

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BLIDA

INSTITUT D'AÉRONAUTIQUE



# PROJET DE FIN D'ÉTUDE

*Pour l'obtention du diplôme d'étude universitaire appliqué*

*Option : Structure*

## Thème

**CARACTÉRISATION DES DÉFAUTS EN AÉRONAUTIQUE  
PAR LA MÉTHODE DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF  
PAR COURANTS DE FOUCAULT**



Proposé par :

*M<sup>r</sup> Mourad ZERGOUG*

Présenté par :

*M<sup>lle</sup> REMILI Assia*

*M<sup>r</sup> ANSEUR Younes*

Co-promoteur :

*M<sup>r</sup> Amirouche HAMMOUDA*

*Session : Octobre 2001*

# REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en nous apportant leur aide précieuse dans la recherche de l'information et des documents nécessaires, pour la concrétisation de ce sujet:*

*Nous tenons à remercier en particulier Messieurs:*

*A.BEN CHAALA directeur du Centre de Recherche CSC de Chéraga, de nous avoir permis de réaliser ce projet de fin d'étude au sein du CSC.*

*M. ZERGOUG notre promoteur et Chef du laboratoire d'électronique et d'électrotechnique de nous avoir dirigé.*

*Amirouche HAMMOUDA co-promoteur, et ingénieur chercheur au centre CSC, sans le qui la réalisation de ce travail aurait été très difficile, nous lui présentons nos plus vifs remerciements, pour son aide pratique et théorique pour nous avoir soutenus toute la durée de notre travail, en nous faisant profiter de son savoir et de son expérience, et d'être là quand il le fallait. Sans oublier son immense gentillesse et sa compréhension.*

*L'ensemble du personnels du CSC, chercheur et employés, en particulier Mr Nacer BOCHEROU, Ahmed HADDAD, Smail MEBREK.*

*L'ensemble du personnels employés de l'Institut D'Aéronautique, en particulier Le technicien du laboratoire de microfonderie.*

*Sans oublier tous ceux qui ont participés de près ou de loin à l'élaboration de ce projet..*

*Que tous le monde trouve ici le témoignage de notre gratitude.*

# DEDICACE

Je dédie ce modeste  
travail à toute ma famille, ainsi  
qu'à mon binôme Younes  
sans oublié tous  
mes amis et mes profs.

ASSA

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ma mère*

*Mon père*

*Mes frères et sœurs*

*Mon binôme Assia*

*toute mes amis*

*Et spécialement à :*

*Kamel, Sid Ali et Salim.*

*Hounes*

# SOMMAIRE

**Introduction :** .....2

## **Chapitre 1 : RAPPEL THEORIQUE**

<b>1.1- Rappel sur les propriétés électriques et magnétiques des métaux</b> .....	<b>4</b>
1.1.1- les paramagnétiques.	
1.1.2- Les diamagnétiques.	
1.1.3- Les ferromagnétiques.	
1.1.4- La conductivité électrique.	
1.1.5- La perméabilité magnétique.	
<b>1.2- Rappel sur les courants de Foucault</b> .....	<b>5</b>
1.2.1- Définition des courants de Foucault.....	<b>5</b>
1.2.2- Etude théorique.....	<b>5</b>
2.2.1- Répartition des cf.	
2.2.2- La distribution des cf en fonction de la profondeur de pénétration.	
2.2.3- profondeur de pénétration standard.	
2.2.4- Diagramme d'impédance.	
2.2.5- Les paramètres influants dans le diagramme d'impédance.	
Influence de la fréquence.	
Influence de la conductivité.	
Influence de la perméabilité.	
Influence de l'épaisseur.	
Influence des défauts.	

## **Chapitre 2 : GENERALITE SUR LA METHODE DE MESURE ET DE CONTROLE PAR CF**

<b>2.1- Introduction</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2- Principe de contrôle par cf</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3- Chaîne de mesure et de contrôle par cf</b> .....	<b>11</b>
2.3.2- la méthode de mesure.	
2.3.3- les capteurs.	
<b>2.4- Les pièces de références</b> .....	<b>12</b>
4.1- pièce de référence pour l'inspection des surfaces fissurées.	
4.2- pièce de référence pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion.	
4.3- pièce de référence pour l'inspection des trous.	
4.4- pièce de référence pour la mesure de l'épaisseur.	
4.5- pièce de référence pour la mesure de la conductivité.	
4.6- pièce de référence pour des applications spéciales .	

**Chapitre 3 : LA REALISATION DES DEFAUTS ET DES PIECES DE REFERENCE**

<b>3.1-</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2-</b>	<b>Caractéristiques d'une pièce de référence.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3-</b>	<b>Fabrication d'une pièce de référence.....</b>	<b>16</b>
	3.3.1- Procédé de fabrication.	
	3.3.1- Remarques.	
	3.3.3- Visualisation des défauts par rayon X.	
<b>3.4-</b>	<b>Réalisation d'une sonde.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5-</b>	<b>Les appareils de mesure.....</b>	<b>21</b>
	3.5.1- Le Foerster DEFECTOMAT F2.825.	
	3.5.2- Phasec2200.	

**Chapitre 4 : CARACTERISATION DES DEFAUTS DE REFERENCES**

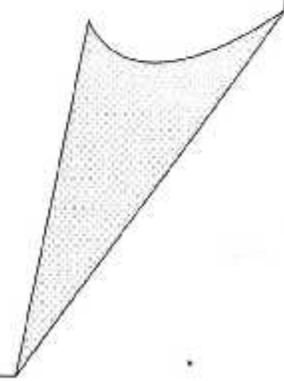
<b>4.1-</b>	<b>La caractérisation.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2-</b>	<b>Les pièces de références.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3-</b>	<b>Application du phasec2200.....</b>	<b>25</b>
	4.3.1- La mesure de l'épaisseur.	
	4.3.2- Le trie des matériaux ,	
	4.3.3- Inspection des soudures sur des métaux ferreux.	
	4.3.4- Détection des fissures.	
<b>4.4-</b>	<b>Diagramme d'impédance.....</b>	<b>28</b>

**Chapitre 5 : INSPECTION PAR CF EN AERONAUTIQUE**

<b>5.1-</b>	<b>Exemples d'inspections par cf .....</b>	<b>32</b>
	5.1.1- Inspection des surfaces fissurées.	
	5.1.2- Inspection pour la détection des criques internes.	
	5.1.3- Inspection pour la détection de la corrosion.	
	5.1.4- Inspection des trous.	
<b>5.2-</b>	<b>Exemple d'une procédure de contrôle.....</b>	<b>37</b>
	5.2.1- Description de la zone à inspecter.	
	5.2.2- Description des dommages possibles.	
	5.2.3- Documents liés.	
	5.2.4- Matériels et équipements nécessaires.	
	5.2.5- Préparation avant inspection.	
	5.2.6- Mode opératoire.	
	5.2.7- Critères d'acceptation.	
<b>5.3-</b>	<b>Inspection des attaches de la porte cargo.....</b>	<b>45</b>
	5.2.1- Description des dommages possibles.	
	5.2.2- Equipement d'inspection.	
	5.2.3- Les étapes de préparation pour l'inspection.	
	5.2.4- Instrument de calibrage.	
	5.2.5- Procédure d'inspection.	
	5.2.6- Les critères d'acceptations.	

<b>Conclusion.....</b>	<b>51</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>53</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>55</b>

# Introduction



# INTRODUCTION

L'avance technologique durant ces dernières années a permis le constat d'un grand nombre de problèmes pouvant toucher les aéronefs . Les risques d'incidents dans les avions étant pris très au sérieux , le contrôle non destructif occupe une place très importante dans la surveillance et le contrôle.

La maintenance des aéronefs, utilisent une multitude de technique d'inspections non destructifs, tel que Le contrôle visuel, le ressuage, la magnétoscopie, les ultrasons et les courants de Foucault..

La sensibilité de ce dernier lui permet l'application dans un domaine aussi critique que l'aéronautique à savoir la détection les défauts micrométriques situés en surfaces ou sub-surfaces (jusqu'à 3 mm de profondeur). Il permet un contrôle rapide, rigoureux sans contact et nécessite peu de moyen matériel.

L'emploi du contrôle par courants de Foucault dans le domaine de l'aéronautique est surtout requis pour régler les problèmes de détection de la corrosion et des défauts de fatigue dans le fuselage d'avion, surtout pour les appareils présentant un nombre de cycle et d'heure de vol élevé.

Notre travail consiste à maîtriser et développer la technique de contrôle par courants de Foucault dans le contexte aéronautique, de connaître ses différentes applications et ses performances.

