin d'avoir des pièces moulées prêtes à l'usinage, et le nombre des pièces qu'on veut usinées est de 19 pièces qui sont présentés dans les tableaux suivants :





A) : Tableau présente les pièces du mécanisme qui porte le palpeur

N°	Nbr	Les pièces en 3 dimensions	Les différentes vues
01	02		  <p>Echelle : 1/2</p>
02	01		  <p>Echelle : 1/2</p>

B) : Tableau présente les pièces du système de translation, avec le manivelle

03	01		  <p>Echelle : 1/2</p>
04	01		  <p>Echelle : 1/2</p>
05	01		 
06	01		  <p>Echelle : 1/2</p>

D) Tableau présente les pièces qui fixe, et qui supporte tout le système d'inspection.

N° :	7	8	9	10
Nr :	01	01	01	01
Les pièces on trois dimension				
	Echelle : 1/4	Echelle : 1/4	Echelle : 1/4	Echelle : 1/4

D) tableau présente les différentes vues des pièces du tableau C

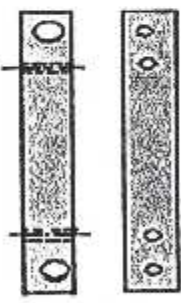
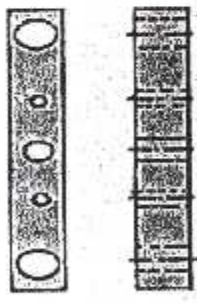
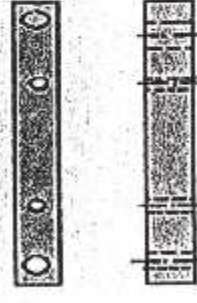
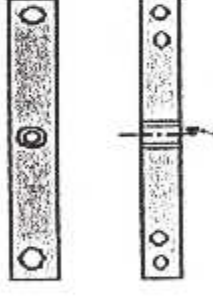




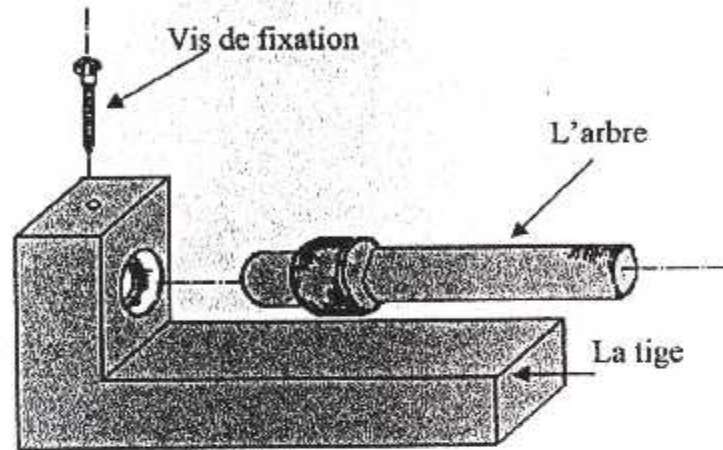
Echelle : 1/4	Echelle : 1/4	Echelle : 1/4	Echelle : 1/4
			
			

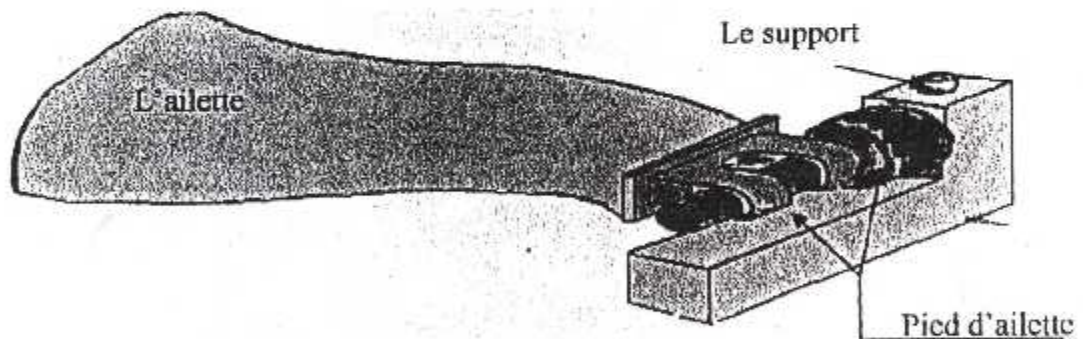
Fig. (III-3) : Pièces du système de réglage, et de balayage du palpeur

**E) Le support d'ailette :**

Il est constitué par deux pièces assemblées, qui assurent la superposition de l'ailette dans le bassin, qui a un arbre fixé dans une pièce de forme perpendiculaire, comme il est représenté à la figure suivante : figure(III-4)



**Fig. (III.4) : Montage du support d'ailette**



**Fig. (III-5) : La position d'ailette contrôlée**

### III-4- réalisation du support de palpeur :

Pour présenter les étapes fondamentale d'avoir une pièce prête pour le fonctionnement, on a choisie le support du palpeur comme exemple d'usinage, avec les détails dans sa réalisation suivant les techniques de la fabrication mécanique.

#### III-4-1-La phase de moulage :

Dans notre réalisation on a utilisé le moulage en sable qui convient pour tous les métaux de fonderie, notamment ceux à point de fusion élevée (fontes aciers) .Il s'adapte bien aux petites séries de pièce. C'est pratiquement le seul procédé utilisé pour les grandes pièces.

Un moule comporte en général et au minimum deux parties : un châssis inférieur et un châssis supérieur, La surface de contact des deux parties constitue le joint du moule.

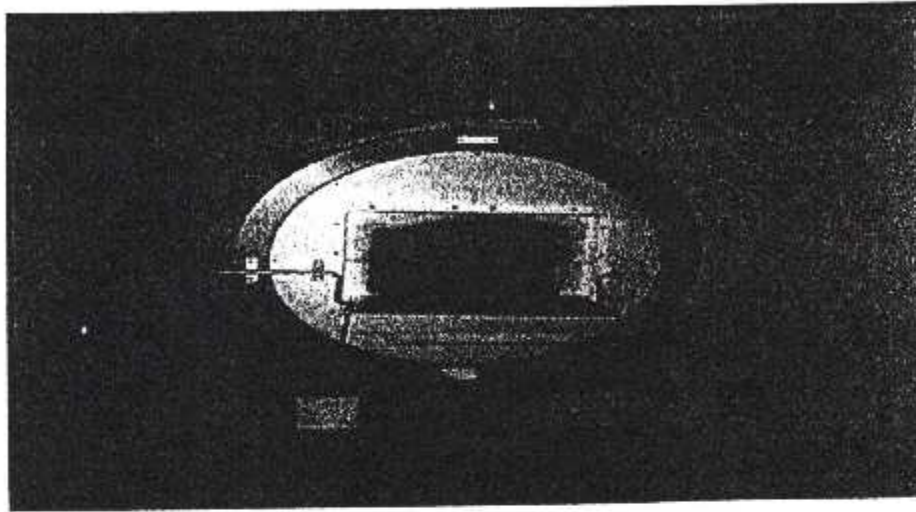
L'empreinte de la pièce est généralement obtenue à l'aide d'un (modèle) en bois ou en métal, afin de l'extraire du moule sans arracher de sable, Il est nécessaire de prévoir les surfaces en dépouille les formes intérieures d'une pièce peuvent être obtenues par un ou plusieurs noyaux en sable qui les matérialisent. Le moulage en sable est détruit après la solidification de la pièce. :

- dans le cas du moulage à modèle perdu, le modèle est en polystyrène expansé et reste prisonnier dans le sable, il est détruit par la coulée du métal en fusion. Ce procédé convient pour une fabrication unitaire (prototype, montage, d'usinages, etc....)

Tableau de la composition chimique du lingot d'alliage d'aluminium

alliages	Compositions chimiques des lingots d'alliages d'aluminium.										
	Fe	Si	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Cr
AS7G	0.4	6.5-7.5	0.05	0.35-0.4	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1-0.2	/

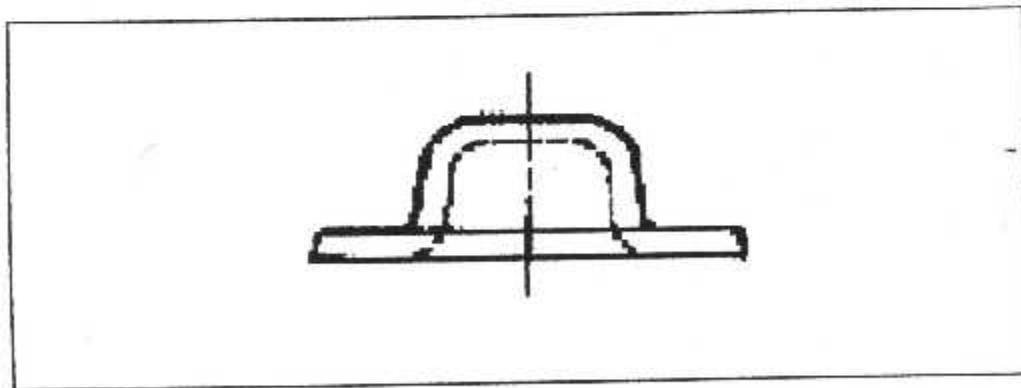
D'une manière générale, avant le commencement de cette phase, on a préparé le modèle chez le menuisier, qui est, en bois rouge de type acacia, et acajou pour obtenir une pièce, qui a une surface bonne, et homogène après le moulage, afin de faciliter l'usinage de la pièce, puis on prépare le sable silico-argileux, et le métal fondu dans le four qui est représenté dans la figure suivante : figure(III-6)



**Fig. (III-6) : Four de fusion des métaux**

Après avoir les modèles des pièce, et la quantité de sable nécessaire pour réaliser le moulage, on a pressé le sable dans le premier châssis, avec le maillée, puis on a plonge le modèle jusqu'à la moitié, et après on a posé le deuxième châssis sur le reste de la pièce avec la pression du sable, et on a séparé les deux châssis pour remettre la pièce, avec la conservation de l'empreinte.

Enfin on a fait deux trous (Event, de coulée) pour rôle de remplir la forme de la pièce, et le dégagement des gazes du métal fondu, on résume ces opérations dans les figures suivantes : figure (III-7, 8,9)



**Fig. (III-7) : Modèle de la pièce**

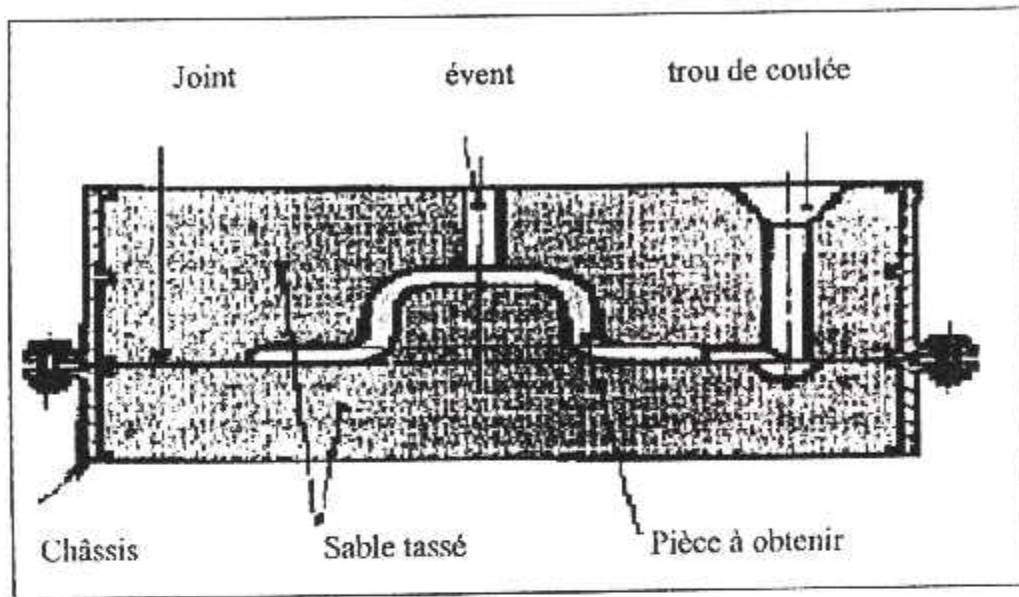


Fig. (III.8) : Représente l'empreinte de la pièce envelopper par les châssis

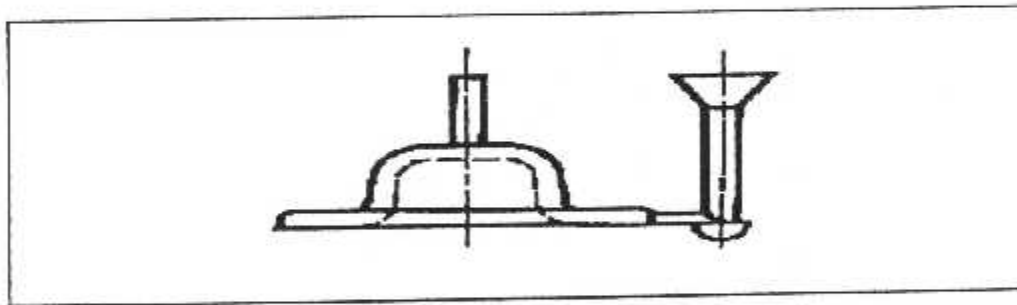


Fig. (III-9) : L'état de la pièce à la fin du moulage

Après l'obtention de la pièce moulée, on voit s'il y a des déformations, ou bien des défauts non désirés qui agissent sur la formation de la pièce (défaut d'élaboration), sinon on commence l'usinage.

#### III-4-2- La phase d'usinage :

Chaque opération d'usinage réalisée est dirigée par un dessin technique, qui a le rôle de faciliter les démarches d'usinage, et ces opérations sont basées sur :

- Préparation le dessin technique suivant les lois internationales (dessin technique du palpeur)



- les étapes de travail pour l'usinage de toutes les opérations de l'usinage correspondent aux machines de tour ou de fraisage ou bien les machines de pressage
- La contrat face : Cette étape permette de connaître tout les détaille de l'usinage qui correspondant de la vitesse de rotation et la vitesse de alimentation et les différent temps de travail soient le temps manuel ou bien le temps technique.

#### III-4-24 Les machines utilisées dans la réalisation :

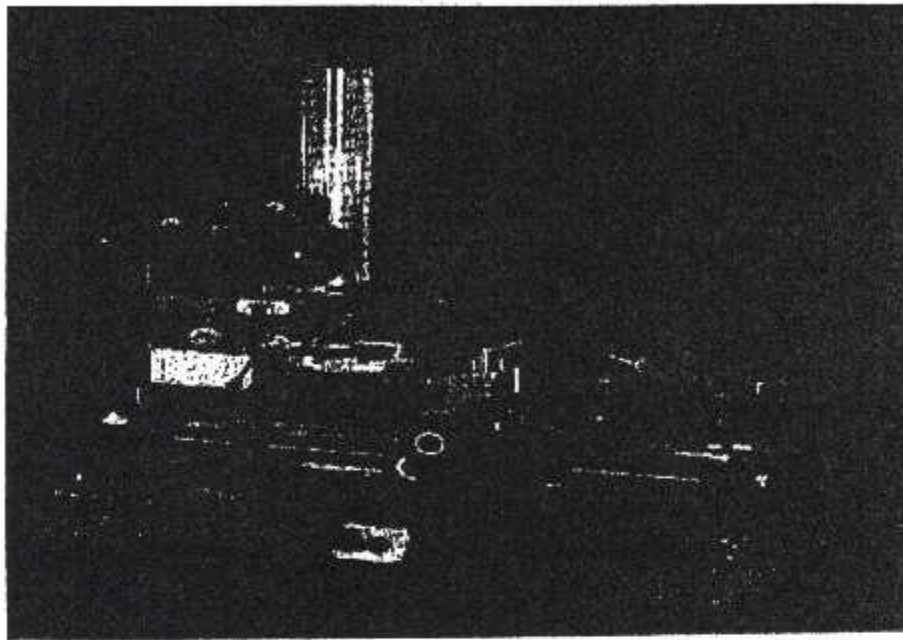
Pour notre réalisation on a utilisée les machines suivantes :

##### ❖ Machine de tour, fraisage, alésage, et le de perçage (M.U.200) :

La M.U.200 est une petite machine outil conçue dès l'origine pour assurer les fonctions : Tournage, fraisage, alésage, perçage. Il ne s'agit donc pas d'une machine sur laquelle viendraient s'incorporer des fonctions accessoires en complément, mais bien d'un tour, d'une fraiseuse, d'une aléreuse, d'une perceuse.

La M.U.200 machine polyvalente est toujours en action, elle a toujours du travail grâce a la multiplicité de ses fonctions qu'elle assure avec haut rendement, précision et maniabilité. Le rapport investissement/services lui confère un amortissement et des profits rapides, vite livrés, vite satisfaits.

La "petit" M.U.200 trouve, de ce fait, sa place dans tout les ateliers : pour les travaux d'entretien, de dépannage, de petites séries. L'industries lourdes, mécanique, entretien, petite mécanique, artisans, outilleurs, moulistes ateliers mobiles, laboratoires, centres d'apprentissage et de formation apprécient ses qualités ce sont les petites pièces qui retardent les livraisons ! La M.U.200 répond de suit. Figure (III-10)



**Fig. (III.10) : Représente l' M.U.200**

D'une manière générale cette machine est utilisée pour effectuer tous les fonctions des techniques d'usinage suivantes :

**1) fonction tournage :**

Toutes les qualités de la **M.U.200** sont exploitables en tournage : ensemble rigide, (banc nervuré en diagonale) pas de vibration, usinage rapide et précis. Passage  $\varnothing 200$  mm sur le banc,  $\varnothing 124$  mm sur le chariot.

Longueur Entre pointes **300mm**. montage des mandarins directs sans contre plateau. Broche : **CM3**-passage **20mm** cours du canon de la contrepointe **90mm** permettant le forage. Cône contrepointe **CM2**. Section des outils **12x1x3** avances automatiques (en option) trains d'engrenages pour filetages (en accessoires).