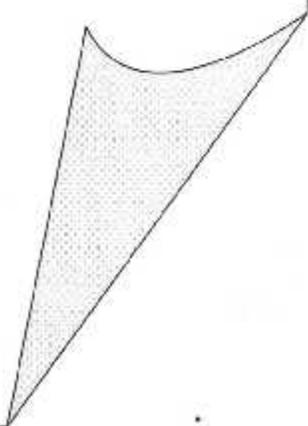
Pour cela nous avons :

- Réalisé plusieurs spécimens en alliages d'Aluminium et de Silicium utilisés dans la construction des avions.
- Fait subir à ces différents échantillons plusieurs modifications et réalisations de défauts très proche du cas réel.
- Caractérisés ces échantillons par cette technique.

Pour cela notre étude présentée dans ce mémoire sera divisée comme suite :

- Rappel théorique.
- Généralité sur la méthode de contrôle et de mesure par courants de Foucault.
- Réalisation des défauts et des pièces de référence.
- Caractérisation des défauts étalons.
- Application de la méthode de contrôle par courants de Foucault en aéronautique .

# Chapitre 1



## RAPPEL THEORIQUE

### 1- RAPPEL SUR LES PROPRIETES ELECTRIQUE ET MAGNETIQUE DES METAUX :

#### *1.1- les paramagnétiques :*

Un matériau est dit paramagnétique quand il présente une aimantation  $m$  faible mais positive, proportionnelle un champ magnétique  $H$ , et de même sens. Un grand nombre de métaux appartient à cette catégorie, comme : le platine, le palladium, le potassium, le sodium, l'aluminium, le chrome.

#### *1.2- les diamagnétiques :*

Les diamagnétiques présentent une aimantation  $m$  faible, négative et proportionnelle au champ magnétique  $H$  dans le quel ils sont placé. tout les métalloïde appartient à cette catégorie sauf l'oxygène, et aussi un grand nombre de métaux comme l'or, le cuivre, le mercure, le plomb, etc.

#### *1.3- les ferromagnétique :*

Les ferromagnétique quand à eux, ils présentent une susceptibilité élevée à l'aimantation, mais leur aimantation croit de manière non proportionnelle vers une limite appelée aimantation de saturation, parmi eux on trouve le fer, le cobalt, le nickel, le gadolinium...etc.

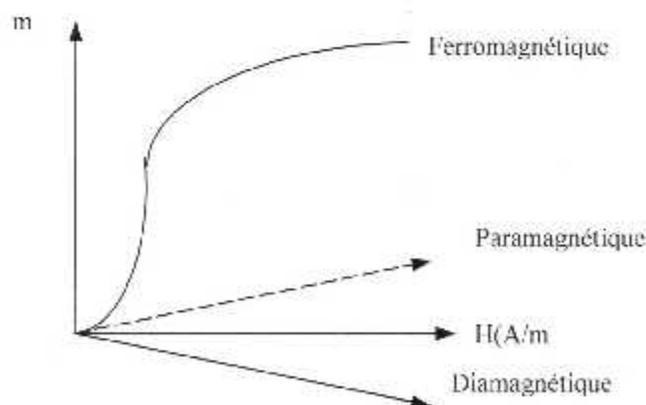


Figure 1: Courbe de première aimantation.

### **1.4- La conductivité électrique :**

La conductivité électrique est une grandeur physique  $\sigma$ , caractérisant la capacité de conduction de courant électrique d'une substance, égale au rapport de la densité de courant électrique  $j$  qui la traverse au champ électrique appliqué  $E$  ( $j = \sigma E$ ). L'unité SI de conductivité électrique est l'ohm<sup>-1</sup>.mètre<sup>-1</sup> ( $\Omega^{-1}m^{-1}$ ) ou siemens par mètre<sup>-1</sup> ( $S.m^{-1}$ ).

En contrôle par courant de Foucault, la conductivité électrique est souvent donnée en %IACS. Dans ce système, elle est présentée en % par rapport à celle du cuivre pur à 20°C qui représente 100%.

### **1.5- La perméabilité :**

La perméabilité magnétique est une grandeur physique  $\mu$  qui caractérise la capacité d'une substance à acquérir une aimantation, son produit par le champ magnétique  $H$  est égale à l'induction magnétique  $B$  ( $\mu = B/H$ ).

## **2- RAPPEL SUR LES CF :**

### **2.1- Définition :**

On appelle courants de Foucault, les courants électriques induits dans un matériau conducteur soumis à un champ magnétique variable, son origine vient du nom du physicien français Léon Foucault (1819-1868) qui démontra leur existence en 1850, en se basant sur la découverte de l'induction électromagnétique par Faraday en 1831.

En générale ces courants représentent un inconvénient dans les machines électriques (transformateur, moteurs...), entraînant un échauffement des masses métalliques par effets joule, une perte d'énergie électrique et mécanique se caractérise par un affaiblissement de rendement. Cependant leurs applications sont très importantes dans le chauffage par induction magnétique et dans certains dispositifs de freinage des grands engins.

D'autre par, ils sont en rapport direct avec les caractéristiques électriques et métallurgiques des matériaux (dimension, conductivité électrique, perméabilité magnétique, taux de carbone, épaisseur du revêtement...). De ce fait, ils sont très utilisés en technique de contrôle non destructif, recherche et localisation des défauts.

### **2.2- Etude théorique :**

#### **2.2-1 Répartition des cf :**

- Les courants de Foucault suivent des trajectoires fermées perpendiculaires au flux magnétique induit.
- Ils sont normalement parallèles aux spires du bobinage.
- Dans n'importe quelle position interne de la surface, loin du bord et des discontinuités, la distribution des cf est uniforme (voir figure 2, position 1).
- Autour du bord ou d'une discontinuité (ex :crique), la distribution des cf est perturbé (voir figure 2, position 2).

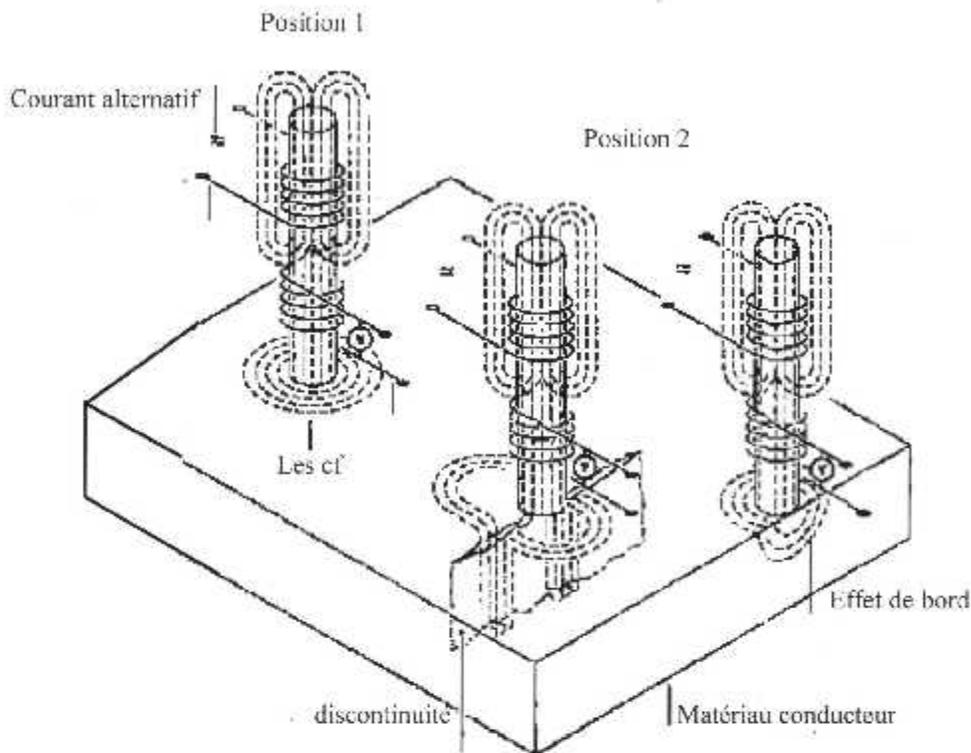


Figure 2: Répartition des courants de Foucault

**2.2-2 La distribution des cf en fonction de la profondeur de pénétration :**

La distribution des cf est en relation direct avec la géométrie du conducteur, en rencontre deux types :

- conducteur plan.
- barres et tubes.

Notre étude se portera sur le cas d'un conducteur plan.

**Cas d'un conducteur plan :**

Le rapport qui existe entre la densité du courant à la surface  $j$  et un point interne situé a une distance  $x$  de la surface (voir figure) est donner par l'équation :

$$J_x/J_0 = e^{-\beta x} \sin(\omega t - \beta)$$

$I_0$  : courant primaire

$i_p$  : courant dans la pièce

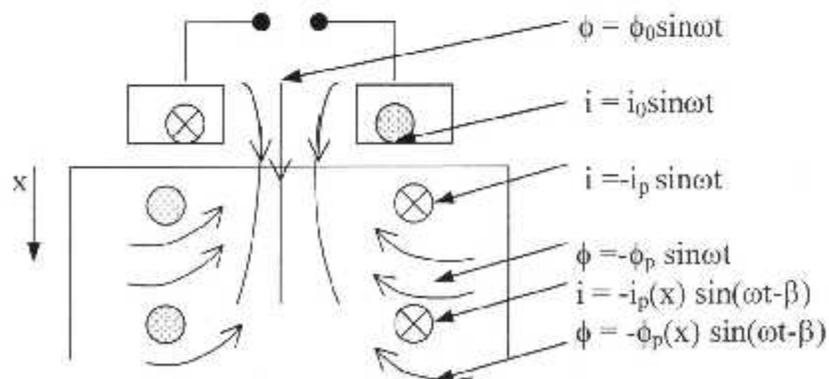


Figure 2 : la distribution des cf en fonction de la profondeur dans un conducteur plan

on définit alors la profondeur de pénétration standard.

### 2.2-3 Profondeur de pénétration standard:

C'est la profondeur  $\delta$  pour laquelle l'amplitude du courant diminue d'un facteur  $1/e$

$$\frac{j_x}{j_0} \cdot e^{-x/\delta} = 1/e \quad j_0 = \text{densité du courant de surface}$$

$$x/\delta = 1 \quad \Rightarrow \quad x = \delta$$

$$\delta = \sqrt{2/\omega\mu} f$$

En remplaçant :  $\mu = \mu_0\mu_r$  avec :  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$

$$\delta = 503/(\sigma\mu_r f) \quad \delta = [\text{m}]$$

$\omega = 2\pi f =$  la pulsation

$\mu =$  perméabilité

$\sigma =$  conductivité

$f =$  fréquence

### **Remarque :**

A priori un matériau ferromagnétique est plus difficile à contrôler qu'un non magnétique.

L'augmentation de la perméabilité magnétique et la fréquence provoque une démultiplication de la pénétration, les cf circulent en plus en plus en surface (effet de peau), la conductivité électrique influence moins sur la pénétration.

### 2.2-4 Diagramme d'impédance:

Le diagramme d'impédance est une représentation de l'impédance de la bobine. Ses parties réelle et imaginaire dans un plan complexe sont en fonction de la variation d'un paramètre donné. L'ensemble des courbes représentant les paramètres influent dans le plan d'impédance, peuvent être normaliser en courbe standard appelée diagramme d'impédance normalisé.

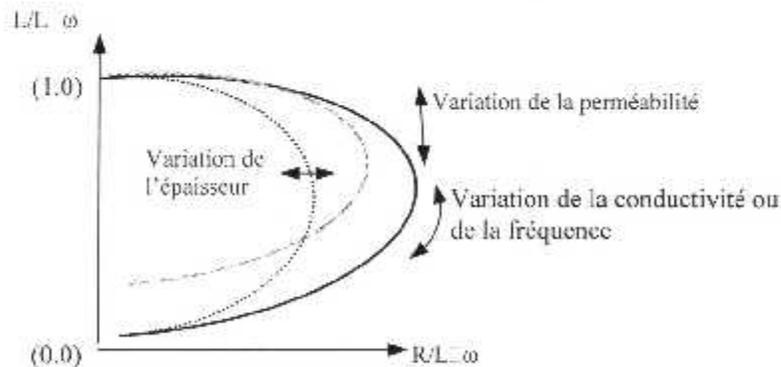


Figure 2 : diagramme d'impédance normalisée

### 2.2-5 Les paramètres influençant le diagramme d'impédance :

#### **a) Influence de la conductivité électrique :**

Une conductivité nulle représentant un isolant correspond au point géométrique haut de la courbe  $(1,0)$ . L'impédance de la sonde est due seulement à sa propre inductance, par contre une conductivité infinie représenterait les supraconducteurs, le point géométrique est présenté au bas de la courbe  $(0,0)$ .

Une augmentation de la conductivité électrique correspond à un déplacement le long de la courbe d'impédance.

**b) Influence de la fréquence :**

L'influence de la fréquence pour une conductivité électrique et une perméabilité magnétique constante est la même que l'influence de la conductivité électrique.

Pour une fréquence nulle correspondant au point haut de la courbe, les  $c_f$  sont nuls (champ magnétique constant). Par contre, pour une fréquence infinie, la constante de pénétration standard tend vers zéro, la circulation des  $c_f$  est en surface.

Une augmentation de la fréquence à un déplacement le long de la courbe d'impédance à partir du haut.

**c) Influence de la perméabilité :**

A la différence de la conductivité électrique et de la fréquence, l'influence de la perméabilité se manifeste par un déplacement de la courbe d'impédance. Dès que celui-ci se trouve différent de l'unité, les résultats peuvent masquer la variation des autres paramètres. Pour remédier à cette influence la saturation du matériau est recommandée.

**d) Influence de l'épaisseur :**

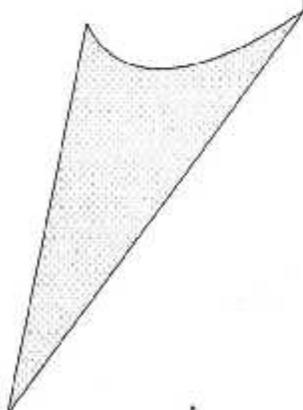
de même que pour la perméabilité, l'épaisseur crée un déplacement de la courbe d'impédance, cette influence apparaît pour une variation du coefficient de remplissage ou à partir d'une certaine épaisseur dépendant de la constante de pénétration standard.

La variation d'impédance due à une variation d'épaisseur, est intéressante pour la mesure du revêtement ou de l'épaisseur d'une couche d'isolant sur un matériau.

**e) Influence des défauts :**

l'aspect physique est caractérisée par la modification des lignes de courants de Foucault induits dans le matériau. Une anomalie dans sa structure physique affecte ces caractéristiques électrique ou magnétiques. La localisation d'un défaut est possible par la concentration des courants de Foucault. Le choix de la fréquence permet de dimensionner le défaut en question.

# Chapitre 2



# GENERALITE SUR LA METHODE DE MESURE ET DE CONTROLE PAR COURANTS DE FOUCAULT

## 1- Introduction :

Le premier contrôle par courants de Foucault fut réalisé par De Hugues en 1879, au début, l'extrême sensibilité des cf aux caractéristiques du matériaux rendis le contrôle difficile et imprécis.

Ce n'est qu'en 1926, que le premier instrument de contrôle par cf fut mis au point pour la mesure des épaisseur. A la fin de la seconde guerre mondiale les recherches poussées ont permis le développement des cf, et aussi d'augmenter le champ d'application de cette méthode de contrôle.

## 2- PRINCIPE DE CONTROLE PAR CF :

La méthode consiste à créer des courants induits, par l'intermédiaire d'un champ magnétique alternatif et variable dans le temps, généré par un solénoïde, en basse et haute fréquences dans des matériaux conducteurs.

Ces courants induits créés localement, sont les cf leur distribution et leur répartition dépendent du champ magnétique d'excitation, de la géométrie, et des caractéristiques de conductivité électrique et de perméabilité magnétique de la structure examinée.

Le contrôle s'effectue par l'observation (cadrant de galvanomètre, écran d'oscilloscope) des variations de l'impédance du solénoïde. L'interprétation des informations recueillies est la partie la plus difficile à réaliser, elle est obtenue en générale par comparaison avec une pièce de référence comportant des anomalies représentatives et spécifiques des phénomènes recherchés.

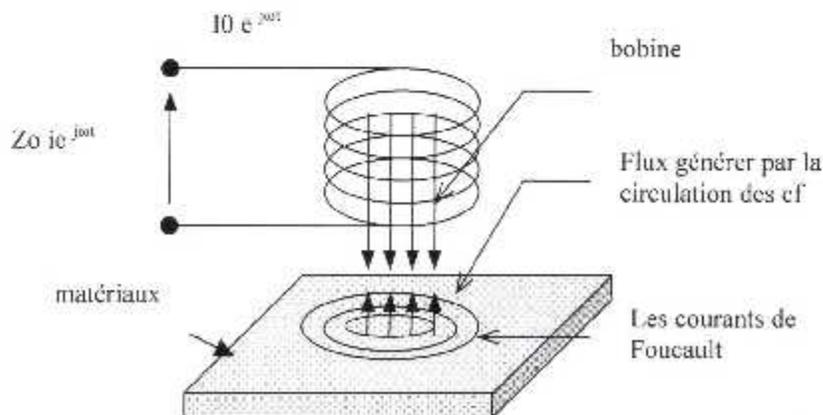


Figure 1 : La génération des courants de Foucault

On peut détecter avec cette méthode des variation due :

- A la composition chimique du matériaux .
- A la structure (effet du traitement thermique...).
- Aux dimensions de la pièce, ou à la distance pouvant exister entre le solénoïde et le matériaux (le lift-off).
- A la présence d'un défaut dans le matériaux .