**2) fonction fraisage/ alésage vertical**

La **MU200** Se transforme en quelques minutes en fraiseuse en remontant la tête à l'aide d'une manivelle et la faisant pivoter. La colonne largement dimensionnée d'une grande rigidité assure une excellente précision.

Distance broche/table de longitudinale **565mm**, du transversal **162 mm**, de broche **70mm**.

**3) fonction fraisage/ alésage universel :**

La conjugaison de la rotation de la colonne et du pivotement de la tête de **0** à **90°**, permet de réaliser la totalité des angles d'usinage couramment utilisés en mécanique.

La course manuelle de broche de **70 mm**, ajoutée aux déplacements, longitudinal, transversal et vertical, accroît la maniabilité.

**4) fonction fraisage / alésage horizontal dans le sens longitudinal :**

Permet toutes les opération de fraisage perpendiculaires au banc et les opération d'alésage pareilles au banc, ces dernières pouvant être réalisées soit par le déplacement de la table. Sans avoir à déplacer la pièce, les opérations peuvent se poursuivre par la rotation et la translation de la colonne pour la face arrière

**5) fonction fraisage / alésage horizontal dans le sens transversal :**

Permet tout les opération de fraisage parallèles au banc et les opération d'alésage perpendiculaires au banc. Cette position augmente la course longitudinale et donc la capacité de la machine.

**6) fraisage / alésage horizontal avec bretelle (option) :**

Avec la bretelle montée sur le banc, on peut utiliser un arbre porte fraises ou des barres avec grains d'alésage.

**7) fonction perçage**

Par l'utilisation d'un mandrin porte forets ou de forts à queue conique. La **M.U.200** se transforme aisément en quelques instants en perceuse sur colonne, avec table mobile dans le transversal et le longitudinal : perçages précis selon des coordonnées rigoureuses.

Course de broche jusqu'à **70mm**. De mémé qu'en fraisage, il est possible de percer en position.

### III-5 - Description de l'étape d'usinage :

#### ❖ La première étape :

Après le moulage on aura les dimensions suivantes avant commençai l'usinage.

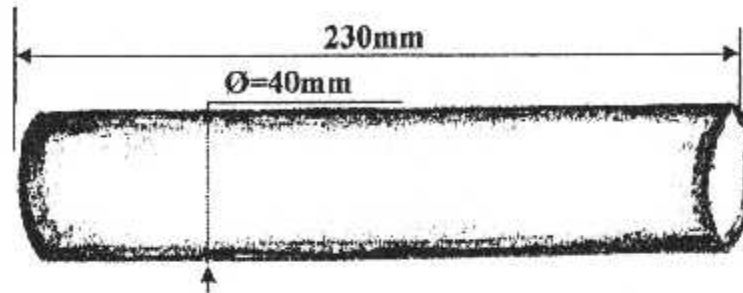


Fig. (III-11) : représente la première étape

#### ❖ La deuxième étape :

Cette étape consiste à placer la pièce obtenue par le moulage dans le mandrin du tour pour sa fixation, afin de faire les opérations suivantes :

- Le dressage de la surface (1). pour assuré la distance  $L=220\text{mm}$
- Le centrage de la pièce pour faciliter l'opération suivante

Dans cette étape on a utilisé un outil de dressage (A), et un autre de centrage (B), qui sont placés dans le tour. Voir figure (III-12)

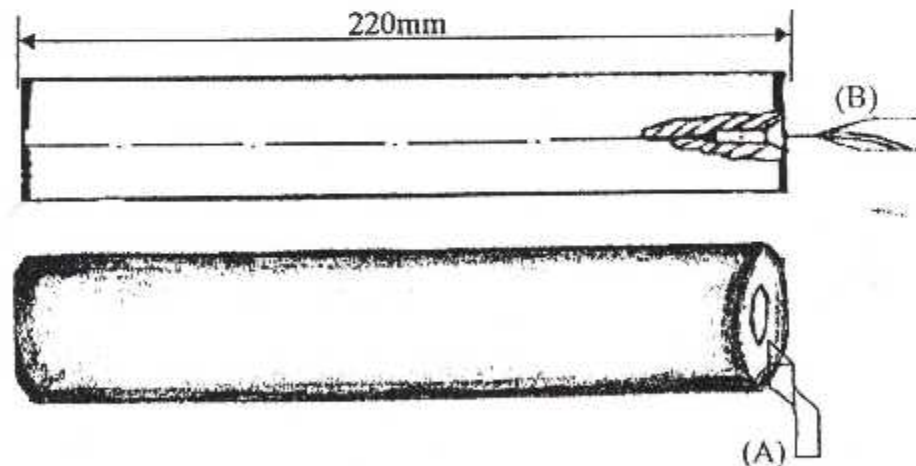


Figure. (III-12) : représente La deuxième étape

## ❖ La troisième étape :

Dans cette étape on a fait :

- Le chariotage par l'outil (C) pour la finition des surfaces (2) et (1), afin d'assurer le côtes de la machine ( $C_m$ ) : avec  $C_m = 210\text{mm}^{\pm 0,5}$ , puis on effectué la grogne (8), avec un côtes d'outil  $C_o = 3\text{mm}^{\pm 0,5}$ ,  $C_a = 16\text{mm}^{\pm 0,1}$  et en suite on fait le chanfrein (7), et à la fin on a taraudé la surface (9), avec  $C_o = M18$  (référence de l'outil). Voir figure (III-13)

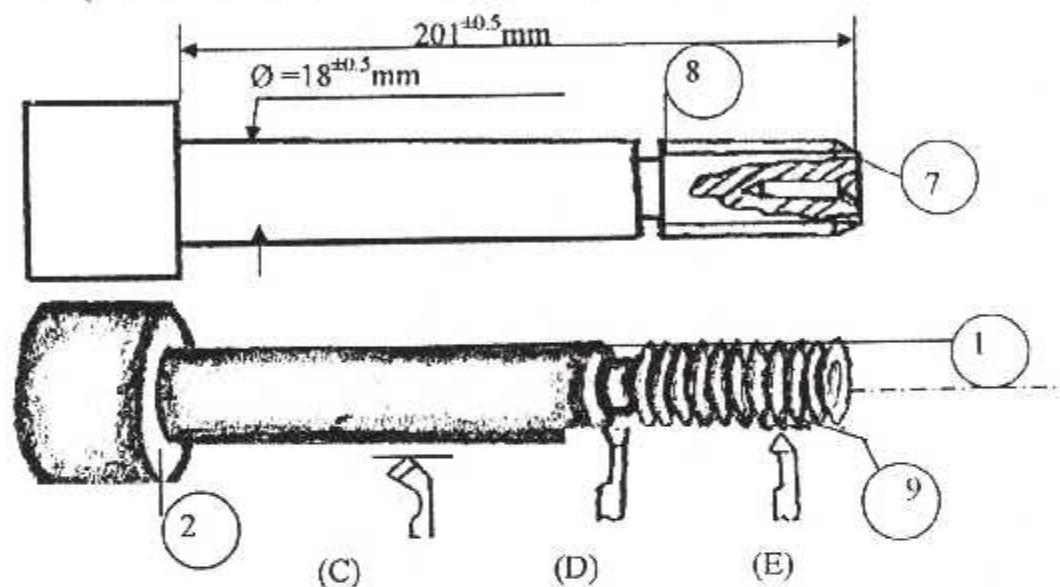


Figure. (III-13) : représente la troisième étape

Les outils utilisés sont :

- l'outil de chariotage et de chanfrein (C)
- l'outil de gorge (D)
- l'outil de taraudage (E)

## ❖ La quatrième étape :

Pour commencer cette étape on a reversé la pièce pour réaliser les opérations suivantes :

- La finition de la surface (3), pour assurer le diamètre extérieur qui égale :  $\varnothing = 37\text{mm}^{\pm 0,5}$ .
- La finition de la surface (4) et (5) a la même temps, pour assurer le diamètre intérieur qui égale :  $\varnothing = 30^{\pm 0,5}\text{mm}$ , et  $C_a = 10^{\pm 0,5}\text{mm}$ .

- Faire l'alésage de la surface (6), pour assurer.  $Co=12,5^{+0,5}$  mm

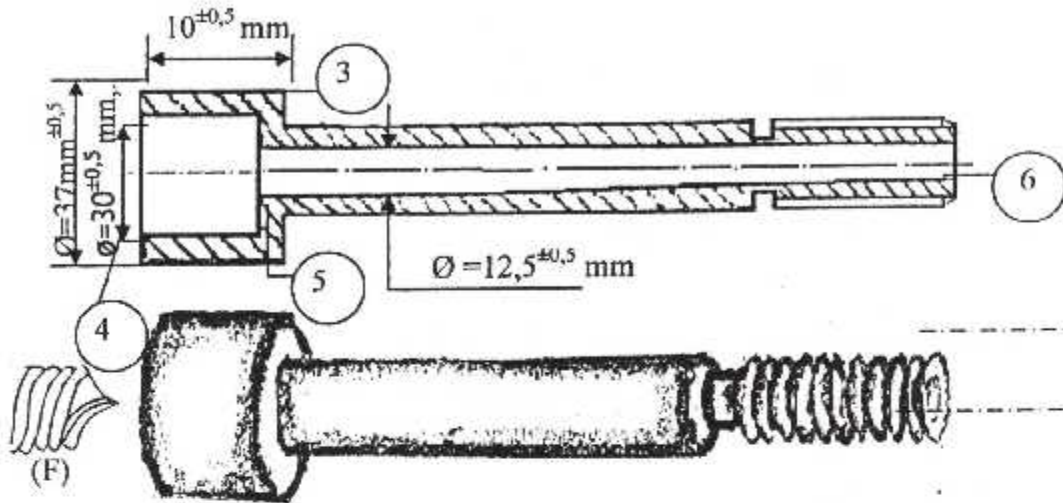


Figure (III-14) : représente La quatrième étape

Les outils utilisés sont :

- l'outil de alésage (F)

❖ La cinquième étape :

Dans cette étape on a utilisé la perceuse pour réalisée les opération suivantes :

- Perçage de (10, 11, 12), avec une angle de  $120^0$  entre les trous, et assurer  $Co=4,5$  mm.
- Taraudage de (10, 11,12), avec M6 (référence de l'outil).

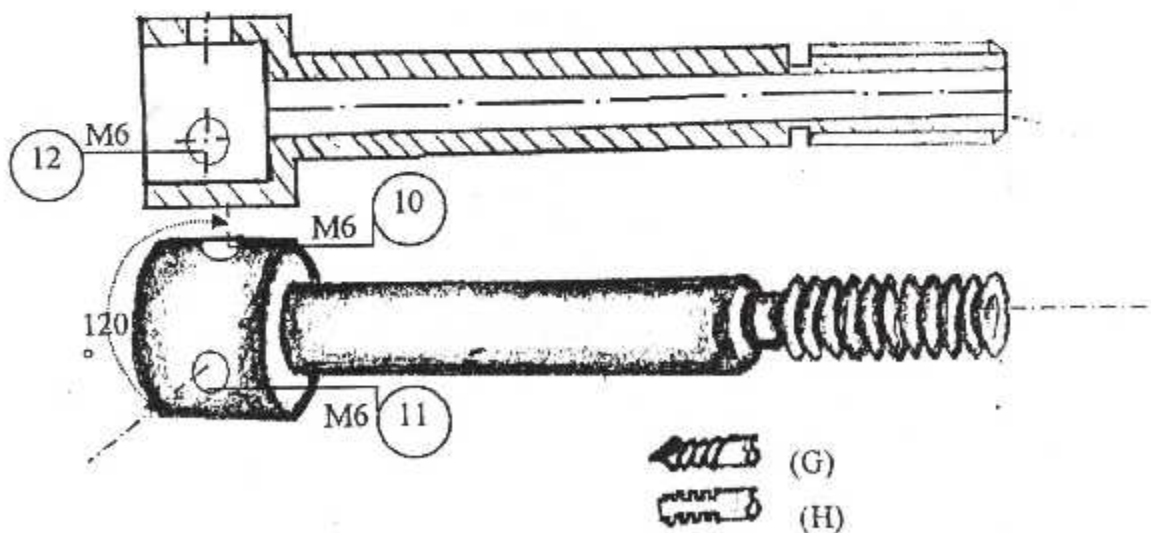


Figure. (III-15) : représente la cinquième étape

Les outils utilisés pour cette opération sont :

- outil de perçage (G).
- outil de taraudage (H)

### III-6- La position du support dans le système :

On a choisie cette forme de support, puisqu' il a une relation directe avec le système, dont le but de simplicité tout les commande du système dans les déférents sens de l'inspection, et il occupe toute la forme du palpeur. voire figure (III-16)

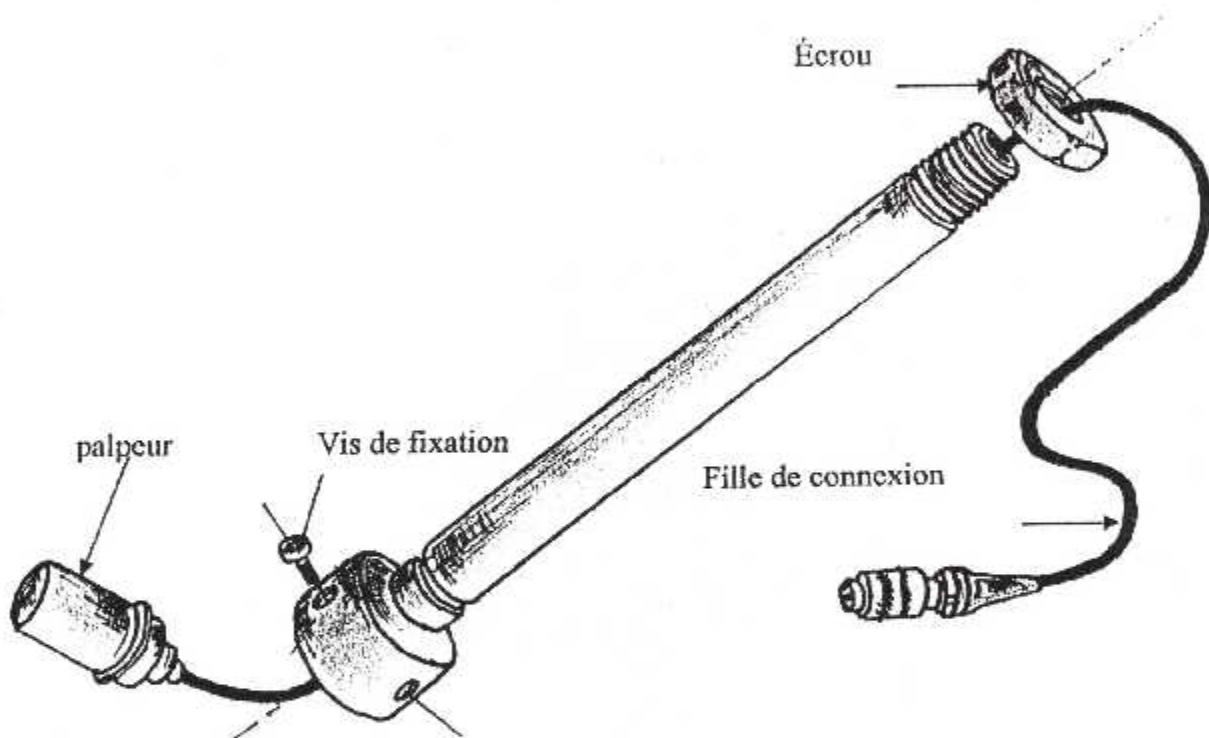


Fig. (III-16) :Présente La positon du palpeur dans le support

### III-7 – Les améliorations au niveaux de l'appareil à ultrason par immersion :

Après avoir toutes les pièces qui constituent le système de contrôle, On effectué notre amélioration au niveaux des mécanismes de balayage :

- Transformation du déplacement avec la main au déplacement à l'aide d'une manivelle.
- Un système de roulement pour déplacer tout le système sur le bassin.

### III-7-1- Le système vis écrou (manivelle) :

Le rôle fondamentale d'utiliser un vis écrou pour :

- Pour réaliser l'assemblage entre deux ou plusieurs pièces
- Pour la transmission du mouvement : le mouvement de rotation au mouvement de translation.

Ce système comporte une tige filetée, et un écrou sous les caractéristiques suivants :

- Un filetage est obtenu à partir d'un cylindre (quelquefois d'un cône) sur lequel on a exécuté une ou plusieurs rainures hélicoïdales la partie pleine restante est appelée filet. voir figure (III-17)
- Une tige filée est appelée : la vis.
- Un trou taraudé est appelé : l'écrou

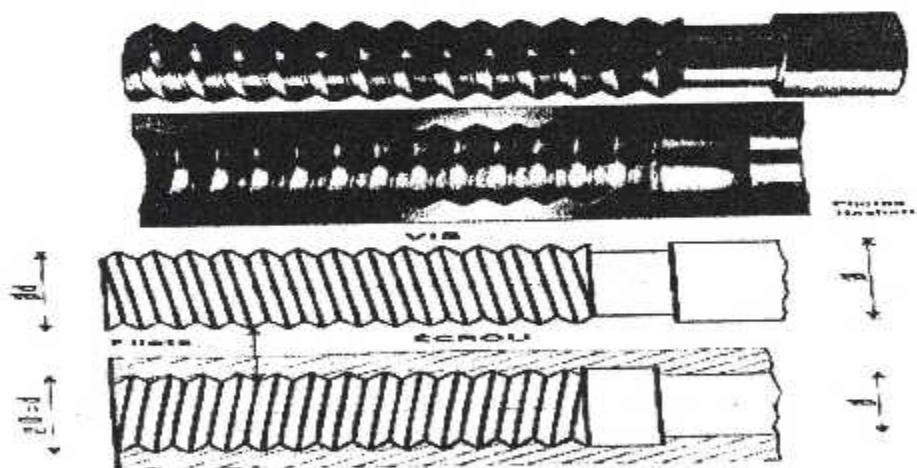


Fig. (III-17) : Présente une tige filetée

- Différents profils de filetage. voir figure (III-18)

Afin d'assurer dans tous les cas le montage, le profil de base représenté

- pour la vis, le profil maximal.
- pour l'écrou, le profil minimale



- profil métrique ISO « NF E 03-001 » :

Désignation d'un filetage ISO : Symbole M suivi du diamètre nominal ( $d=8$ ) Et du pas ( $p=1.25$ ) séparé par le signe de la Multiplication. Indiquer ensuite la tolérance de filetage : M 8 X 1.25\*-6g

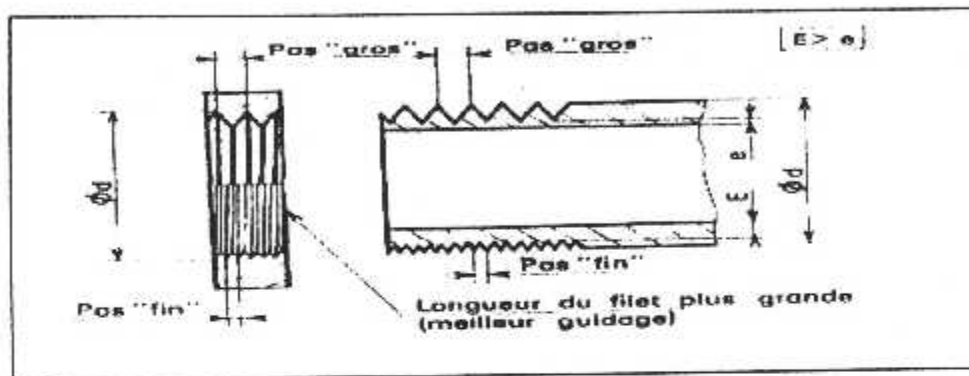


Fig. (III-18) : Présente les caractéristiques du filetage

Après la réalisation de toutes les pièces qui constituent l'appareil d'inspection à ultrason par immersion, avec le système de translation par les manivelles, on vous montre comment le montage d'ensemble de pièce : voire fig. (III-19)

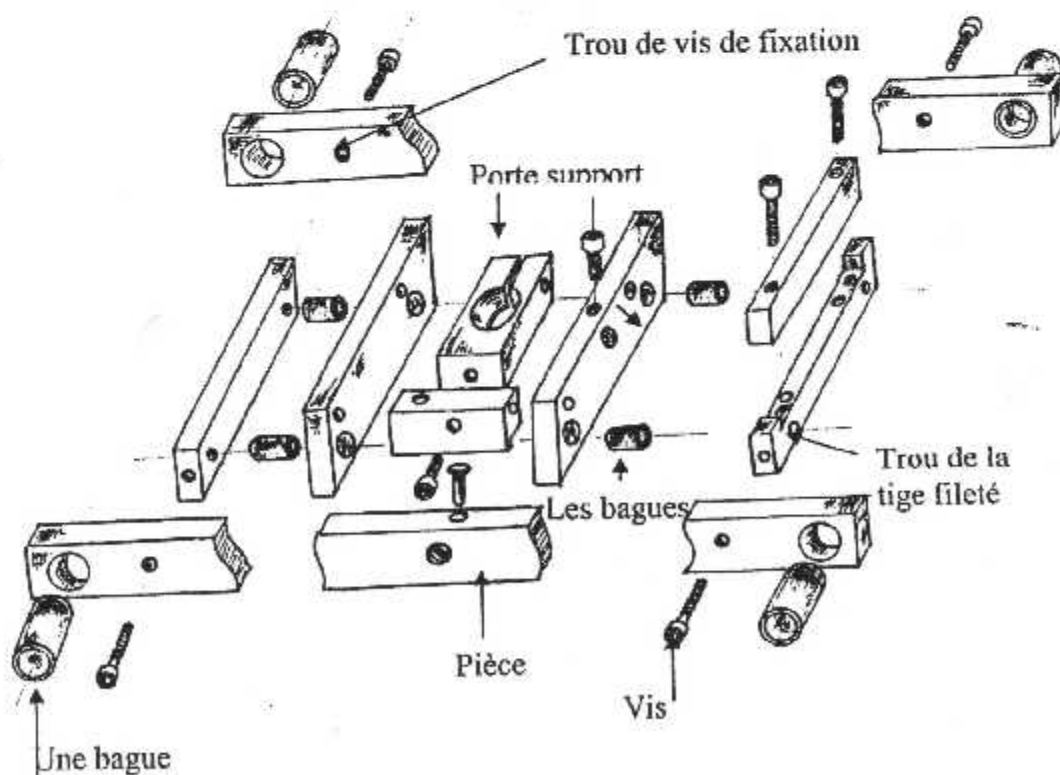
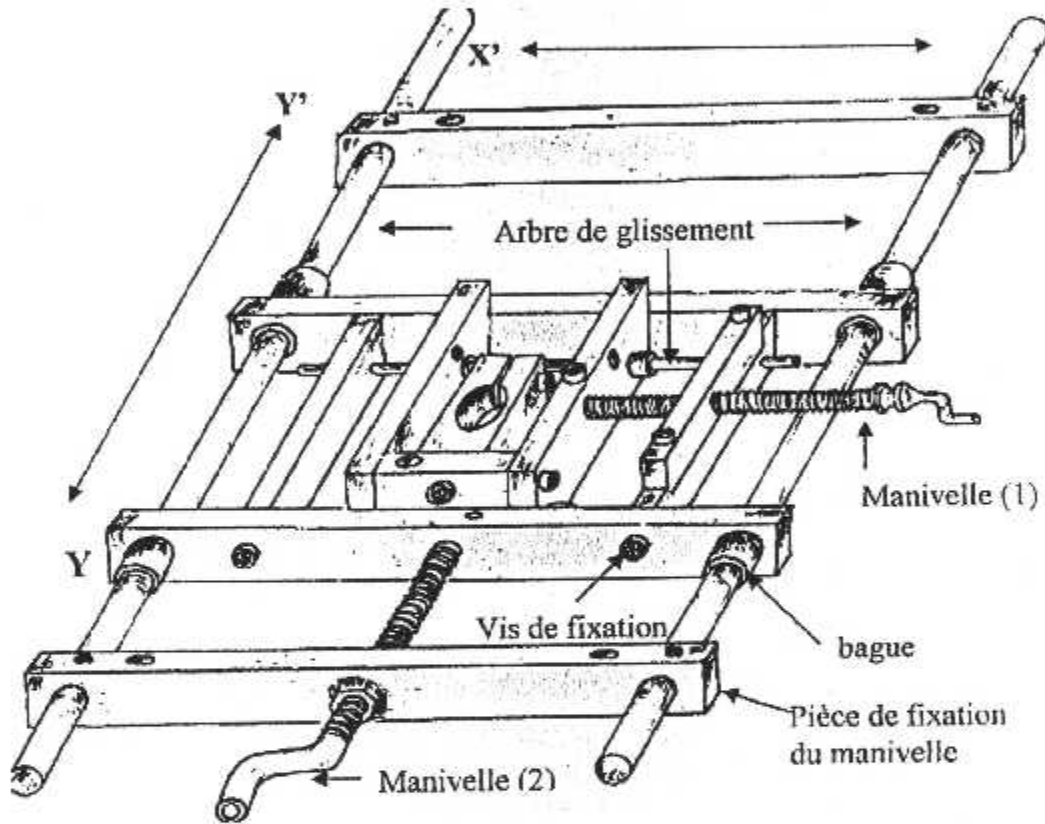


Fig. (III-19) : Schémas d'éclaté d'assemblage des pièces

L'ensemble des pièces qui sont en couleur jaune est commandé par le manivelle (1) pour obtenir le de translation suivant l'axe ( $xx'$ ) avec un déplacement de 120mm.

L'ensemble des pièces qui en couleur bleu est commandé par le manivelle (2). Pour un autre mouvement de translation suivant l'axe ( $yy'$ ), avec an déplacement de 220mm. Voire figure (III-20)



- Mécanisme de d'étalonnage du palpeur.
- Mécanisme d'inspection

Fig. (III-20) : Schémas du mouvement de translation effectué par les manivelles

### III-7-2- Le système des roulements :

Pour déplacer tout le système d'inspection sur le bassin, et permettre de balayer le palpeur suivant l'axe ( $xx'$ ), pour rôle d'inspecter les grandes pièces et dans ce système on basés sur le montage des roulements de type (BC). Voir la figure (III-21)

#### ❖ Les roulements :

On appelle roulement un ensemble de pièce inséré entre deux organes mobiles l'un par rapport à l'autre et destiné à remplacer un glissement par un roulement la puissance absorbée par la résistance du roulement est beaucoup plus faible que la puissance absorbée par la résistance au glissement. Un roulement est défini par deux caractéristiques essentielles :

- Le type
- Les dimensions
- types de roulements qui on a utilise si: **35BC 02 XE**
- **35**: valeur  $\varnothing$  de l'alésage en (mm)
- **BC**: roulement à une rangée de billes, à contact radial, sans encoche de remplissage.
- **02**: série de dimensions
- **XE** indique :
  - **X**: n'importe quel type de cage acceptable
  - **E**: simple joint (d'un seul côté) a frottement, fixation permanente.

#### ➤ **Avantage du roulement (BC) :**

On a choisi ce type de roulement pour

- Ce roulement supporte des charges radiales et axiales relativement importantes.
- ils exigent une bonne axillaire des portées de l'arbre d'une part et des alésages des logements d'autre part.

➤ Les inconvénients du roulement (BC) :

- Un couple de frottement augmenté
- Les roulements comportant une protection de deux cotés sont garnis, une fois pour toutes, par le fabricant ; d'un lubrifiant convenable pour le fonctionnement.

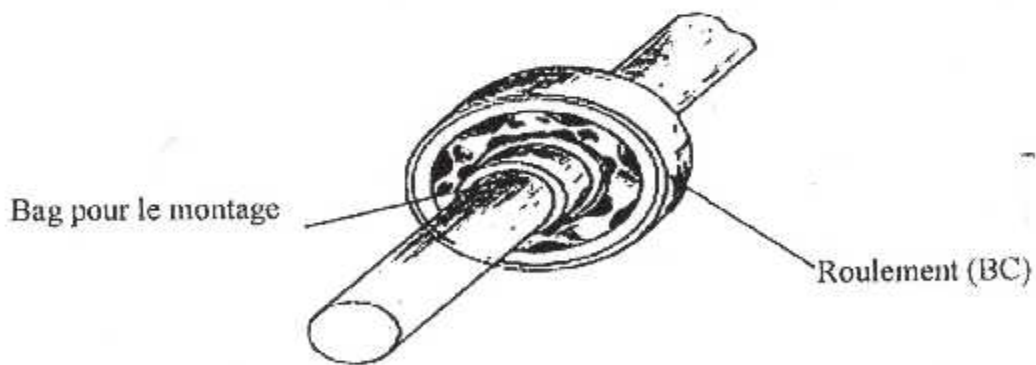
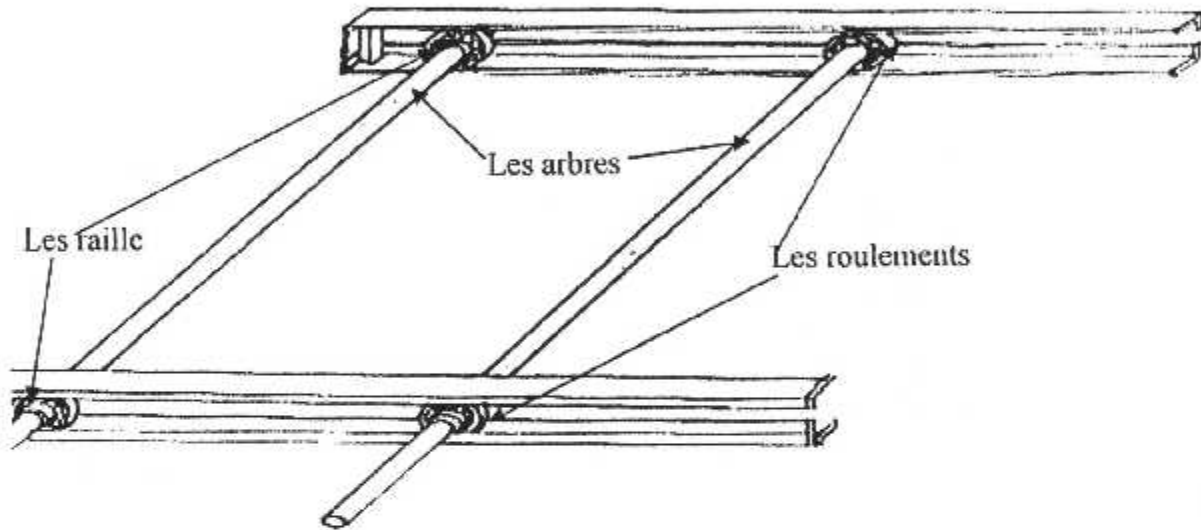


Fig.(III-21) : Le système de balayage

### III-7-3- Le bassin :

Le bassin est réalisé pour supporter tout le système d'inspection, avec assurance de leur déplacement à l'aide du système des roulements, et en suite il porte l'eau ou la pièce est immergée.

On a utilisé le plexiglas pour la réalisation du bassin suivant leur caractéristiques suivants : voire la figure (III-22)

- Le poids léger
- Permission de visualiser l'opération de contrôle

Les dimensions de notre bassin sont :  $660 \times 490 \times 220 \text{ mm}^3$ . Et on a opté pour ses mesures à cause de deux principes :

- Faciliter le contrôle des grosses pièces
- Simplicité de l'opération du contrôle

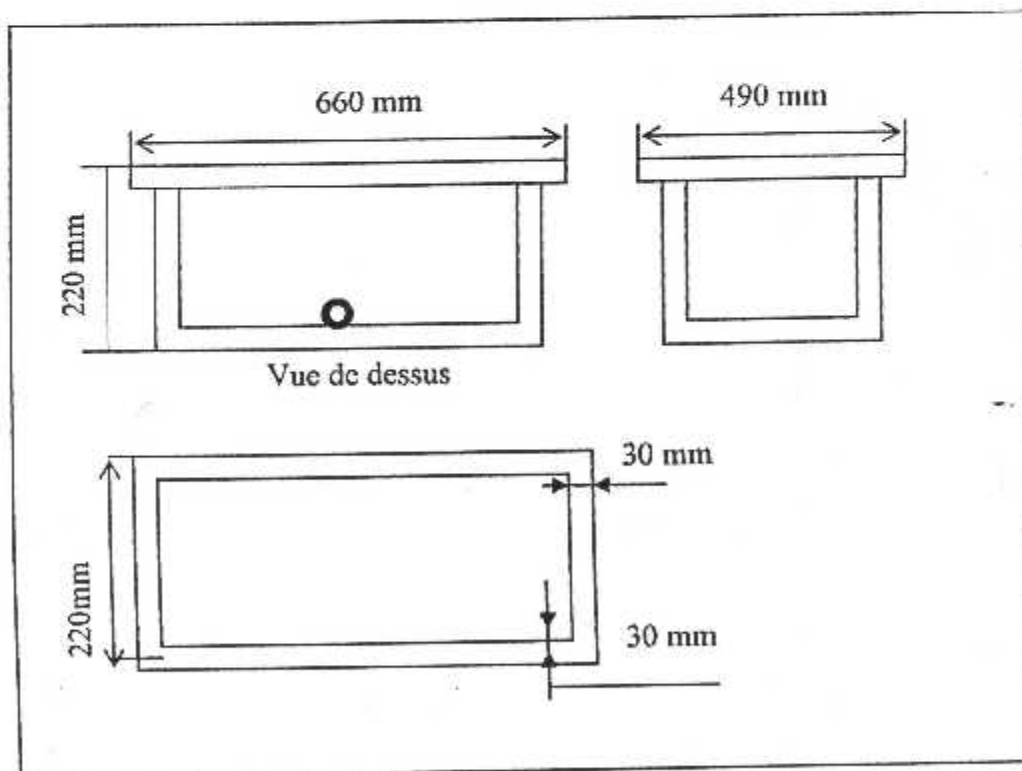


Fig. (III-22) Différents vues du bassin

Le bassin positionne chaque pièce pour un bon contrôle, par exemple : pour l'inspection de l'ailette il faut prendre une position spéciale à l'aide de son support pour un contrôle facile, rapide, et efficace. Voir la figure (III-23)

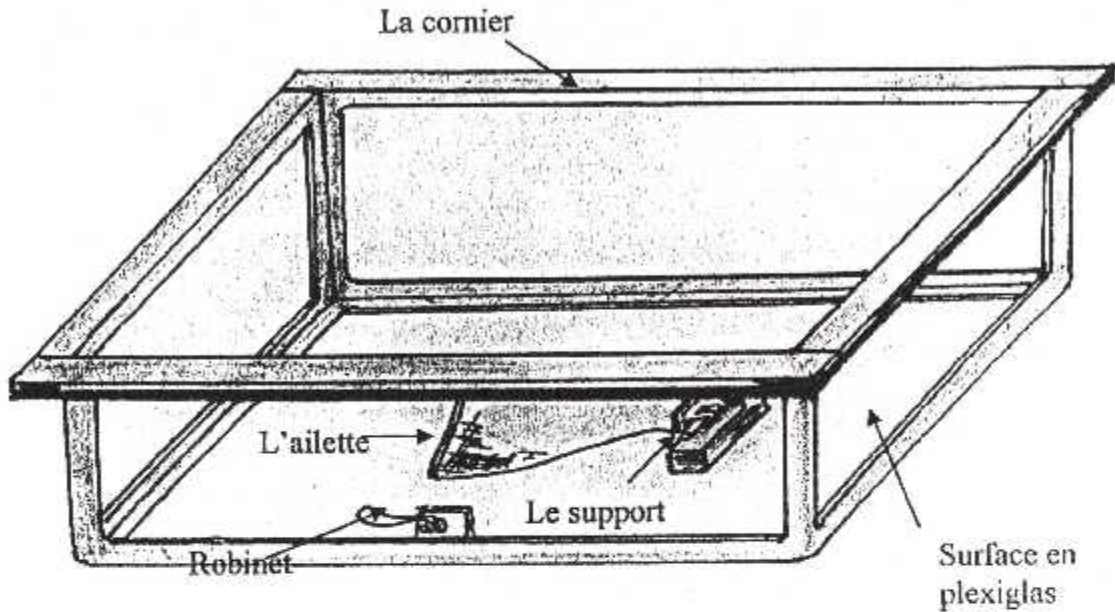


Fig. (III-23) : Le bassin

Après avoir tous les organes de notre appareil on fait le montage des mécanismes de fonctionnement comme est représenté dans la figure suivante : voir la figure (III-24)