### 3 – CHAÎNE DE MESURE ET DE CONTRÔLE PAR CF :

1-Un appareil de mesure pour la technique du contrôle par cf, est basé sur un système électrique délivrant un signal variable et périodique. Le système de mesure qui génère le champ magnétique dont le capteur est l'élément essentiel, est situé en aval de l'oscillateur. Les mesures obtenues lors du contrôle sont traités immédiatement, où stocké par un enregistreur pour une exploitation ultérieure.

Un schémas simplifié d'un appareil à cf :

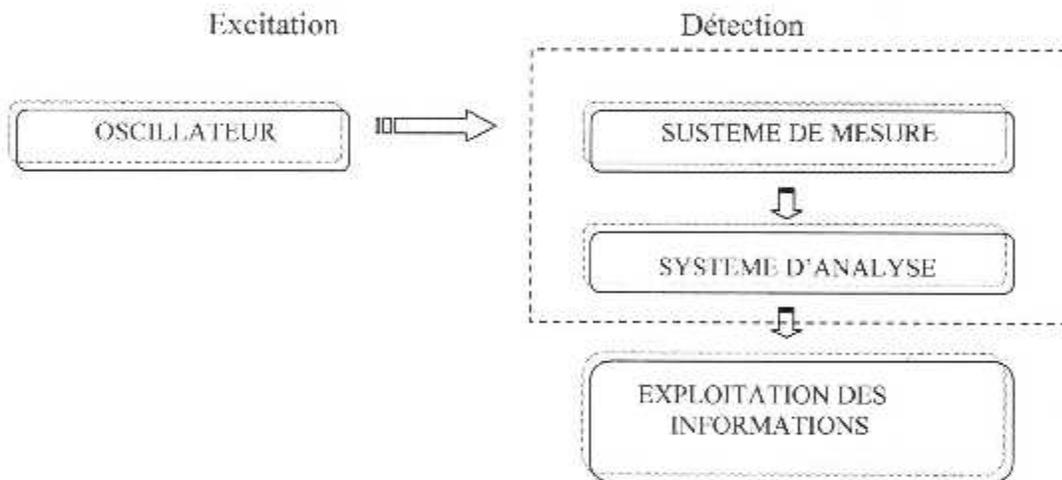


Figure 2:Schémas de la chaîne de mesure par cf

#### 3.2-La méthode de mesure :

**La méthode de l'impédance :** toute variation de l'impédance est décelée ainsi que sa cause, et cela grâce aux diagrammes d'impédances normalisés.

**La méthode de la transmission et de la réception :** dans cette méthode, le contrôle par courants de Foucault se base sur les variations de la différence de tension aux bornes des deux capteurs et du déphasage entre les deux.

#### 3.3- Les capteurs :

Les capteurs à courants de Foucault (les transducteurs) sont un des paramètres essentiels du contrôle par cf, vu qu'ils transmettent et reçoivent les informations sur le spécimen à contrôler.

Les capteurs sont des enroulements électriques, qui génèrent un champ magnétique lorsqu'ils sont alimentés par un signal électrique variable.

On distingue en fonction de la géométrie du spécimen à contrôler trois types principaux d'élément de mesure :

- **Bobines encerclantes** : elles sont utilisées pour le contrôle des produits cylindriques, elles effectuent des testes globaux.
- **Sondes internes** : la sonde est une bobine de petite section, qui permet le contrôle interne des produits cylindriques creux.
- **Palpeurs de surface** : ils sont destinés aux surfaces planes, et maintenu perpendiculairement à eux, leur profil doit épouser le mieux possible celui de l'échantillon, pour l'obtention d'une meilleure sensibilité.

On trouve aussi des capteurs tournants destinés au contrôle d'alésage ou des profilés, pour la recherche des défauts longs et fins.

Il existe aussi des sondes focalisés afin de réduire la dispersion du champ magnétique. Ils nous permettent aussi :

- Une mesure ponctuelle.
- Meilleure concentration.
- Augmentation de la densité de courant en surface.
- Diminution de la profondeur de pénétration.

Tout ces capteurs peuvent être concentrer pour diminuer les pertes du champ magnétique (blindés). En principe on peut les classer suivant deux critères :

1. **La fonction du capteur** : Si l'excitation se fait par l'intermédiaire d'un ou plusieurs bobinages différents pour la réception et la transmission, on parlera de capteur simple ou à fonction séparée.

Si le capteur est constitué d'un ou plusieurs bobinages qui agissent à la fois comme émetteur et récepteur, on parlera de capteur double fonction.

2. **le mode de mesure** : Lorsque la mesure (la réception) se fera par comparaison de zones adjacentes au moyen d'un couple de bobinages, on parlera de capteur différentiel, dans le cas contraire on parlera de capteur absolu.

#### **4 - LES PIÈCES DE REFERENCES STANDARDS :**

Avant l'utilisation de la technique de contrôle par cf, pour l'inspection d'une pièce afin de connaître ses propriétés ou les discontinuités, on doit d'abords définir ces derniers. Comme toutes les méthodes d'inspection, le contrôle par cf demande des pièces standards, toute déviation d'eux et des tolérances spécifiés est considéré comme inacceptable.

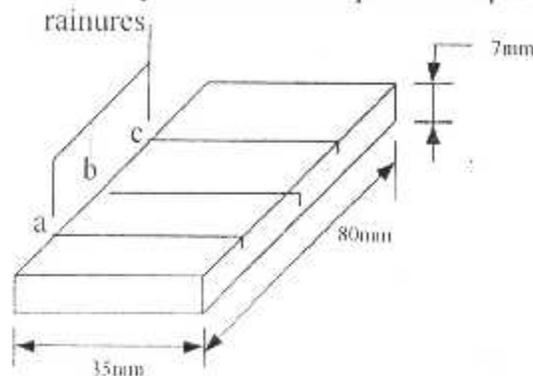
Pour les différentes inspections, de différentes pièces de référence standards et de blocs d'ajustements sont demandés pour cette mesure comparatif, et peuvent être utilisés pour la vérification fonctionnel des appareils de mesures.

On générale, les discontinuités simulées sur les pièces doivent être les plus proches possible des discontinuités réels. Dans le cas d'un teste pour une crique, on calibre sur une rainure, mais en réalité elle n'a pas la même effet sur la distribution des cf comme une réelle crique de fatigue, c'est la similitude de forme et de phase qui permet de relier les défauts naturels et certains défauts artificiels.

Quoi qu'il en soit, pour les cas pratique il n'est pas possible de faire le calibrage standard avec les défauts naturels. Donc une pièce de référence dont les défauts étalons sont bien réalisés peut donner des indications très précises sur la recherche de défauts naturels.

4-1 Pièces de référence standard pour l'inspection des surfaces fissurées :

On peut utiliser une pièce surfacique avec des rainures de différents profondeurs, elle doit être la plus proche possible des paramètres de la pièce à inspecter.



Rainures	Largeur	Longueur
A	0.2 mm	0.2 mm
B	0.5 mm	0.2 mm
C	1.0 mm	0.2 mm

Figure 3 :Exemple de pièce de référence pour l'inspection des fissures

4-2 Pièces de référence standard pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion :

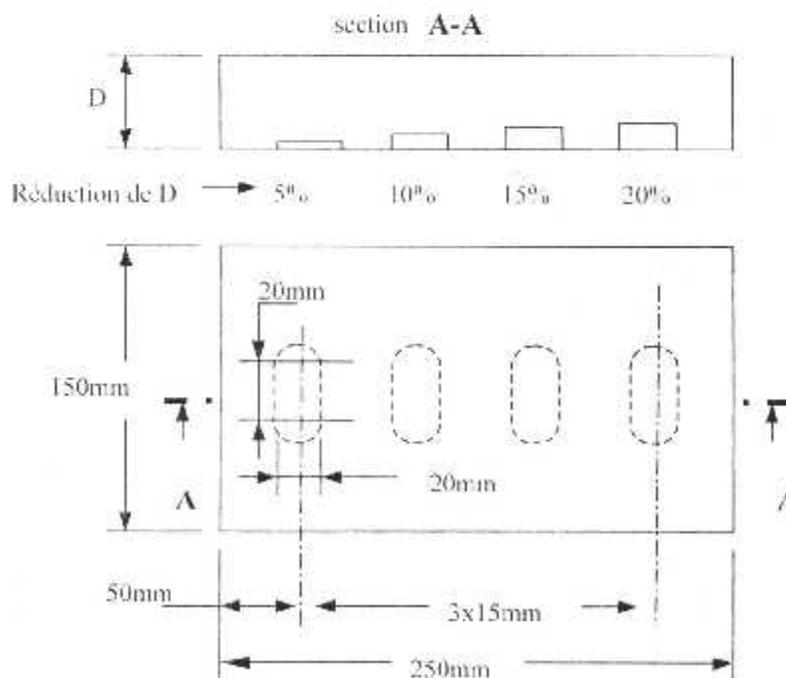
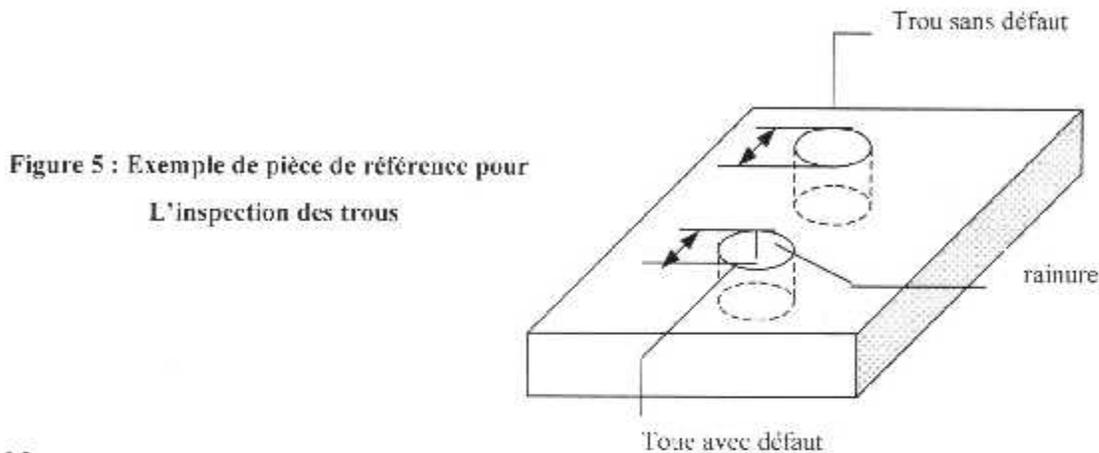


Figure 4 :Exemple de pièce de référence pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion

- a) La pièce pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion doit être fait du même matériau que la structure examinée, et de même épaisseur.
- b) La pièce doit avoir des aires de réduction d'épaisseur égale à 5%, 10 %, 15% et 20% de l'épaisseur D nominale du matériaux à inspecter (figure 2).

#### 4-3 Pièces de référence standard pour l'inspection des trous :

- a) La pièce référence pour l'inspection des trous doit être fait du même matériau que la structure examinée et de même épaisseur.
- b) Pour chaque trou à inspecter, il doit y avoir deux trou de référence de même qualité et diamètre. L'un n'a pas des défauts, l'autre a des rainures. La largeur de la rainure ne doit pas dépasser 0.2mm, la profondeur doit être approximativement 0.5mm (figure 3).



Note :

- Le diamètre de la sonde rotative doit être de 0.1mm plus petit que le trou à inspecter.
- Le diamètre du trou doit être identique à ce lui de la pièce de référence.

#### 4-4 Pièces de référence standard pour la mesure de l'épaisseur :

La pièce pour la mesure de l'épaisseur doit être du même matériau que la structure examinée. Deux ou plusieurs feuilles de propriétés similaire au matériau de la couche à mesurer, doivent être ajoutées à la pièce. Ces feuilles doivent avoir de différentes épaisseurs qu'on prend en considération dans les résultats de mesure, pour nous permettre de calibrer.

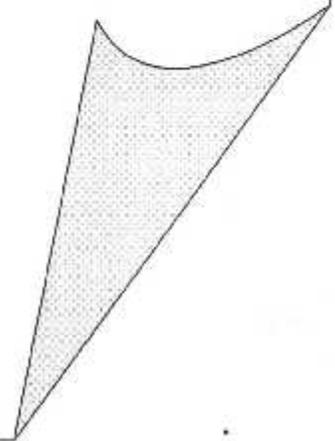
#### 4-5 Pièces de référence standard pour la mesure de la conductivité :

La pièce pour la mesure de la conductivité accompagne les équipements. C'est des pièces de métal dont la conductivité est définies, et avec quoi en calibre les appareils, et on situe en fonction d'eux la conductivité des autre matériaux. Pour des applications spéciales on doit fabriquer des pièces standards spéciales.

#### 4-6 Pièces de référence standard pour des application spécial

Pour les applications spéciales, les pièces sont fabriquées de manière à représenter le plus proche possible le cas de la structure à inspecter, ils doivent être de la même matière et fabriquer dans les mêmes conditions, et aussi avoir des défauts étalons représentatifs des discontinuités rencontrées dans la structure réel.

# Chapitre 3



## **REALISATION DES DEFAUTS ET DES PIECES DE REFERENCE**

### **1- Introduction :**

La méthode de contrôle par cf est basée sur la reproductibilité des résultats par rapport à un étalonnage d'origine. De ce fait les pièces de référence standards ont un rôle important dans la qualité de la mesure et donc des résultats, il est donc essentiel de connaître parfaitement les qualités à exiger d'une pièce standard et les caractéristiques des défauts quelle englobe.

Cette caractérisation se fait par l'intermédiaire des appareils de cf et par les diagrammes d'impédance.

### **2- Caractéristiques d'une pièces de référence standard :**

Les pièces ont une géométrie simple: tubes, barres, plaques, etc. pour déterminer une pièce servant d'étalon, il est nécessaire d'avoir un lot identique de même nuance , et de même dimensions.

Avant de réaliser les défauts étalons, ces pièces seraient contrôlées, afin d'éliminer celles qui pourraient éventuellement présenter une anomalie non détectable de manière visuelle.

Les défauts étalons à réaliser doivent être proches des défauts naturels qu'on cherche à détecter, ils devront être réalisés sans traçage ni pointage, le tableaux suivant montre la similitude entre les défauts naturels et les défauts étalons :

<b>Le défaut naturel</b>	<b>Son équivalent en défaut étalon</b>
Une crevasse	Un trou
Une corrosion étendue	Une réduction d'épaisseur
Une fissure	Une fentes

Pour les pièces de forme, les considérations précédentes s'appliquent de la même manière, mais la complication est requise quand à la réalisation. Pour les pièces de fonderie, les différentes coulées ne sont pas aussi reproductible, ceci peut perturber la mesure dans le cas de tri de dureté.

### **3- La fabrication d'une pièce de référence:**

Pour la fabrication d'une pièce de référence pour l'inspection des surfaces fissurées, nous avons choisi de faire des pièces en différent alliages d'aluminium silicium: AS7G, AS10G,

AS22, AS13, utiliser dans l'industrie aéronautique, qui s'est fait au niveaux du laboratoire de micro fonderie a l'institut d'aéronautique.

La pièce est un prisme droit à base rectangulaire (voir figure 1).

Dimension de la pièce (mm)	Profondeur de la rainure a	Profondeur de la rainure b	profondeur de la rainure c	largueur de la profondeur
50 x 50 x 20	0.7mm	0.4mm	0.15mm	2.0mm

Le dessin de la pièce :

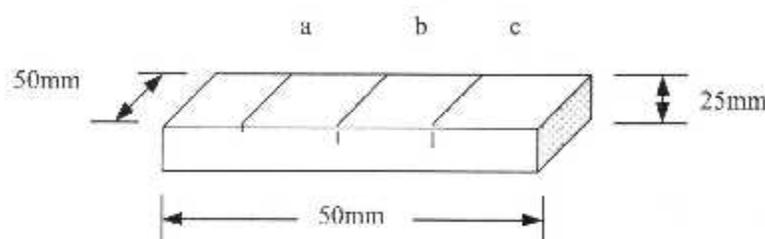


Figure 1 : Dessin de la pièce étalon.

Les références des pièces fabriquées :

- Pièce 1.1 : en alliage AS13 .
- Pièce 2.1 : en alliage AS22.
- Pièce 3.1 : en alliage AS7G première coulée.
- Pièce 3.2 : en alliage AS7G deuxième coulée.
- Pièce 4.1 : en alliage AS10G première coulée.
- Pièce 4.2 : en alliage AS10G deuxième coulée.

### 3.1- Procédé de fabrication :

La fonderie est un simple procédé de fabrication, on peut traduire son processus générale celons les étapes suivant :

#### **1. Dessin et fabrication du modèle :**

A partir du dessin d'une pièce, tracé correctement, par le bureaux d'étude du mécanicien constructeur, un outillage de fonderie est établi par le modelleur.