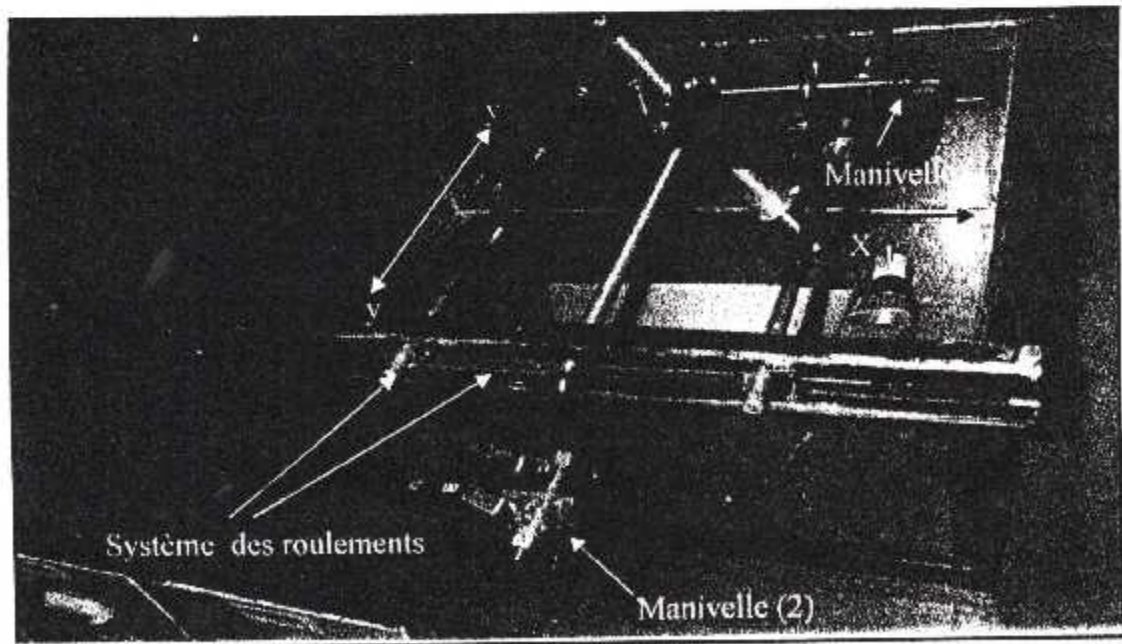


Fig. (III-24) : l'appareil d'inspection à ultrason par immersion réalisée

**III-8- Le fonctionnement de notre appareil réalisée :**

Le principe de fonctionnement de notre appareil et le même de l'appareil d'Air Algérie qui est basée sur l'intégration fonctionnelle entre les trois mécanismes de balayage pour assurer une bonne inspection aux niveaux des pièces mécanique, et les principaux principes de fonctionnement sont :

**❖ Mécanisme d'étanchéité, et de réglage :**

Il fonctionne sous l'effet de la manivelle pour l'étalonnage de l'appareil, et ainsi que ceux pour inspecter les petites pièces suivant l'axe ( $xx'$ ), et il forme une intégration fonctionnelle avec le mécanisme qui le porte.

**❖ Mécanisme de balayage et d'inspection suivant l'axe ( $yy'$ ) :**

Il fait le déplacement du mécanisme précédent suivant l'axe ( $yy'$ ) sous l'effet d'une autre manivelle pour inspecter les pièces moyennes, et il forme une intégration fonctionnelle avec le mécanisme qui le porte.

**❖ Mécanisme de balayage et d'inspection suivant l'axe ( $xx'$ ) :**

Il fait le déplacement des deux mécanismes précédents sur tout le bassin suivant l'axe ( $xx'$ ) sous l'effet d'un système des roulements pour inspecter les grosse pièces.

**III-9- Conclusion :**

Le rôle fondamental de ce modeste travail est de connaître la pratique de la technique d'ultrason par immersion, et ainsi que ceux de la construction mécanique, avec des améliorations qui assure une bonne inspection de la pièce.

# CHAPITRE IV

*Etude comparative  
entre les techniques  
d'ultrason*



## IV- ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES TECHNIQUES D'ULTRASONS

### IV-1- L'UTILISATION D'UN APPREILS A ULTRASON :

Avant d'utiliser l'appareil, il faut qu'on soit fixé au sujet des irrégularités que le sujet pourrait présenter, de ceci résulte le soin avec lequel le contrôle est à faire en tenant compte du nombre d'endroit à examiner ainsi que la valorisation des résultats.

Lors d'une indication, il ne faut pas parler immédiatement d'un défaut, mais après une étude approfondie, par exemple, en contrôlant le plus de directions possibles en fonction des données métallurgiques et les méthodes de contrôle jusqu'ici disponibles, afin d'obtenir de la certitude concernant la cause de l'indication.

De plus, il est important de choisir toujours la direction de contrôle de telle façon qu'une indication nette soit obtenue c'est-à-dire les endroits à contrôler doivent être sondés de façon, que les manchons ou les alésages ne forment pas des échos secondaires ou multiples perturbateurs, ceci devient plus facile à réaliser par l'emploi de palpeurs à coin dans la plupart des cas.

Souvent, il est utile de tracer dans un dessin de l'objet examiné, le parcours de l'ultrason, pour se faire une idée de l'exactitude du contrôle et lors de l'emploi du palpeur à coin, de choisir l'angle convenable, en tout cas, il faut contrôler chaque indication, si elle n'est une conséquence de la forme pièce.

Si les objets à examiner se répètent tant comme forme que comme problème, il y a moyen de scinder le contrôle en deux phase pour :

- Contrôle du problème par un opérateur formé.
- Pose du problème et examen des résultats par un spécialiste en matériaux.
- **la phase1** : peut-être fait par un opérateur formé, qui dispose d'une imagination saine de connaissance de matériaux et qui soit honnête.
- **la phase2** : pourra prendre alors la meilleure position, du fait de la connaissance du but de l'utilisation avec les données métallurgiques et les résultats des autres procédés d'essai.

Si le contrôle se fait selon la répartition précédente du travail, ils faut attirer spécialement l'attention sur des prescriptions de contrôle imprimé sur un formulaire pratique, elles ne doivent, non seulement prescrire à l'opérateur la façon de contrôler, mais également, permettre de retenir les détails de l'opération.

De la position et de la forme de l'indication en combinaison avec les changements résultant de petits déplacements du palpeur, il y a moyen de noter beaucoup de nuances, comme par exemple entre flacons et scories dans les pièces forge.

De plus, on fera également des remarques sur la pénétration générale, lorsque celle-ci peut-être variable sur les pièces examinées.

#### **IV-2- DIRECTIVES SUR L'EMPLOI ET L'ENTRETIEN DES PALPEURS :**

Les palpeurs droits de fréquences **0,25 et 0,5 et 1 Mhz** servent au contrôle de matériaux présentant une transparence moins bonne et dont la structure est plus ou moins fine ou grossière.

La grande longueur d'onde résultant de la basse fréquence provoquée au contact de surfaces lisses, des ondes superficielles perturbatrices. Par conséquent, il se peut qu'échos perturbateurs se créent sur les arrêts de la surface de contact.

De cette façon, il faut toujours compter, lors d'une surface lisse ou meulée ou fraisée de la pièce examinée, par exemple une pièce de forge ou de moulage, sur l'existence de ces échos perturbateurs. Les caractéristiques suivantes distinguent de véritables échos sur la pièce examinée par :

- La position des échos perturbateurs change dans le même sens sur l'écran de l'appareil avec le déplacement du palpeur vers une arrête.
- La hauteur des échos perturbateurs considérablement lorsqu'on tourne le palpeur autour de son axe sur la surface de contact.

Contrairement aux ondes superficielles de fréquences plus élevées, celles-ci ne se laissent amortir que très faiblement par le contact d'un doigt huilé sur la surface.

Pour éviter les ondes superficielles, il est préférable de travailler sur des surfaces rugueuses seulement après avoir enlever la crasse, la calamine non adhérente ou les discontinuités trop prononcées. Ce n'est que lorsque l'énergie n'est plus suffisante pour obtenir un écho de fond, qu'il serait permis de travailler avec une surface de contact meulée.

Il n'y a pas lieu d'attendre des échos perturbateurs de surfaces rayées ou de pièces tournées ébauchée.

### **IV-3- CONDITIONS DE CONTROLE :**

#### **IV-3-1- Plan de sondage :**

Avant d'effectuer le contrôle de la pièce, un examen du métal de base est souvent commandé, il permet de découvrir d'éventuels défauts qui nuiraient au contrôle de la zone sondée.

L'examen comprend toujours une zone couvrant à la fois le métal fondu et la zone affectée thermiquement.

##### **A) Examen par ondes longitudinales:**

Cet examen peut faciliter la détection des défauts non volumique dont l'orientation ou la position rendent leur détection incertaine et elle ne doit en aucun cas être utiliser en complément du contrôle par ondes transversales.

##### **B) Examen par ondes transversales:**

Ce type d'onde et celui auquel on doit faire appel, l'examen de soudure nécessite l'usage de palpeurs ayant des angles de réfraction différents ( $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ou  $70^\circ$ ) afin de permettre la détection des défauts de compacité éventuelle.

##### **C) Détection des défauts longitudinaux:**

Pour détecter des défauts longitudinaux, la pièce doit être examinée sur toute sa section transversale et sur sa longueur spécifiée. Le palpeur doit être placé sur la surface de contact et maintenu sensiblement latéral, en zigzag pivotant ou orbital.

##### **D) Détection des défauts transversaux:**

Elle sera obtenue en dirigeant le faisceau d'ondes transversales parallèlement à l'axe longitudinal de la pièce, et qui sera exploitée en plaçant directement le palpeur sur sa surface dans les deux sens par rapport à son axe sous des angles.

### **IV-4- CONTROLE DES PIECES :**

Le but de contrôle est de constater, identifier et localiser les défauts dans la pièce, puis appliquer les critères d'acceptabilité pour décider du sort de cette pièce, ces critères sont normalement définis pour chaque pièce en fonction des conditions de

sollicitation en se référant à certains codes ou normes d'utilisation générale tel que le code ASME (American Society of Mechanical Engineer), le code API (American petroleum Institue) ... etc.

Certaines de ces spécifications, indiquent non seulement les critères d'acceptabilité mais aussi les méthodes d'étalonnage et de contrôle, palpeurs à utiliser, etc.,

#### **IV-4-1- LES INSTRUMENTS DU CONTROLE :**

Les équipements d'appareils ultrasonores constituent une intégration pour réaliser une bonne inspection de l'appareil ultrasonore qui a été utilisé pour contrôler les pièces comporte les éléments suivants :

##### **❖ Générateur :**

Ce dernier est de type « SOFRANEL » fig. (IV-1-A) à des propriétés suivantes :

- Modèle : **5073 P k.**
- Gain : **32 dB.**
- Damping : **50  $\Omega$**
- Enneiger : **2 k Wat.**
- Fréquence : **200 Hz.**

##### **❖ L'oscilloscope :**

De type Tekronix  $\times$  TDS à phosphore numérique ( fig. IV.1.B) à des propriétés suivantes :

- Gain : **500 MV.**
- Moyenne : **512.**
- Comporte un enregistreur par disquette.
- Nombre de points : **10000points.**
- Temps par Caro :
  - Si la technique de contrôle est par contact T= **100 Mech/s.**
  - Si la technique de contrôle est par immersion T= **50 Mech/s.**
- Une loupe d'agrandissement.
- Deux modes d'opération soit :
  - Par transmission.
  - Par échos.

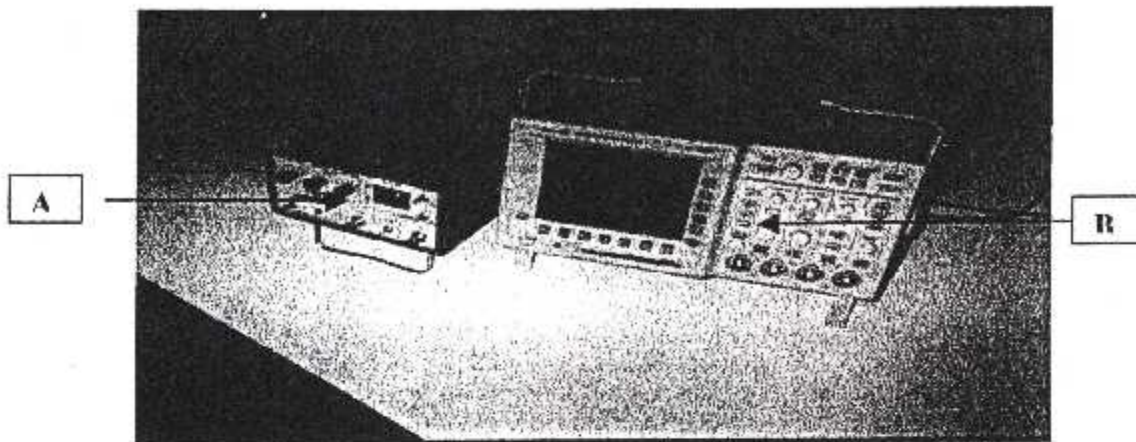


Fig. (IV-1) : Photo d'un générateur (A) avec l'oscilloscope (B)

❖ La sonde :

- Sonde droite de la méthode par impulsion écho réflexion utilisée dans la technique de contrôle par contact, qui est caractérisé par :
  - Une fréquence de **5 MHz**.
  - Un diamètre : **12 mm**.
  - Onde transmise : **Longitudinale**.
- Sonde droite de la méthode par impulsion écho par réflexion utilisée dans la technique de contrôle par immersion, qui est caractérisé par :
  - Une fréquence de **5 MHz**.
  - Un diamètre : **9,50 mm**
  - Onde transmise : **Longitudinale**.

**IV-4-2 PREPARATION LORS D'UN CONTROLE :**

Avant le contrôle de la pièce qui comporte un défaut de plan interne, on a considéré deux pièces de même nature et les mêmes dimensions, dans lesquelles on fait une rainure et un trou pour faciliter la comparaison opératoire entre les techniques de contrôle par contact et par immersion et cette préparation est basée sur trois les phases suivantes :

❖ La première phase :

Consiste à analyser le document envoyé par le constructeur et préparer le métal à utiliser pour le contrôle selon les exigences du constructeur.

Cette analyse permet de savoir que la pièce comporte un défaut à détecter qui est situé à une distance de **100 mm**, à partir du **0** et le contrôle se fait avec un palpeur droit et une fréquence **5 MHz**.

❖ **La deuxième phase :**

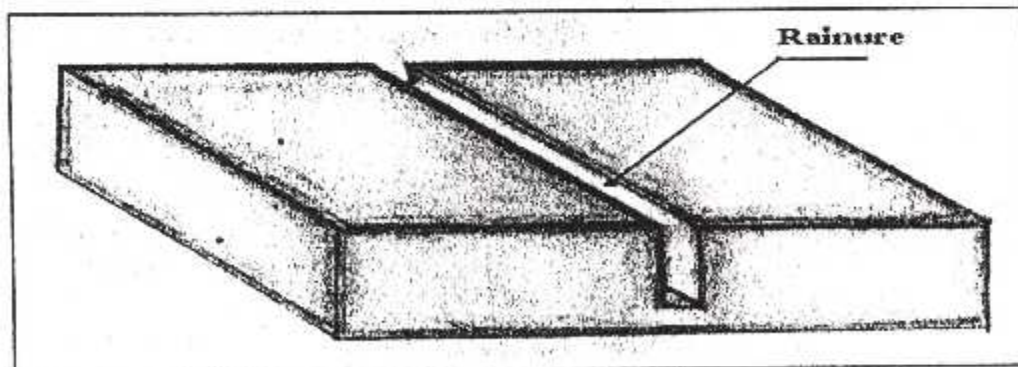
Consiste à étalonner notre matériel et à régler l'appareil, et ce-la ce fera comme il est indiqué sur les étapes suivantes :

- Le réglage de la vitesse de balayage en ondes longitudinales .
- Le réglage de la vitesse de balayage en ondes transversales .
- Le contrôle de linéarité de la base de données .
- Le contrôle du pouvoir de résolution .
- Le contrôle de la zone de silence .
- Le contrôle de la position du point d'émergence et de l'angle de réfraction pour les
- La gamme de bagage.

❖ **La troisième phase :** C'est la caractérisation de la pièce.

➤ **PIECE 1 :** (Voir fig. IV-2)

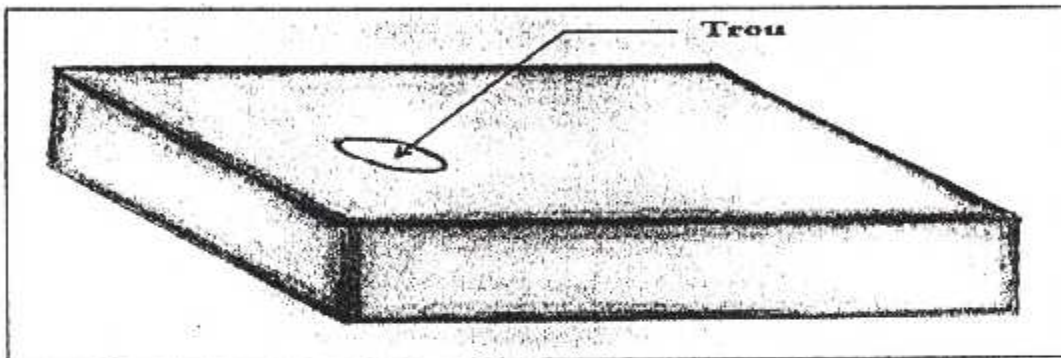
- **Matériaux : Acier inoxydable.**
- **Épaisseur : 40 mm.**
- **Longueur de la pièce : 300 mm.**
- **Largeur de la pièce : 70 mm.**
- **Longueur de la rainure : 70 mm.**
- **Largeur de la rainure : 4 mm.**
- **Profondeur de la rainure : 15 mm.**



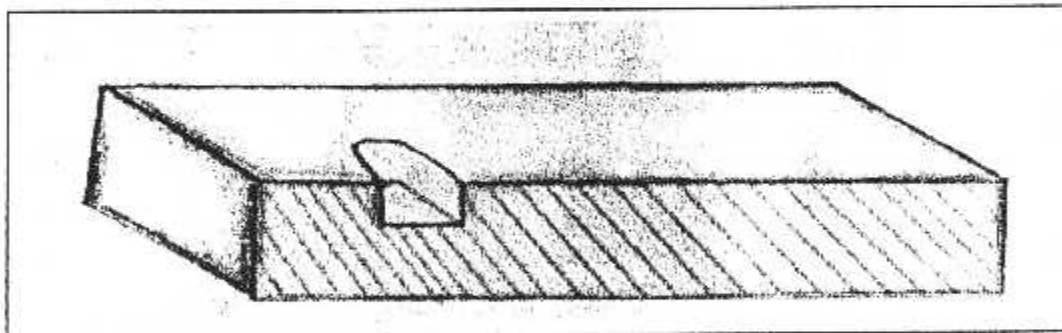
**FIG .(IV-2) : PIECE AVEC RAINURE**

➤ **PIECE 2** : Voir fig. (IV-3 )

- Matériaux : **Acier inoxydable.**
- Épaisseur : **40 mm.**
- Longueur de la pièce : **300 mm.**
- Largeur de la pièce : **70 mm.**
- Diamètre de trou : **8 mm.**
- Profondeur du trou : **12 mm.**



**FIG. (IV-3-A) : vue de haut d'une pièce comporte un trou**



**FIG. (IV-3-B) : la section de la pièce au niveau du trou**

**IV-5- MANIPULATION :**

le rôle fondamentale de réaliser ces manipes pour avoir une étude précise sur les techniques de contrôle par ultrason ,et bien connaître l'utilisation de l'appareils à ultrason dans les meilleur condition opératoire .

**IV-5-1 Application des techniques de contrôle par ultrason pour la détection des différent types de défauts :**

Pour effectuer ces inspections on a fait le contrôle' progressive de chacun des cas suivantes :

- cas d'une rainure
- cas d'un trou
- cas d'un plan interne

#### IV-5-1-1 Mesures le dimension d'une rainure:

❖ Application de la technique de contrôle par contact pour déterminer la profondeur :

##### ➤ Précautions de technique par contact :

- Il faut chercher à avoir la plus petite épaisseur possible de liquide de couplage pour un meilleur rendement.
- Il faut veiller à ce que le contact entre le palpeur et la pièce s'effectue sur la totalité de la surface du palpeur .Des semelles de palpeur épousant la forme de pièce à sonder peuvent être réalisées
- .Autant que possible, il faut maintenir sur le palpeur un effort constant pour assurer le contact.
- pour ne pas détériorer la semelle du palpeur, les surfaces sondées doivent être nettoyées, la calamine non adhérente éliminée, de même que les croûtes étrangère provenant des traitements de la pièce ou d'une oxydation .Eventuellement, les peintures être enlevées.

##### ➤ Principe de contrôle:

- Mettre sur la surface de la pièce la graisse (Milieu de couplage)
- Quand le palpeur est en position ① (fig. IV -4).

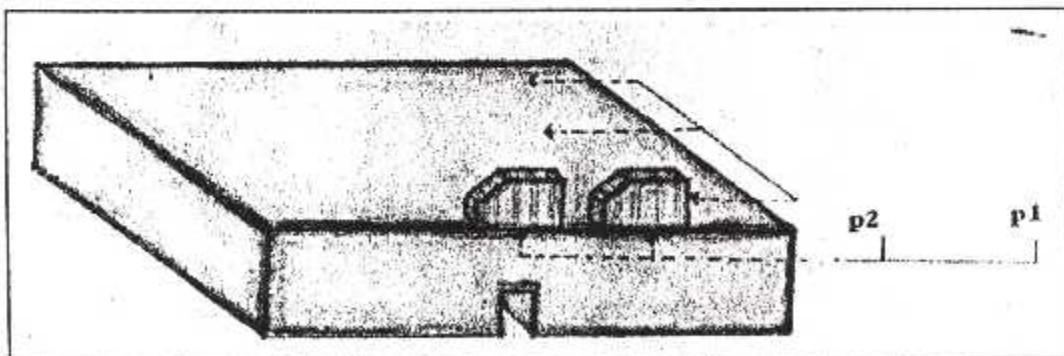
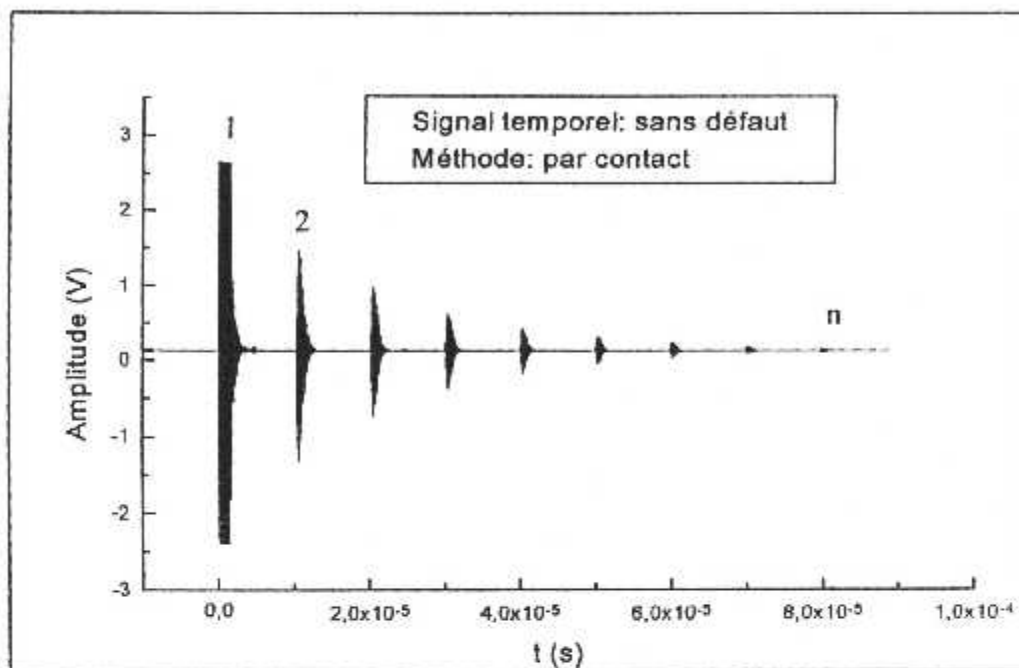


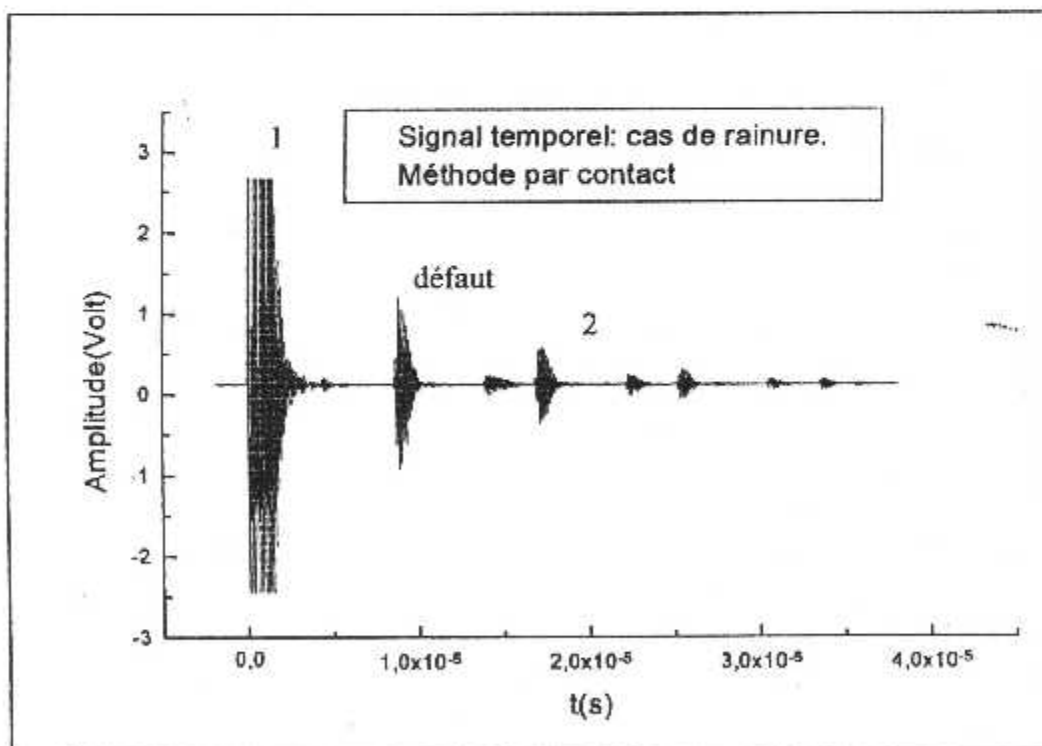
Fig.( IV-4 ) : le contrôle par contact



- Sur l'écran on aura le signal suivant.



- Quand le palpeur est en position ⊙ (fig. IV-4 ),on aura le signal suivant:



➤ **Étude de signal temporel :**

- on utilise un palpeur Pour le contrôle droit
- L'axe horizontal représente le temps écoulé en seconde.
- L'axe vertical représente l'amplitude en volt.
- Le signal représente la variation de l'amplitude en fonction du temps écoulé
  - ♦ L'écho N° 1 représente l'écho d'émission et l'écho de la face d'entrée.
  - ♦ Les autres échos représentent les échos de fonds.

➤ **Remarque :**

Nous observons que l'augmentation du temps écoulé provoque une diminution dans l'amplitude de l'écho et si on raccorde les sommets des piques on aura une courbe exponentielle.

➤ **Explication du signal:**

La courbe exponentielle est engendrée par le phénomène d'affaiblissement à cause de l'absorption, la diffusion et la divergence du faisceau qui signifie qu'il y a des pertes d'énergie pendant le trajet du faisceau ultrasonore c'est-à-dire à l'écho d'émission l'énergie maximale et au dernier écho de fond est minimale.

➤ **L'observation d'un défaut :**

- **SIGNAL TEMPOREL SANS DEFAULT (SIGNAL NOIRE) :**

A la position où il n'y a pas un défaut les échos de fond toujours sortant progressivement l'un par l'autre avec une hauteur maximale qui fournit toujours la courbe exponentielle.

- **SIGNAL TEMPOREL AVEC UN DEFAULT (SIGAL ROUGE)**

Dans ce cas la il y a une augmentation dans le nombre des échos, avec une diminution dans la distance entre l'écho d'émission et l'écho qui le suivre, c'est-à-dire qu'il y a une formation d'un autre écho entre l'écho d'émission et l'écho de fond qui s'appelle le premier écho de défaut.

La courbe fournie par les échos change suivant les caractéristiques du défaut c'est-à-dire que l'écho de défaut sa hauteur est supérieure ou inférieure ou bien égale à la hauteur de l'écho de fond, voir fig.(IV.5 )

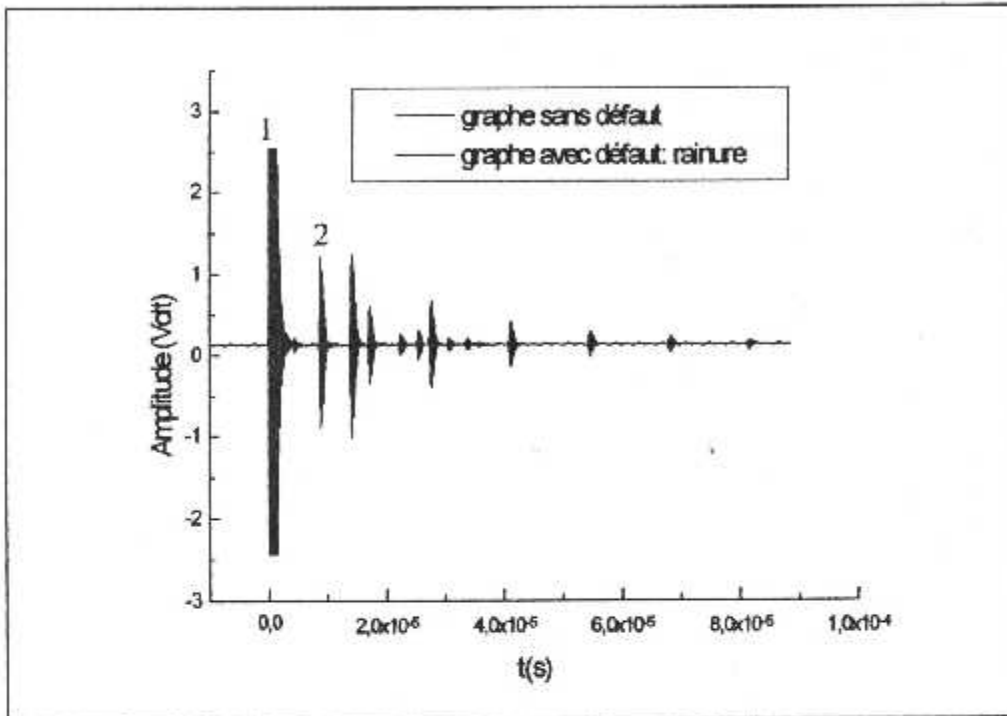


Fig. (IV-5) : Détection d'un défaut

#### ➤ MESURE D'ÉPAISSEUR DE LA PIÈCE :

La mesure est basée sur le graphe (Signal temporel) et la loi suivante :

$$\diamond VL = \frac{2 \cdot X}{\Delta T} \text{ avec : } \begin{cases} VL = \text{La vitesse des ondes longitudinales dans} \\ X = \text{Le trajet d'aller du bond} \\ \Delta T = \text{Est le temps parcouru entre deux pics} \end{cases}$$

#### A) Position 1 :

Quand le palpeur est loin par rapport au sommet de la rainure, voir fig. (IV-5), le signal temporel nous aidera de calculer l'épaisseur de la pièce, donc on a :

$$\diamond \Delta T = T_0 = 13,756 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} \quad (VL = 5740 \text{ m/s pour l'acier inoxydable})$$

$$\begin{aligned} \diamond X &= \frac{5740 \cdot 10^{-6} \cdot 13,756 \cdot 10^{-6}}{2} \\ &= 39,47972 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Donc :  $E = 39,47972 \text{ mm.}$

➤ **CALCUL DE LA POSITION DE RAINURE :**

**B) Position 2 :**

Quant le palpeur est au de-sus du sommet de la rainure , a partir du signal temporel on a :

$$\diamond \Delta T = T_0 = 8,985621 \cdot 10^{-6}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 8,985621 \cdot 10^3}{2} = 25,7887 \text{ mm}$$

Dans cette position X représente la position d'un défaut (son éloignement du palpeur verticalement (pl) c'est-à-dire

$$\diamond p = T \cos \alpha = X \cos \alpha : \text{ avec } \alpha \text{ l'angle de faisceau ultrasonore.}$$

$$\diamond \text{Cas d'un palpeur droit } \alpha = 0^\circ$$

Donc :  $P = 25,7887 \text{ mm}$

➤ **CALCUL DE LA PROFONDEUR (H) DE LA RAINURE :**

La profondeur est la différence entre l'épaisseur de la pièce et la position verticale du défaut (Rainure) :

$$\begin{aligned} \diamond H &= e - p \\ &= 40 - 25,7887 \end{aligned}$$

Donc :  $H = 14,2112 \text{ mm.}$

❖ **Application de la méthode par immersion pour déterminer la profondeur d'une rainure :**

➤ **précaution de la technique par immersion :**

- Hauteur de liquide minimale en contrôle droit .Le sondage de la pièce dans une cuve à immersion donne le réflectogramme .