#### **2. Préparation du moule :**

Cet outillage est repris par le fondeur pour confectionner un moule à partir d'un modèle. Le moule reproduit , à quelcun approximation près, les formes extérieures de la pièce, il est en sable de fonderie (moulage au sable).

#### **3. Préparation de la coulée :**

Après avoir mis les métaux dans le four, la fusion permettras de les faire passer de l'état solide à l'état liquide et de réaliser des alliage. Puis en fait passer le liquide dans le moule.

#### **4. Finition de la pièce.**

La pièce coulée est refroidie est extraite du moule puis nettoyée et ébarbée, et subisse un pré-usinage pour arriver aux dimensions voulus.

### 5. Usinage finale :

Un polissage et un usinage sur fraiseuse, pour l'élaboration des défauts étalons à était fait au niveaux du laboratoire de métallurgie, et de l'atelier de soudo-mécanique au CSC.

### 3.2- Remarque :

On à remarquer après la finition des pièces, quelles comporte des défauts de structure visible à l'œil nu, pour vérifier la présence de défauts internes ( poche d'air, crevasse...), on à fait un contrôle par rayons X.

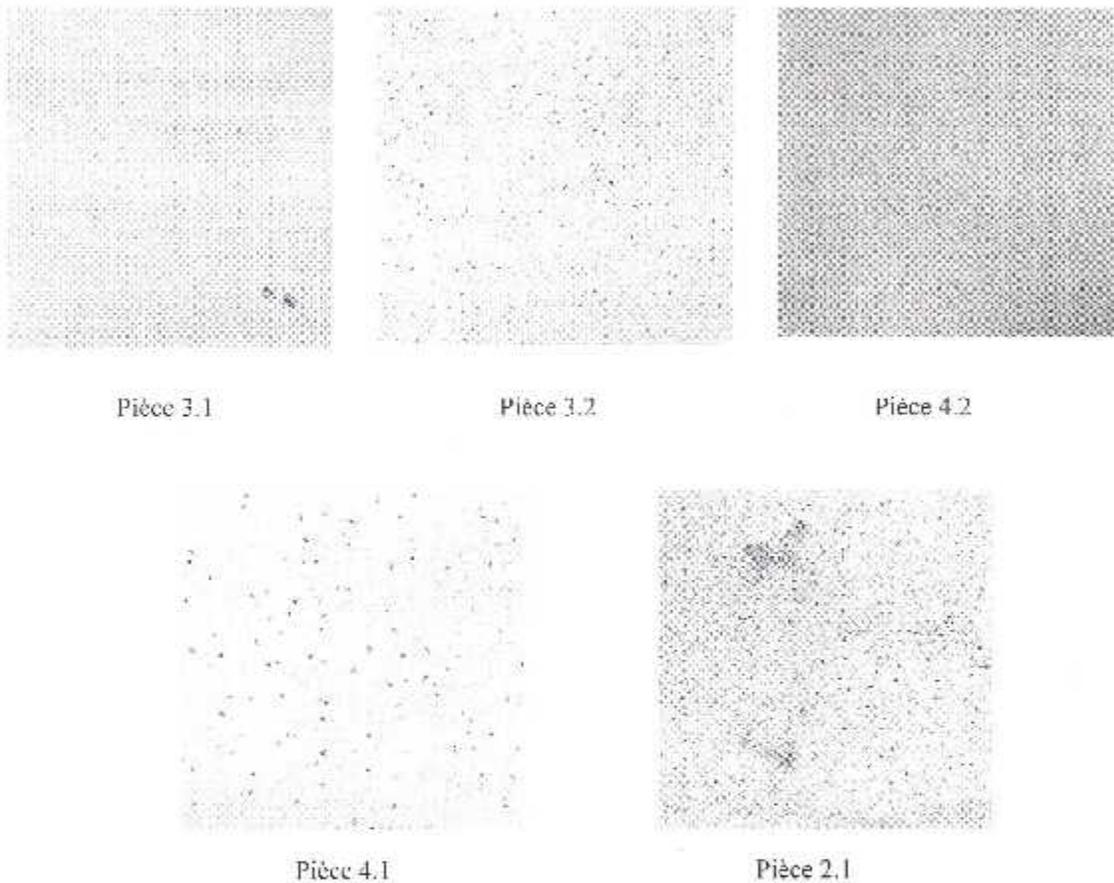
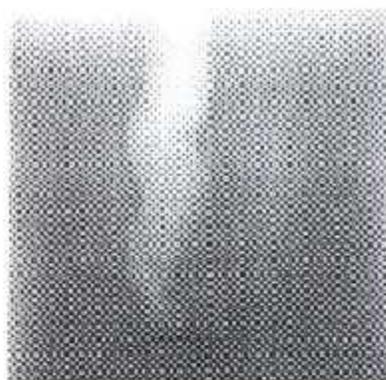


Figure 2 : Photos des pièces réalisées

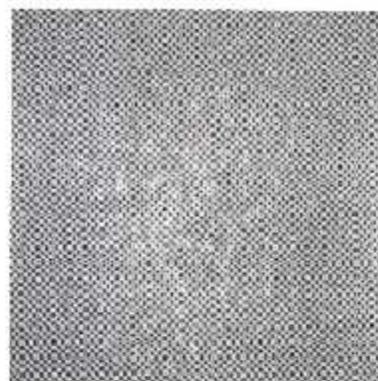
### 3.3- Visualisation des défauts des pièces de fonderie par rayon X: (figure 3)

Sur l'ensemble des pièces fabriquées, on remarque une non homogénéité de la structure métallurgique. Des crevasses sont aussi visible sur la pièce 1.1 et 4.1, due aux gaz emprisonnés durant le refroidissement des pièces.

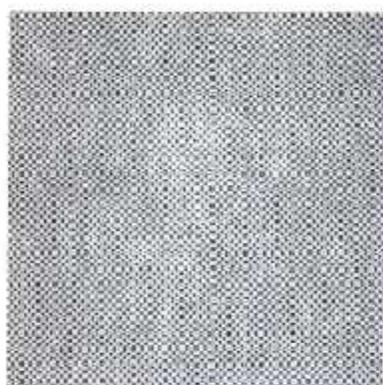
Ce qui nous à obliger de les refaire, mais le résultat est restait le même. Nous contraignant à rebuter les pièces 2.1, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, et de ne retenir que la pièce 1.1, qui présente une homogénéité dans la structure et une crevasse à plus de 10mm de la surface finie, ce qui n'entrave pas le control par cf, et la réalisation des défauts étalons.



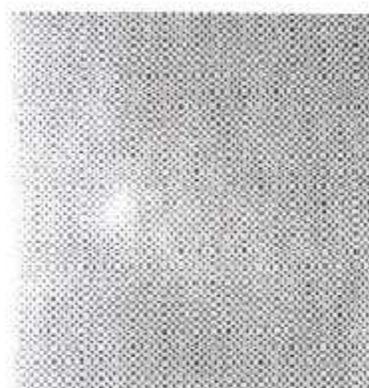
Pièce 1.1



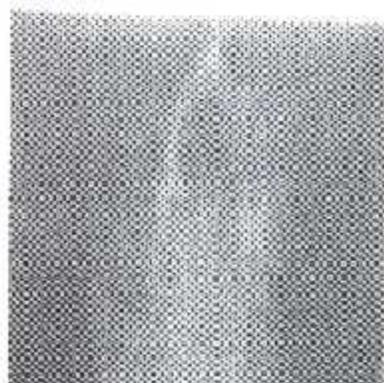
Pièce 2.1



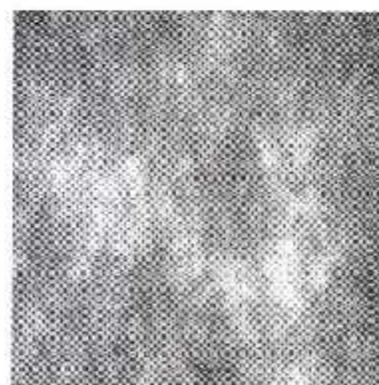
Pièce 3.1



Pièce 3.2



Pièce 4.1



Pièce 4.2

**Figure 3: Visualisation des défauts sur les pièces fabriquer par rayons X**

#### 4- Réalisation des sondes :

Pour la réalisation des sondes, notre travail s'est fait sous la direction des ingénieurs du laboratoire d'électronique et d'électrotechnique du centre de recherche scientifique et technique en soudage et contrôle.

Le diamètre du fil de bobinage a été choisi de telle façon à augmenter l'inductance propre des sondes (augmentation du nombre de spires) et à diminuer la valeur de la résistance (échauffement par effet joule).

L'utilisation de la ferrite comme noyau (support) des sondes a permis :

- D'augmenter l'inductance magnétique (perméabilité magnétique importante).
- D'augmenter le flux magnétique (réductance très faible).

Les réponses par les diagrammes d'impédances normalisées ont facilités le choix de la sonde appropriée.

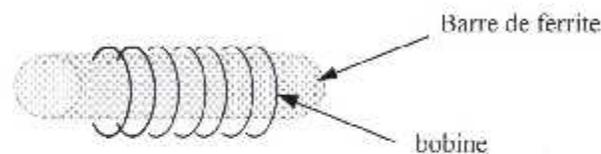


Figure 4 :schémas d'une sonde

Caractéristique de la sonde :

Résistance : 20  $\Omega$ .

Inductance : 7.6  $\mu$ h.

Longueur : 21mm.

Diamètre : 9mm.

Nombre de spires : 350 tr.

#### Diagramme d'impédance de la sonde :

Le diagramme d'impédance de la sonde a été obtenu sur un échantillon d'aluminium, il nous permet de caractériser notre sonde.

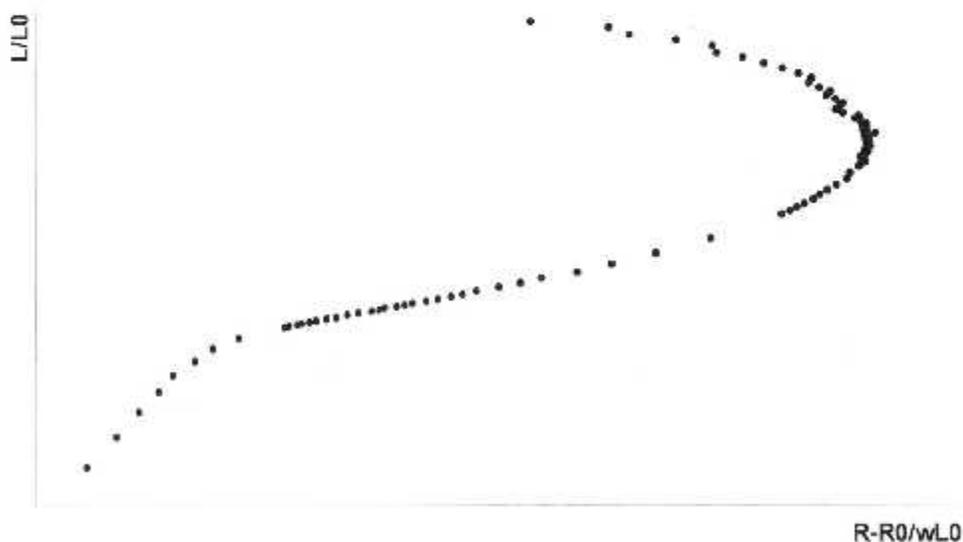


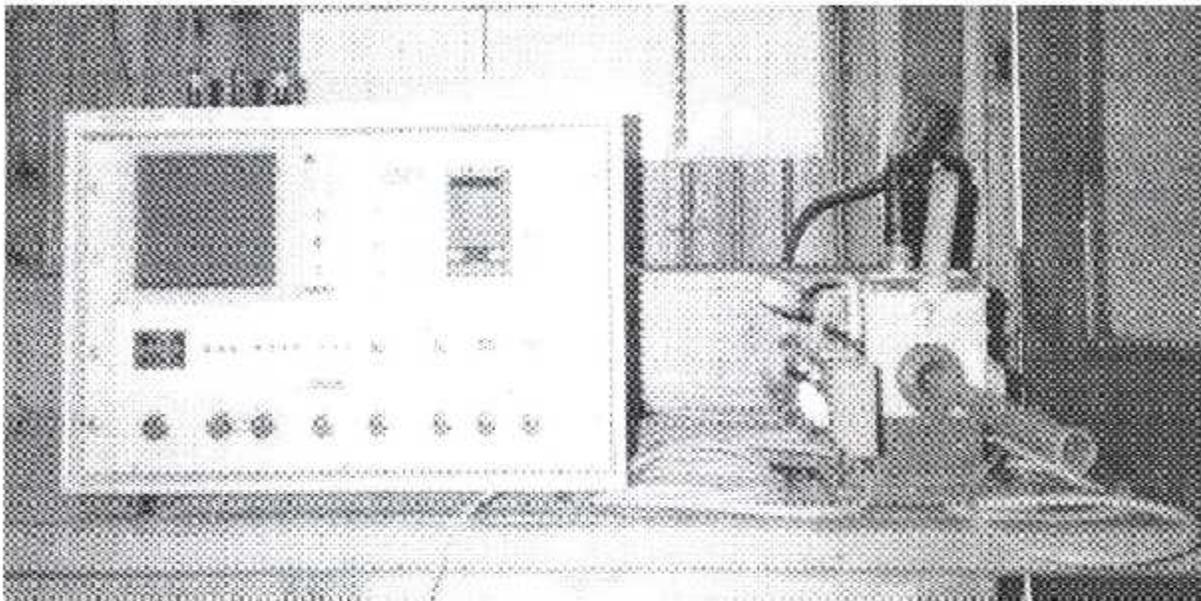
Figure 5: Diagramme d'impédance de la sonde

## **5- LES APPAREIL DE CONTROLE :(voir annexe)**

### **5.1-LE FOERSTER DEFECTOMAT F2.825 :**

L'institut Foerster est l'une des premiers constructeurs d'appareils à cf, et le Forster 2.825 est un appareil à cf analogique fabriqué dans les années 80, qui travail dans une gamme de fréquence allant de 100hz à 1MHz.

Par visualisation des signaux, il permet le contrôle des surfaces fissurées, et aussi la mesure des épaisseurs. Il travail en mode absolu et en différentiel, sur une seule voie. Il ne convient pas pour les chantiers, vu l'importance de son poids et sa grande taille, il est destiné pour le travail de laboratoire.



**Figure 7 : Appareil de contrôle par CF, Foerster 2825**

**5.2-PHASEC 2200 :**

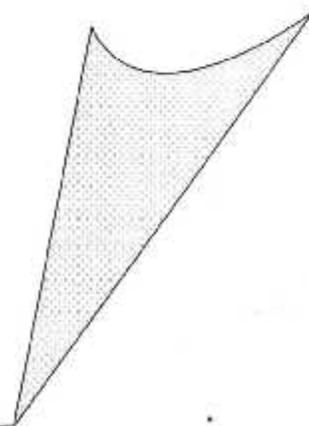
Fabriqué par la firme Hocking, le Phasec 2200 est un appareil à cf numérique, performant et portable, il nous offre une utilisation simple et précise, dans des fréquences allant de 60Hz à 6MHz, sur une voie ou sur deux voie (double fréquence), avec la possibilité de stocker les résultats est le mode de réglage pour une utilisation ultérieure.

Il convient parfaitement aux chantiers, vu son poids léger et son autonomie d'alimentation grâce à sa batterie. Il est utilisé pour la détection des fissures, de la corrosion, la mesure de la conductivité, et de l'épaisseur.



figure2 : Appareil de contrôle par CF Phasec 2200

# Chapitre 4



## CARACTERISATION DES DEFAUTS ETALONS

Dans ce chapitre nous analyserons les résultats obtenues sur les pièces fabriquées et les pièces de référence, par la méthode du plan d'impédance et par visualisation des signaux sur le Phasec2200.

### 1- La caractérisation :

C'est la définition des paramètres importants dans un élément, et l'indication <sup>de</sup> tout ses spécifications. Pour le cas des défauts étalons, la caractérisation est l'obtention d'un signal par un appareil à cf, représentatif pour chaque type de défaut, destiné pour le calibrage des instruments de mesure et de contrôle, et pour l'identification des discontinuités.

Le diagramme d'impédance est un moyen de caractérisation, il nous offre un aperçu différent de celui d'un appareil à cf, il nous donne la variation des paramètres influents dans les cf en fonction de l'impédance de la sonde.

### 2- Les pièce étalon :

a- Pièces d'aluminium :

- Pièce étalon 1.1 : d'alliage Al-Si (voir : ch3, par3) figure 1.
- Pièce étalon 5.1 : pour l'inspection des surfaces fissurées (voir : ch2, par4.1) figure 2.

b- Pièces d'acier (Figure 3):

- Pièce étalon 6 : pour l'inspection des soudures sur une surface plane.
- Pièce étalon 7 : pour l'inspection des soudures sur des tubes (voir tableaux).