- Différence d'impédance acoustique entre l'eau et les métaux est importante. Une partie seulement de l'énergie ultrasonore pénètre dans la
  - pièce . C'est pourquoi la hauteur de l'écho de fond est faible devant celle du deuxième écho d'entrée .
  - Est donc nécessaire de connaître et de régler le distance  $h$  (hauteur d'eau comprise entre le palpeur et la pièce ) de façon à obtenir un écho de fond de pièce nettement séparé du second écho d'entrée .
  - la vitesse de balayage est réglée de façon à n'afficher qu'une distance correspondant à l'épaisseur de la pièce en agissant sur le bouton <<retard>> pour éliminer le premier parcours dans l'eau .
- **Principe de contrôle :**
- Mettre la pièce dans le bassin d'eau (La cuve).
  - Quand le palpeur est en position , voir fig. ( IV-6 )

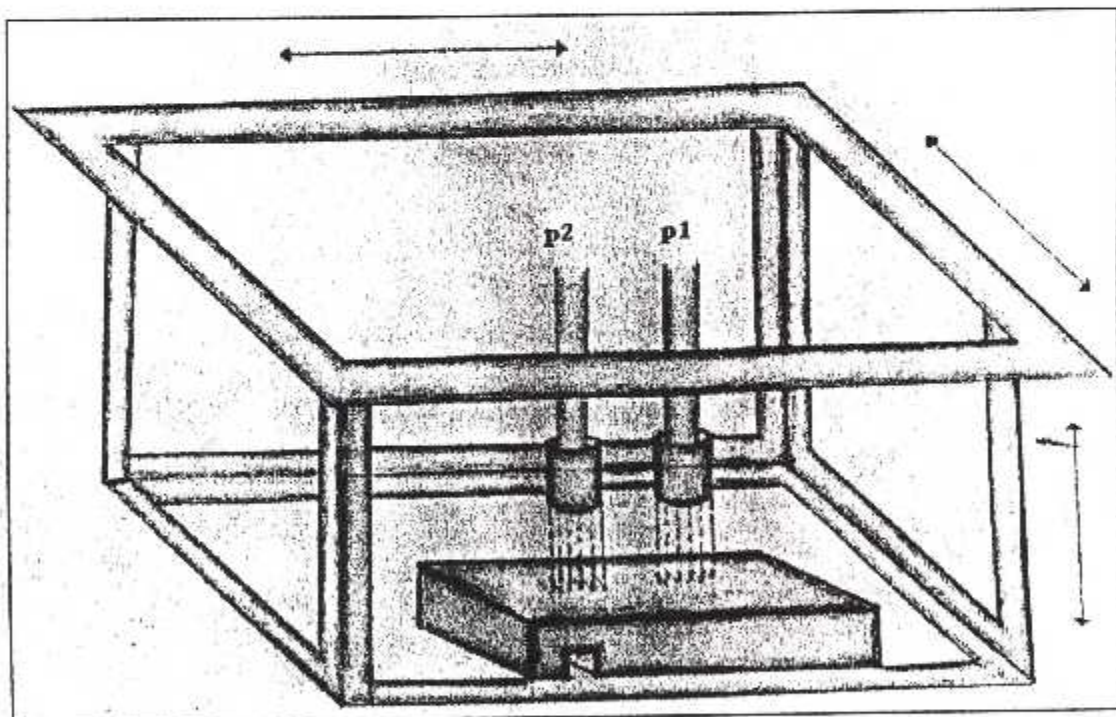
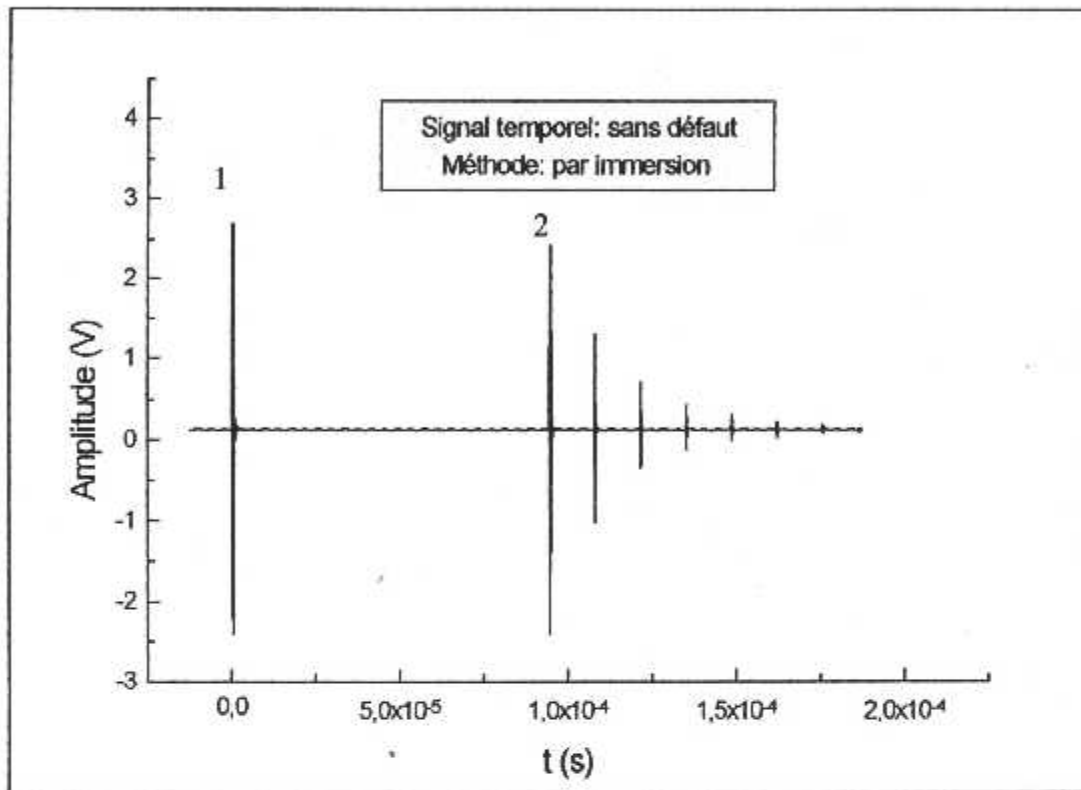
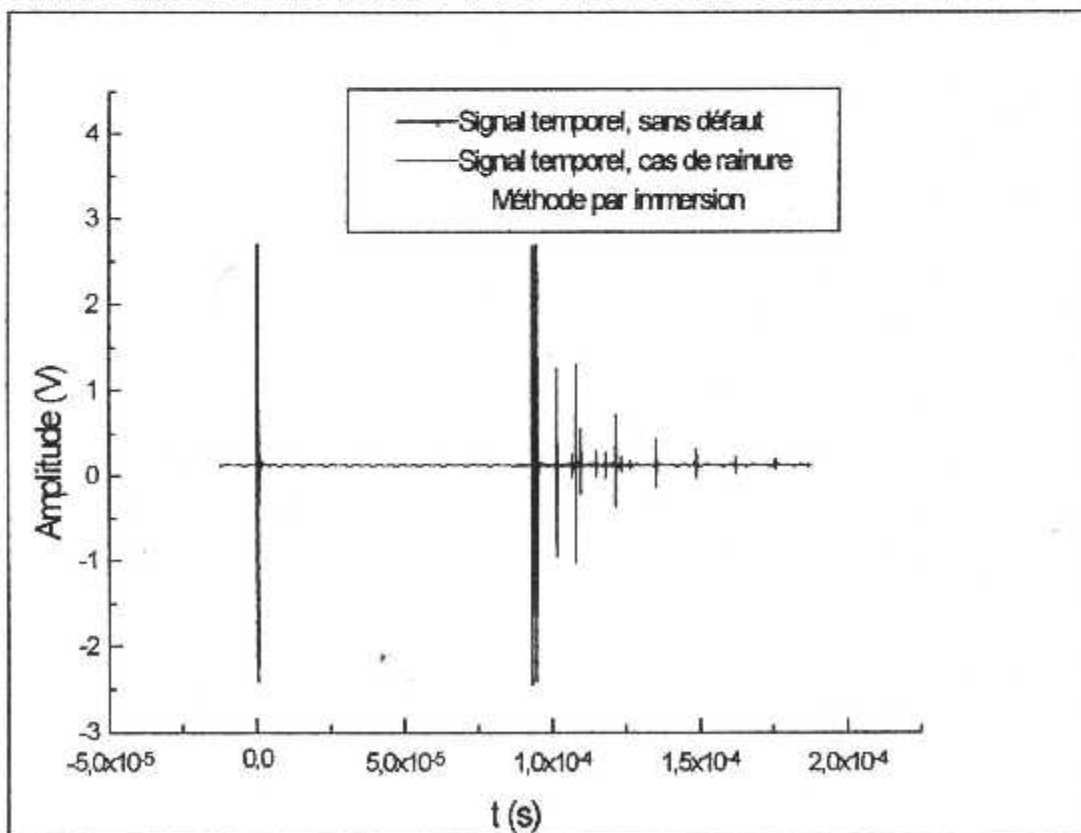


Fig. (IV-6) : Positionnement du palpeur

- Sur l'écran on aura le signal suivant :



- Quand le palpeur est en position ② (fig-IV-6), sur l'écran on aura le signal suivant :



- Dans le cas de contrôle par immersion on a :
  - L'écho N°1 représente l'écho d'émission.
  - L'écho N°2 représente l'écho de la face d'entrée
  - Les autres échos représentent les échos de fond.

L'étude du signal dans la technique par immersion est comme dans la technique par contact.

➤ **MESURE D'ÉPAISSEUR :**

**A) Position 1 :**

C'est la position où le palpeur ne se trouve pas au sommet de la rainure.  
Donc à partir du signal temporel on a :

♦  $T_0$  : Temps du trajet dans l'eau.

$$T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre l'écho d'émission et le premier écho de fond

$$T_1 = 108,4373 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $\Delta T$  : Le temps parcouru entre l'écho de la face d'entrée et le premier de fond

$$\Delta T = T_1 - T_0$$

$$\Delta T = 13,9448632 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 10^3 \cdot 13,9448632 \cdot 10^{-6}}{2} = 40,021757 \text{ mm}$$

Donc :  $E(\text{épaisseur}) = 40,021757 \text{ mm}$

➤ **CALCUL DE LA POSITION DE LA RAINURE :**

**B) Position 2 :**

À partir du signal temporel :

$$\diamond T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre la face d'entrée et le premier écho qui se trouve avant le premier écho de fond.

♦  $T_1 = 103,17461 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

♦  $\Delta T = T_1 - T_0$

$\Delta T = 8,68829 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$

♦  $X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 10^3 \cdot 8,68829 \cdot 10^{-6}}{2} = 24,932522 \text{ mm.}$

Donc :  $P(\text{position}) = 24,93522 \text{ mm}$

➤ CALCUL DE PROFONDEUR

LA PROFONDEUR(H) = L'ÉPAISSEUR (E)- LA POSITION DU SOMMET DE LA RAINURE (P)

♦  $H = E - P$

$= 40 - 24,93522 =$

Donc :  $H = 15,06422 \text{ mm.}$

➤ TABLEAU DE COMPARAISON :

TECHNIQUES MESURES (mm)	CONTACT	IMMERSION
ÉPAISSEUR (E) DE LA PIÈCE	39,47972	40,021757
POSITION (P) DE RAINURE	25,7887	24,93522
PROFONDEUR (H) DE RAINURE	14,212	15,06422



➤ **L'ERREUR :**

- L'erreur est la différence entre la valeur réelle et la valeur obtenue par l'appareil.

TECHNIQUES MESURES (mm)	CONTACT	IMMERSION
$ \Delta e $	0,52028	0,021757
$ \Delta p $	0,7887	0,06478
$ \Delta H $	0,788	0,06422

➤ **Remarque :**

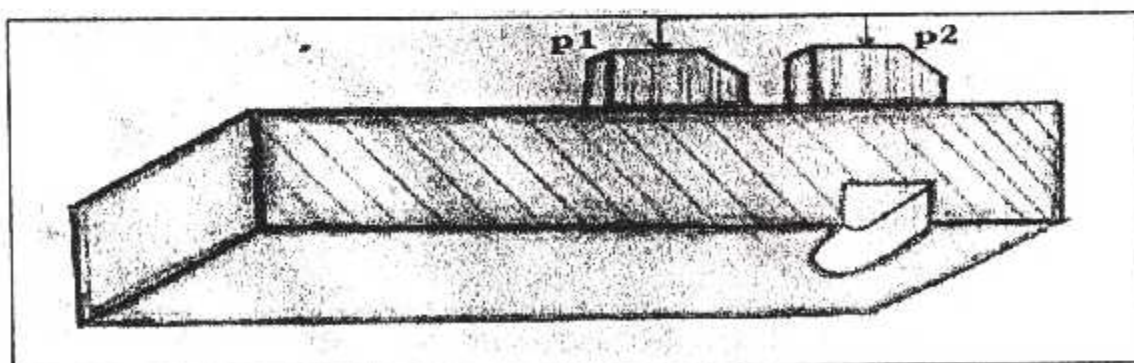
D'après les valeurs du tableau nous observons que l'erreur commise par la technique de contrôle par contact est très grande par rapport à celle commise par la méthode de contrôle par immersion.

**IV-5-1-2- mesures les dimensions d'un trou :**

❖ **Application de la méthode par contact pour déterminer la profondeur d'une trou :**

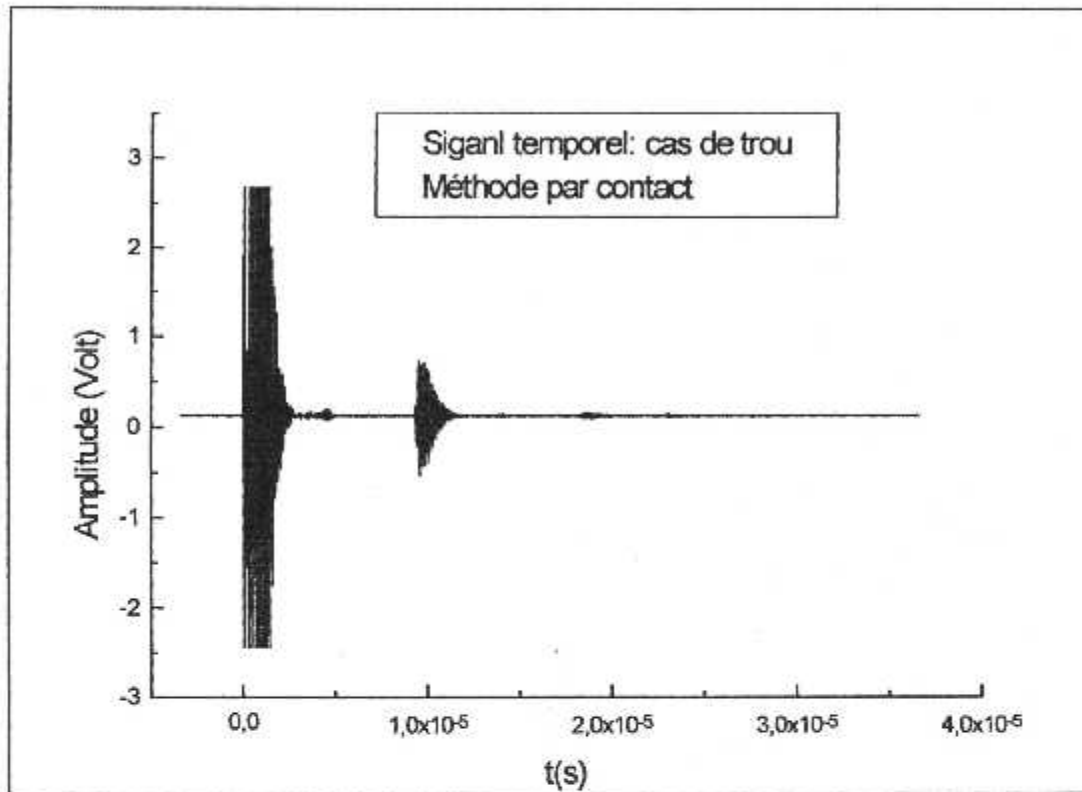
➤ **Principe de contrôle :**

- Mettre sur la surface de la pièce la graisse (Milieu de couplage)
- Quand le palpeur est en position ⊕ (fig. IV.7),

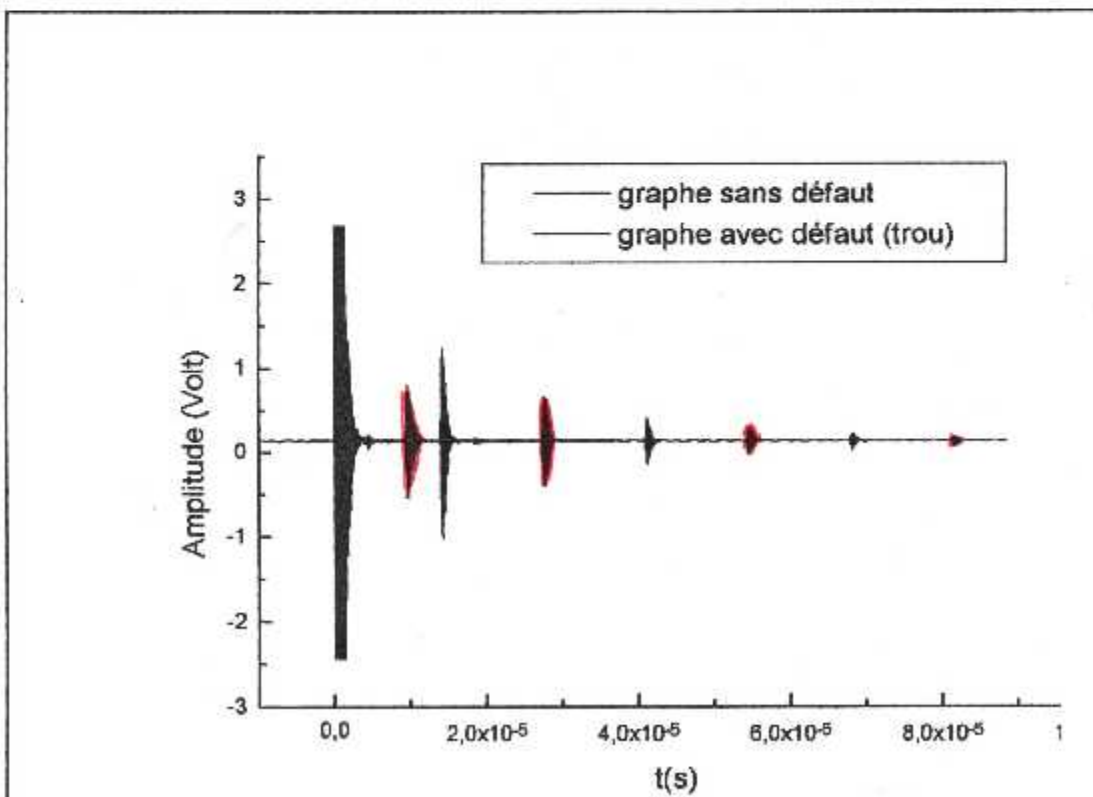


**Fig. (IV-7) : Positionnement du palpeur**

- Sur l'écran on aura :



- Quand le palpeur est en position  $\odot$ (fig.IV-7),sur l'écran on aura le signal suivant :



➤ **MESURE D'ÉPAISSEUR DE LA PIÈCE :**

La mesure est basée sur le graphe (Signal temporel) et la loi suivante :

$$\diamond VL = \frac{2 \cdot X}{\Delta T} \text{ avec : } \begin{cases} VL = \text{La vitesse des ondes longitudinales dans} \\ X = \text{Le trajet d'aller du bond} \\ \Delta T = \text{Est le temps parcouru entre deux pics} \end{cases}$$

**A) Position 1 :**

À partir du signal temporel on :

$$\diamond \Delta T = 13,756 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} \quad (VL = 5740 \text{ m/s pour l'acier inoxydable.})$$

$$\diamond X = \frac{5740 \cdot 10^{-6} \cdot 13,756 \cdot 10^{-6}}{2} = 39,47972 \text{ mm}$$

Donc :  $e = X = 39,47972 \text{ mm.}$

➤ **CALCUL DE LA POSITION DE TROU :**

**B) Position 2 :**

À partir de signal on a :

$$\diamond \Delta T = 9,8467 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 9,8467 \cdot 10^{-6}}{2} = 28,2614 \text{ mm.}$$

Dans cette position X représente la position d'un défaut (son éloignement l'peur palpeur verticalement (p l) c'est-à-dire :

$$\diamond p = T \cos \alpha = X \cos \alpha : \text{ avec } \alpha \text{ l'angle de faisceau ultrasonore.}$$

$$\diamond \text{Cas d'un palpeur droit } \alpha = 0^\circ$$

Donc :  $P = 28,2614 \text{ mm}$

➤ **CALCUL DE LA PROFONDEUR (H) DE LA RAINURE :**

La profondeur est la différence entre l'épaisseur de la pièce et la position verticale du défaut (Rainure) :

$$\begin{aligned} \diamond H &= e - p \\ &= 40 - 28.2614 \end{aligned}$$

Donc :  $H = 11.7296 \text{ mm.}$

❖ **Application de la méthode par immersion pour déterminer la profondeur d'un trou :**

➤ **Principe de contrôle :**

- Mettre la pièce dans le bassin d'eau (La cuve).
- Quand le palpeur est en position ① (fig.IV.15).

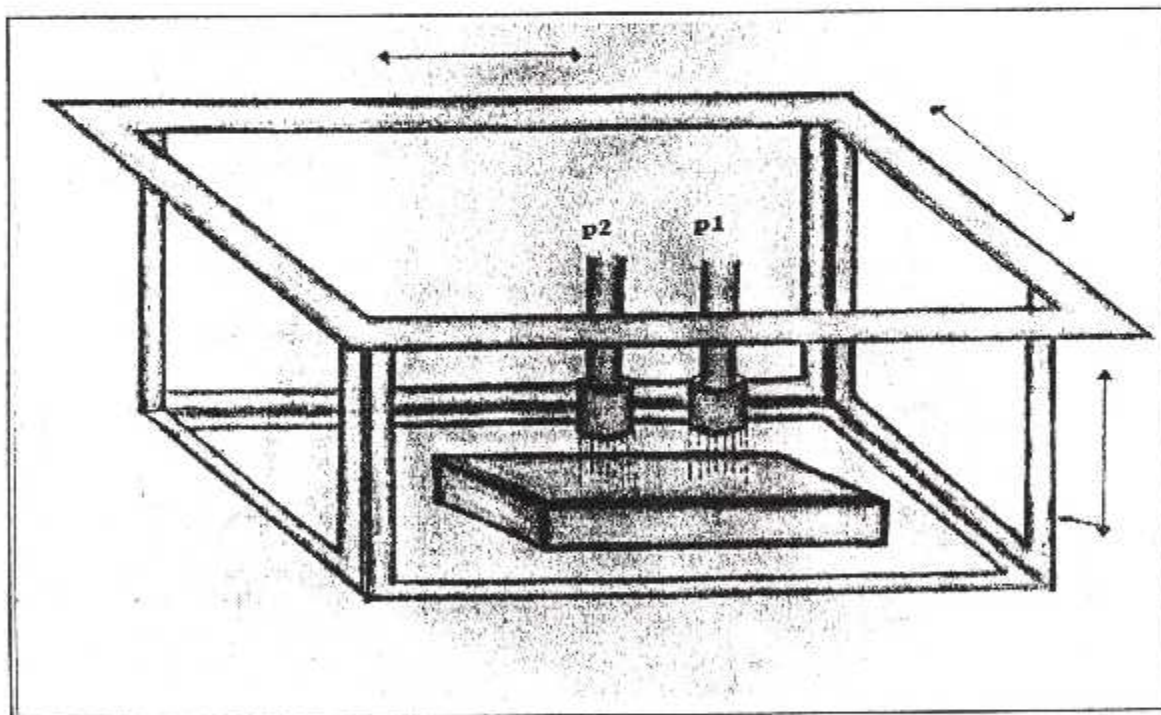
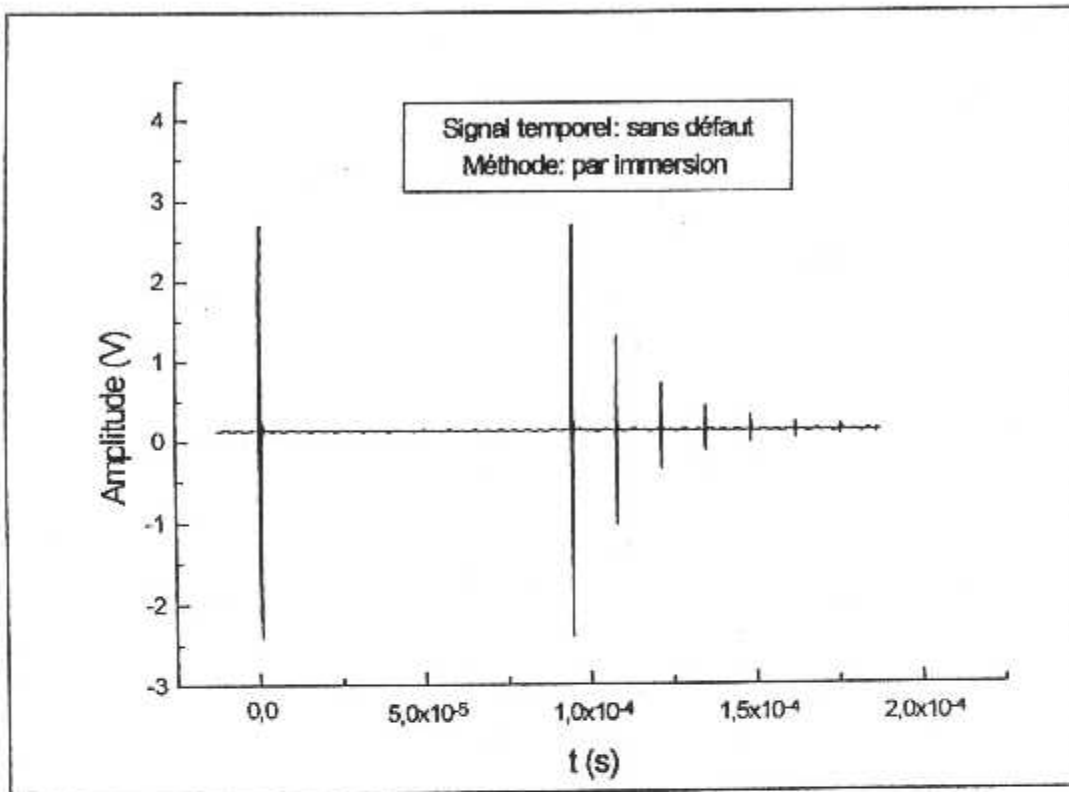
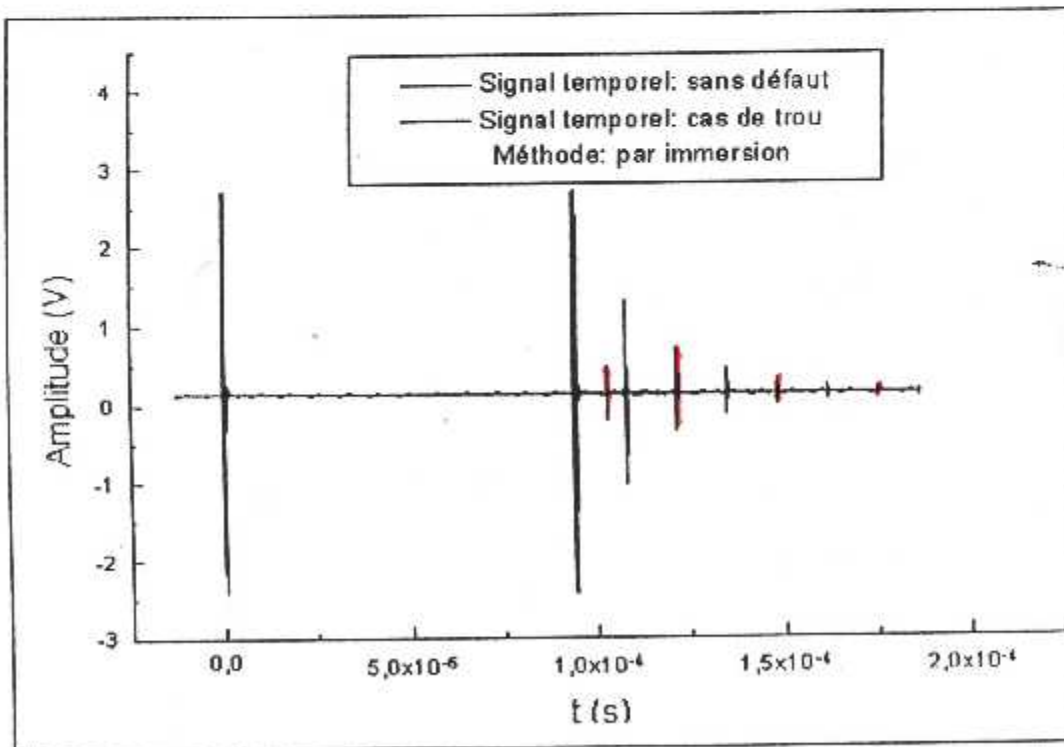


Fig. (IV-8) : Positionnement du palpeur

- sur l'écran on aura le signal suivant. :



- Quand le palpeur est en position ② (fig.IV-9), sur l'écran on aura le signal suivant.



➤ **MESURE D'ÉPAISSEUR :**

**A) Position 1 :**

A partir du signal on a

♦  $T_0$  : Temps du trajet dans l'eau.

$$T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre l'écho d'émission et le premier écho de fond.

$$T_1 = 108,4373 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $\Delta T$  : Le temps parcouru entre l'écho de la face d'entrée et le premier écho de fond

$$\Delta T = T_1 - T_0$$

$$= 13,9448632 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 10^3 \cdot 13,9448632 \cdot 10^{-6}}{2} = 40,021757 \text{ mm.}$$

Donc :  $p = 27,93875 \text{ mm.}$

➤ **CALCUL LA POSITION DE TROU :**

**B) position 2 :**

A partir du signal temporel

♦  $T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre la face d'entrée et le premier écho qui se trouve avant le premier écho de fond. premier écho de fond..

$$T_1 = 104,22 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $\Delta T = T_1 - T_0 = 9,7348 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 9,7348 \cdot 10^{-3}}{2} = 27,93875 \text{ mm.}$$

Donc :  $p = 27,93875 \text{ mm.}$

➤ **CALCUL DE PROFONDEUR :**

$$\diamond H = e - p = 40 - 27.93875$$

Donc : **H = 12.06125 mm.**

➤ **TABLEAU DE COMPARAISON :**

TECHNIQUES MESURES (mm)	CONTACT	IMMERSION
ÉPAISSEUR (e) DE LA PIÈCE	39,4848	40,021757
POSITION (p) DE RAINURE	28,2614	27,93875
PROFONDEUR (H) DE RAINURE	11,7296	12,06125

➤ **TABLEAU DE L'ERREUR :**

L'erreur: est la différence entre la valeur réelle et la valeur obtenue par l'appareil.

TECHNIQUES MESURES (mm)	CONTACT	IMMERSION
$ \Delta e $	0,51028	0,021757
$ \Delta p $	0,2614	0,06125
$ \Delta H $	0,2704	0,06125

➤ **Remarque :**

D'après les valeurs du tableau nous observons que l'erreur commise par la technique de contrôle par contact est très grande par rapport à celle commise par la technique de contrôle par immersion

**VI-5-1-3- mesures les dimensions d'un plan interne:**

- ❖ Application de la méthode par contact pour déterminer la profondeur d'une défaut interne :

**➤ Principe de contrôle :**

- Mettre sur la surface de la pièce la graisse (Milieu de couplage)
- Quand le palpeur est en position ⊕ fig. ( IV-10).

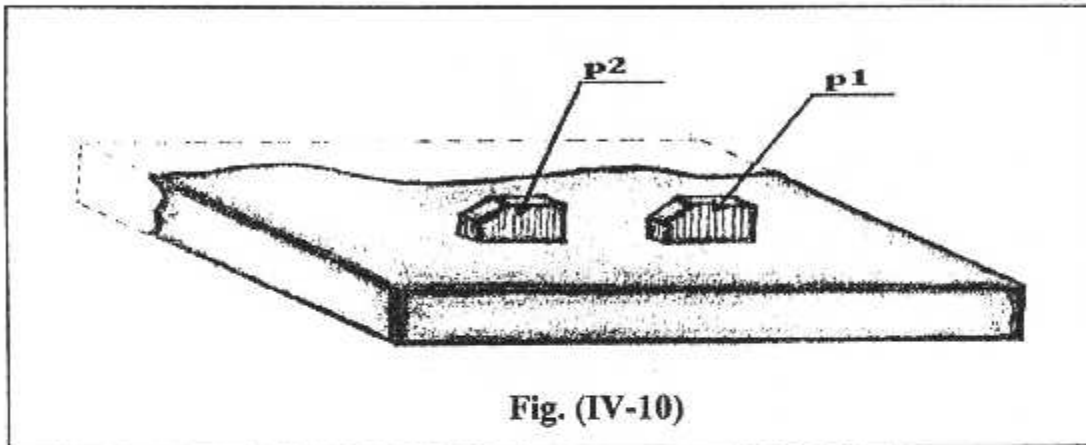
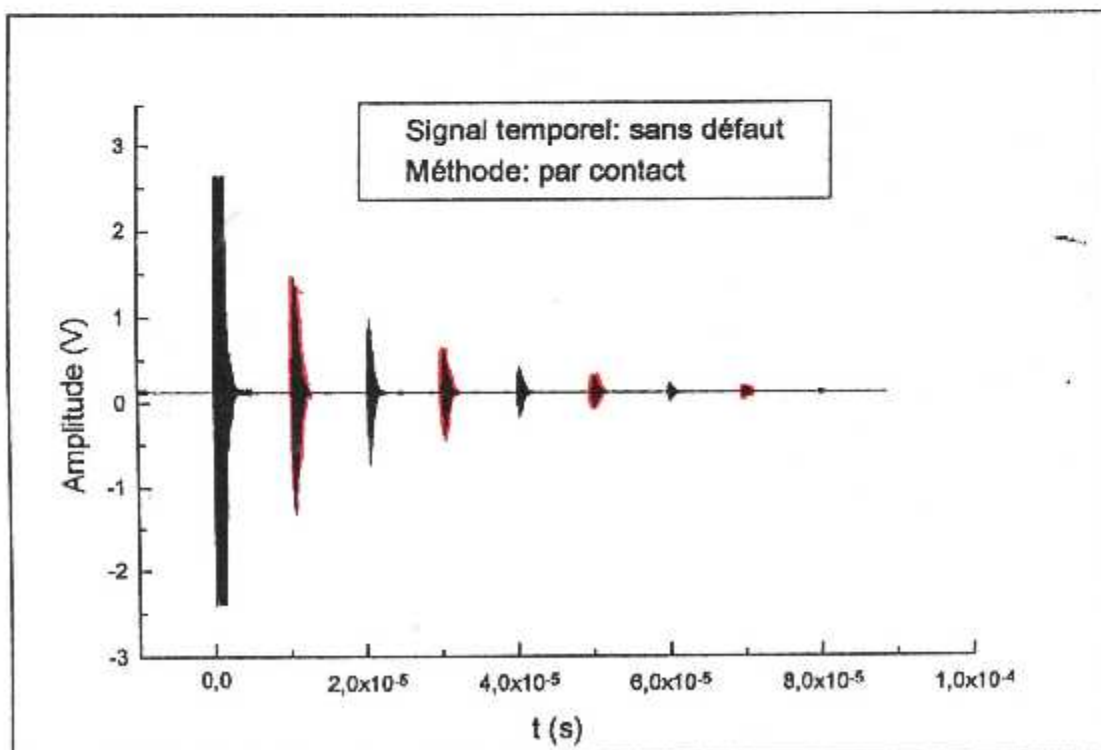


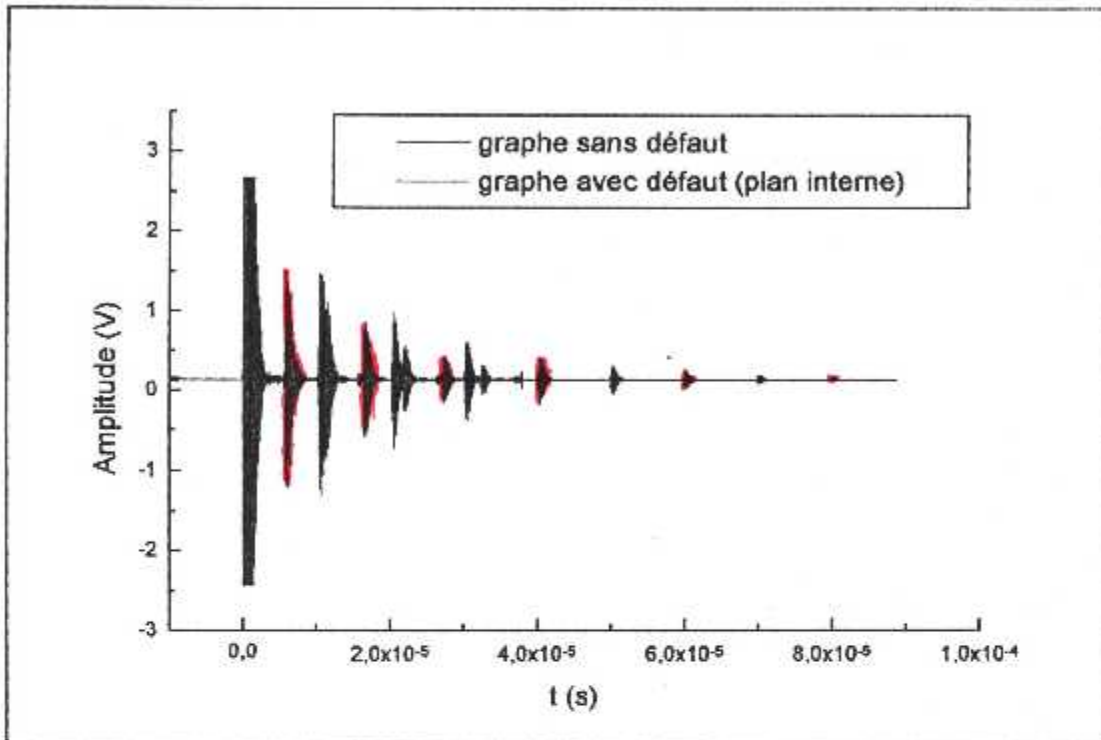
Fig. (IV-10)

- sur l'écran on aura le signal suivant :





- Quand le palpeur est en position ② fig. (IV-10), sur l'écran on aura le signal suivant.



### ➤ MESURE D'ÉPAISSEUR DE LA PIÈCE :

La mesure est basée sur le graphe (Signal temporel) et la loi suivante :

$$\diamond VL = \frac{2 \cdot X}{\Delta T} \text{ avec: } \left\{ \begin{array}{l} VL = \text{La vitesse des ondes longitudinales dans} \\ X = \text{Le trajet d'aller du bond} \\ \Delta T = \text{Est le temps parcouru entre deux pics} \end{array} \right.$$

#### A) Position 1 :

A partir du signal temporel on a :

$$\diamond \Delta T = 10,2540 \cdot 10^{-6} \text{ S donc :}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2}, \text{ avec } (VL = 5740 \text{ m/s pour l'acier inoxydable}).$$

$$\diamond X = \frac{5740 \cdot 10,2540 \cdot 10^{-6}}{2} = 29,43 \text{ mm}$$

Donc :  $E = 29.43\text{mm.}$

➤ **CALCUL DE LA POSITION DE DEFAUT :**

**B) Position 2 :**

À partir du signal temps

♦  $\Delta T = 6.31578 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

♦  $X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 6.,31578 \cdot 10^{-3}}{2} = 18.12\text{mm}$

Donc :  $p1 = 18.12 \text{ mm}$

Dans cette position X représente la position d'un défaut (son éloignement du palpeur verticalement (p1) c'est-à-dire :

♦  $p = T \cos \alpha = X \cos \alpha$  avec  $\alpha$  l'angle de faisceau ultrasonore.

♦ Cas d'un palpeur droit  $\alpha = 0^\circ \Rightarrow$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 18,12\text{mm} \\ P_2 = 11,88 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

❖ **Application de la méthode par immersion pour déterminer la profondeur d'un plan interne:**

➤ **Principe de contrôle :**

- Mettre la pièce dans le bassin d'eau (La cuve).
- Quand le palpeur est en position ① (fig. IV-11).

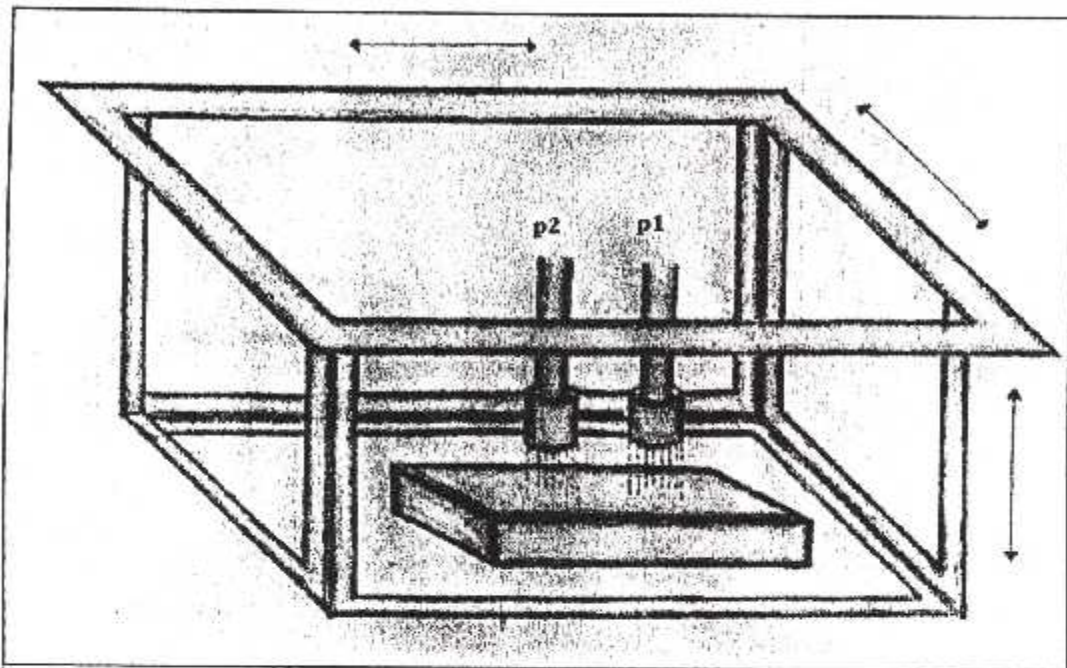
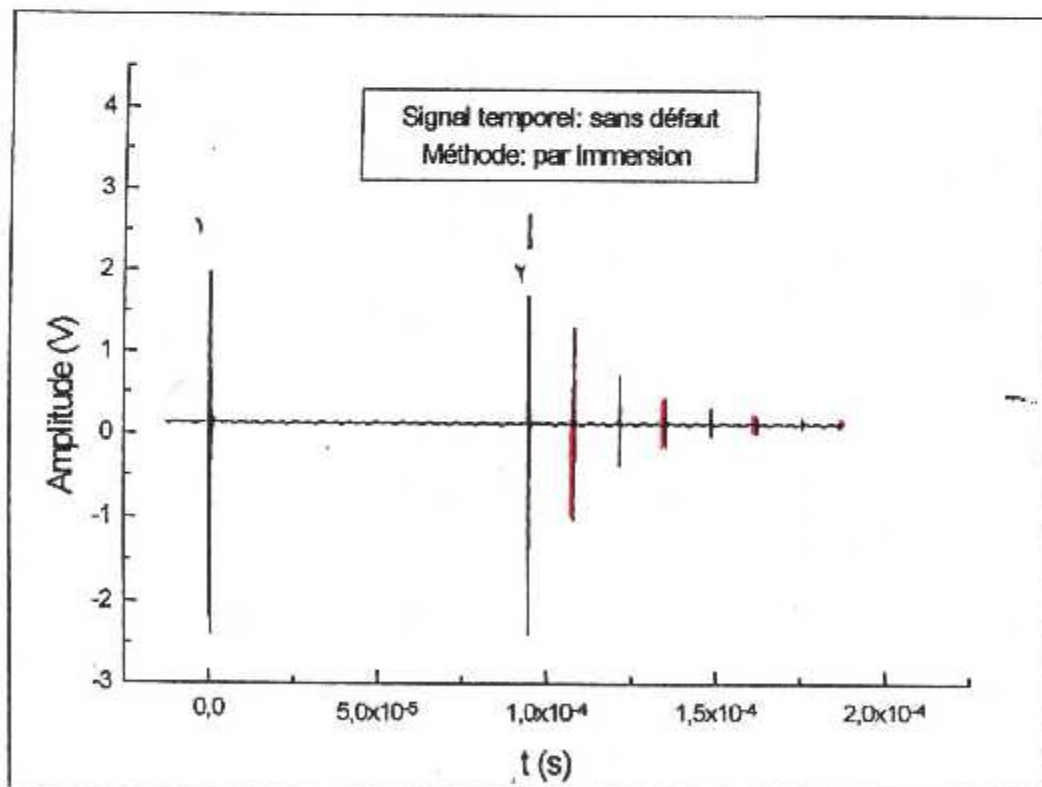
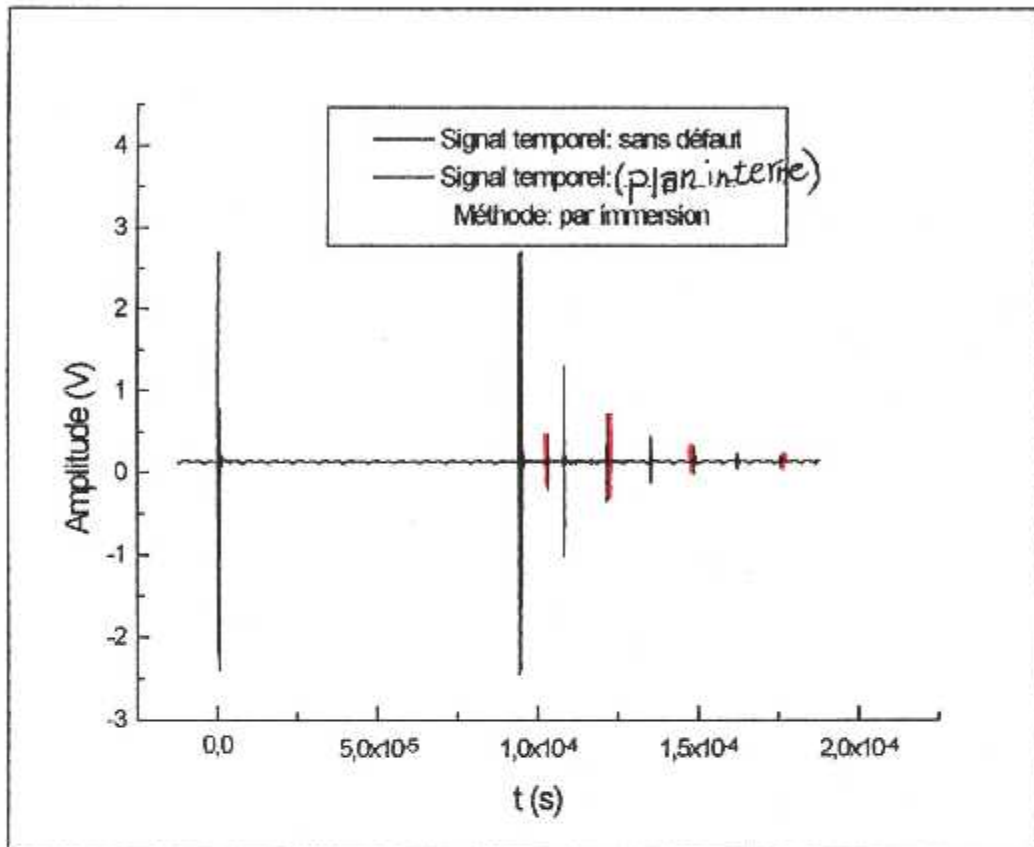


Fig. (IV-11) : positionnement du palpeur

- sur l'écran on aura le signal suivant



- Quand le palpeur est en position ② (fig.IV-11), sur l'écran on aura le signal suivant.



### ➤ MESURE D'ÉPAISSEUR :

#### A) Position 1

A partir du signal on : Temps du trajet dans l'eau.

♦  $T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre l'écho d'émission et le premier écho de fond

$T_1 = 104,94853 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

♦  $\Delta T$  : Le temps parcouru entre l'écho de la face d'entrée et le premier écho de fond.

♦  $\Delta T = T_1 - T_0$

$\Delta T = 10,458 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 1,458 \cdot 10^{-3}}{2} = 30,018785 \text{ mm}$$

Donc :  $e = 30,018785 \text{ mm.}$

➤ CALCUL DE LA POSITION DE DEFUT :

B) position 2 :

A partir du signal temporel

$$\diamond T_0 = 94,48632 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

♦  $T_1$  : Le temps parcouru entre la face d'entrée et le premier écho qui se trouve avant le premier écho de fond.

$$T_1 = 100,91233 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\diamond \Delta T = T_1 - T_0$$

$$\Delta T = 6,42 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\diamond X = \frac{VL \cdot \Delta T}{2} = \frac{5740 \cdot 6,42 \cdot 10^{-3}}{2} = 18,44265 \text{ mm}$$

Donc :  $P_1 = 18,44265 \text{ mm}$

$$\diamond \text{Cas d'un palpeur droit } \alpha = 0^\circ \Rightarrow \begin{cases} P_1 = 18,44265 \text{ mm} \\ P_2 = 11,55873 \text{ mm} \end{cases}$$

➤ calcul de la valeur réel du défaut :

On a :  $p(\text{réel}) = p(\text{obtenue}) + \Delta p$

$$\diamond Pr_1 = 18,44265 + 0,06125 = 18,5039 \text{ mm}$$

$$\diamond Pr_2 = 11,4961 \text{ mm}$$

➤ **Remarque générale:**

D'après l'étude pratique qui a été fait, on a trouvé que la technique de contrôle par immersion à une très grande précision par rapport à la technique de contrôle par contact, mais dans tout les cas les deux techniques forment une intégration fonctionnel suivant les avantages ,et les inconvénients .

❖ **Avantages de la technique par contact :**

- Étalonnage facile et rapide
- Portable
- contrôler la pièce en tout les cas (pièce assemblée, ou démontée )
- contrôler toutes les natures des pièces (inoxydable, ou oxydable)
- contrôler les pièces soudées.
- contrôler les pièces moyennes.
- Faible coût de l'appareil.

❖ **Inconvénients de la technique par contact:**

- Couplage variable, et très visqueux.
- Faible précision en contrôle.
- Spécialisation du palpeur pour chaque type d'onde.
- On ne peut pas utiliser des palpeurs focalisés.
- On trouve des bulles d'air entre le palpeur, et la pièce (transmission des faisceaux ultrasonore incomplète).
- mauvaise visualisation ( elle dépend la force agissante au palpeur )
- Inspection manuelle lente.
- L'exploitation incomplète de la pièce.
- Utilisation plusieurs palpeurs suivant la formes des pièces contrôlés .

❖ **Avantages de la technique par immersion:**

- Couplage constant.
- Contrôle précis de la pièce.
- Utilisation des faisceaux focalisés.
- L'immersion permet aussi une utilisation simple des trajets oblique.

- le caractère répétitif des mesures autorise l'utilisation de la méthode du réflectogramme
- non interprété en vue de la recherche rapide de pièce douteuse.
- Automatisation.
- Obtention de tout type d'onde.
- Possibilité d'exploration complète de la pièce à contrôler.
- le palpeur est séparé par rapport à la pièce .
- pas des bulles d'air ( transmission complète du faisceaux ultrasonore).
- contrôle rapide
- contrôle tout les pièces

❖ **Inconvénients de la technique par immersion**

- étalonnage difficile
- importable
- contrôle uniquement les pièces inoxydables
- ne contrôle pas les pièces soudées
- l'appareil coûteuse

## Conclusion

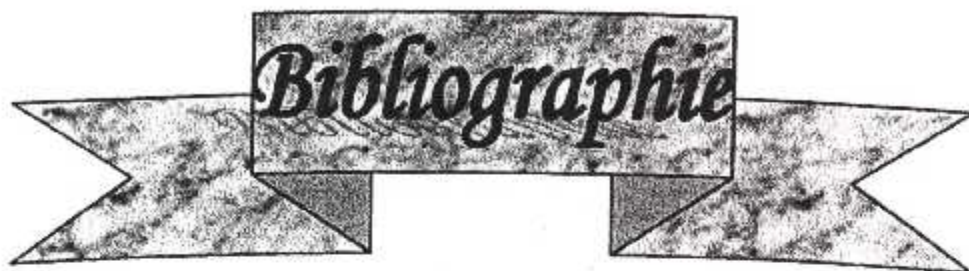
A L'issue de notre stage pratique qui s'est déroulé au niveau des installations techniques et l'NDT de la compagnie Air Algérie et le centre de recherche scientifique du chéraga avec la collaboration de notre promoteur , on s'est intéressé à l'étude sur le contrôle non destructif et l'application des ultrasons en aéronautique avec une réalisation de système mécanique pour le déplacement du palpeur droit en ultrason par immersion, afin d'effectuer une étude comparative entre les techniques de contrôle par ultrason .

Il faut noter que ce travail nous a permis de :

- Comprendre les méthodes de contrôle non destructif, et leur utilisation industrielle
- Connaître l'ultrason, et leurs applications en aéronautique.
- Comprendre la pratique de la construction mécanique.
- Connaître la pratique du contrôle par la technique d'ultrason, et l'utilisation de l'appareil ultrasonore.

Malgré quelques difficultés et les moyens qui sont limités, C'est-à-dire le manque des machines d'usinage et la matière première , et l'équilibrage du système qui est difficile pendant le montage puis l'usinage qui demande la précision et le temps nécessaire, nos efforts ont été déplorés à l'élaboration d'un mémoire fructueux ; nous souhaitant que nous sommes arrivés à enrichir par notre travail, et apportera un plus au sein de notre institut et au sein de la compagnie de Air Algérie ,et le centre de recherche scientifique et technique de soudage au niveau de chéraga (Alger). Le contrôle non destructif représente la médecine en industrie .





# Bibliographie

1. << **ESSAIS NON DESTRUCTIFS** >> **APPLICATION DES ULTRASONS PAR IMMERSION EN AERONAUTIQUE .**
2. **C. R. S/ AU NIVEAU DE CENTRE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE SOUDAGE A CHERAGA (ALGER)**
3. **COMPAGNIE AIR ALGERIE**
4. **CONTROLE NON DESTRUCTIF (CND) COURS DE :**
  - > **MONSIEUR :ABADA - RECHERCHE DE PANNES**
  - > **MONSIEUR :ZERGOUG -(CND)**
5. **DOCUMENTATION DE PRATT T& WHYTENY (CANADA)**
6. **« N.D.T » NON DESTRUCTIVE TEST- MANUEL**
7. **DOCUMENTATION « CONTROLE NON DESTRUCTIF »**
8. **DOCUMENTATION « CONSTRUCTION MECANIQUE »**
9. **MANUEL BOEING 767**
10. **MANUEL BOEING 737**



## ملخص العمل

إن الهدف المسيطر من خلال العمل الذي قمنا به يتمثل أساساً في دراسة و المقارنة بين طرق الفحص الغير مدمر.

لقد مكنتنا هاته الدراسة من فهم و إستيعاب مختلف تقنيات الفحص بالأمواج الفوق صوتية.

و لقد كان هدفنا المحوري هو فهم مبدأ تشغيل ميكانيزم الفحص بالأمواج الفوق الصوتية عن طريق الغطس في الماء الذي قمنا بصناعته .

## The work résumé

The objectif of our work is the comparative study between the different methods of no destructive test.

After the descriptive study of ultrasonic method which allow us to see clearly the different technic of ultrasonic however the reason is to show main function for Immersion ultrasonic inspection system.

## Résumé du travail

L'objectif de notre travail est d'élaborer une étude comparative entre les méthodes de contrôle non destructif .

Grâce à a l'étude descriptrice de la méthode par ultrason on a pu de comprendre et voir clairement leurs différents techniques d'inspection .

Ce pendant , le but aussi et de comprendre le principe de fonctionnement de l'appareil réalisé de l'ultrason par immersion