Référence de la pièce	Numéro de la pièce	Dimension (mm)	Longueur du défaut (mm)	Distance du zéro (mm)
6	PL6205	300 x 10	13	175
7.1	PL6206	Dia 150 x 10	12	275
7.2	PL6208	Dia 300 x 10	15	216

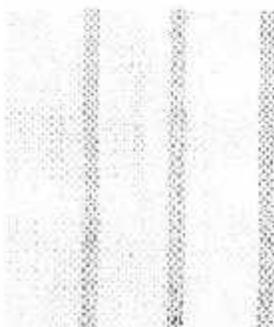


Figure 1 : pièce 1.1

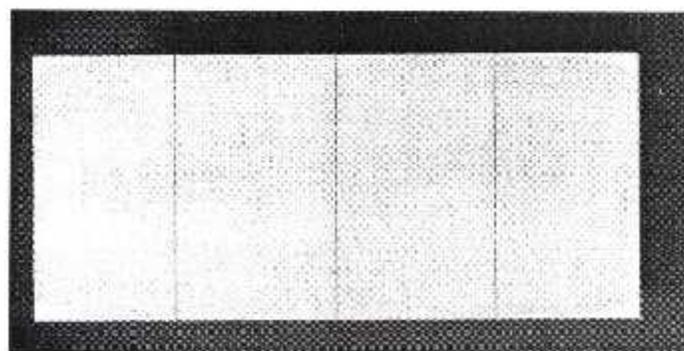


Figure 2 : Pièce 5.1

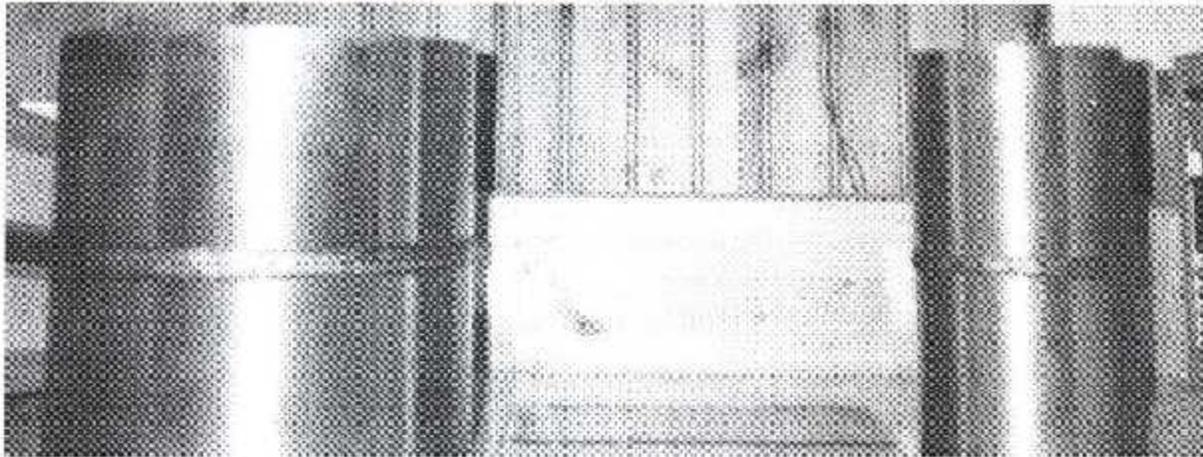


Figure 3 : Pièces 6, 7.1, 7.2

### **3- APPLICATION DU PHASEC2200 :**

#### **3.1- La mesure d'épaisseur (figure 4):**

Pour la mesure d'un revêtement, ou d'une couche d'isolant sur l'aluminium ou autre nous avons suivie la procédure ci dessus :

#### *Equipement requis :*

- Phasec2200
- Sonde absolue (fabriquer au CSC).
- Bloc de teste en aluminium.
- Des feuilles de plastic de différentes épaisseurs .

#### *Réglage initial :*

- Mode : absolue XY.
- Fréquence : 80 kHz.
- Gain : 30dB.
- Position verticale: - 40.

#### *Procédure:*

- a.** Faire le réglage demandé, mettre la sonde sur le bloc d'aluminium, puis balancer l'instrument en utilisant une longue pression pour caractériser la sonde.
- b.** Quand la sonde est enlevé, changer la phase de telle manière à avoir le signal de lift-off verticale.
- c.** Mettre la sonde sur le bloc et ajuster le gain jusqu'à avoir le signal qui touche le haut de l'écran.
- d.** Prendre la mesure à chaque fois que vous ajoutés une feuille de plastic pour simuler les différentes épaisseurs et en déplaçant le spot horizontalement de 1 division .

Résultats :

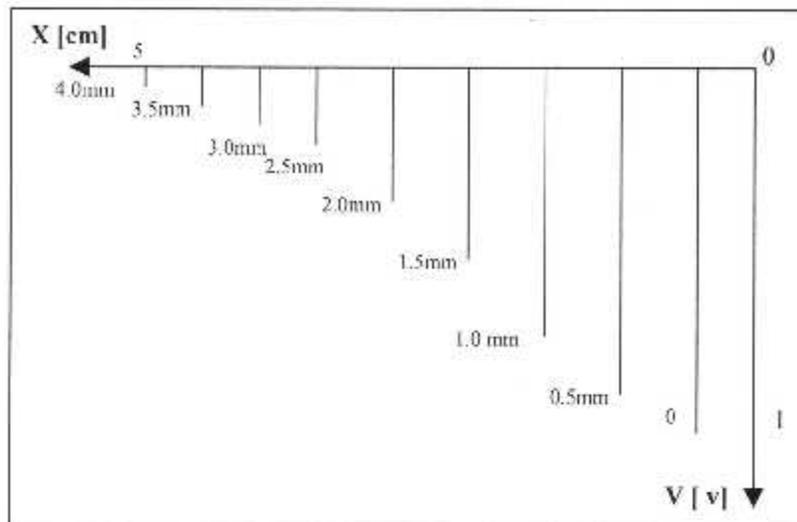


Figure 4 : La mesure d'épaisseur par le Phasec2200

En remarque que pour chaque changement d'épaisseur d'isolant, il y a une variation d'amplitude du signal obtenu, cette variation d'amplitude ne suit pas une courbe linéaire.

Dans le cas de la mesure d'épaisseur de couche d'isolant sur des matériaux conducteur, il n'y a pas de variation de phase. Les signaux obtenus sont parallèles entre eux ce qui facilite l'interprétation des résultats.

### 3.2- Trie des matériaux (figure 5) :

*Equipement requis :*

Phasec 2200.

Sonde absolue.

Echantillons de matériaux (cuivre, aluminium, bronze, acier E24, XL48, ferrite).

*Réglage initial :*

Mode : absolue XY

Fréquence : 60khz.

Gain : 20dB.

Position horizontale :-30

*Procédure :*

- Faite le réglage demandé, et balancer l'instrument la sonde en l'air en utilisant une longue pression pour l'identification de la sonde.
- Placer la sonde sur l'échantillon de ferrite, et faire tourner la phase de telle manière à avoir le signal sur la gauche.
- Placer la sonde sur les différents métaux, et observer les réponses et leur différence de phase et d'amplitude.

*Résultat :*

Dans le cas du trie, en remarque que pour chaque matériau on obtiens une courbe différente dans l'amplitude et dans la phase. C'est ces deux paramètres qui nous permettent de différencier les matériaux.

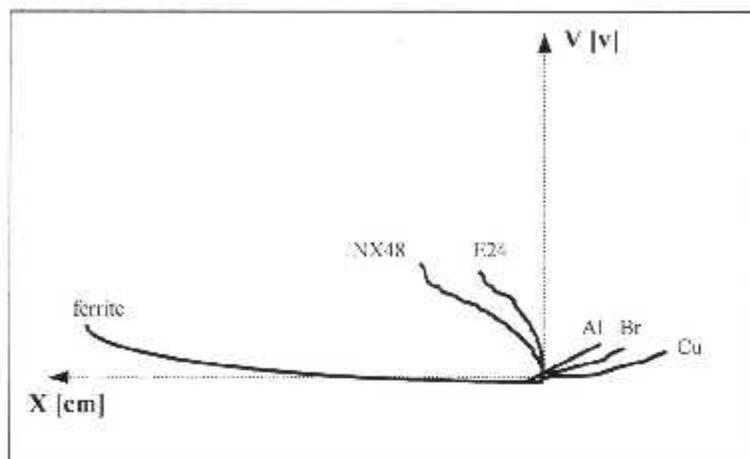


Figure 5 : Le trie des matériaux par le Phasec 2200

### 3.3- Inspection des soudures des métaux ferreux :

#### *Équipement requis :*

- Phasec 2200
- Sonde d'inspection des soudures 800P01.
- Pièces de référence étalonné : 6, 7.1, 7.2.

#### *Réglage initial :*

- Mode : différentiel. XY
- Fréquence : 100khz.
- Gain : 50dB.
- X:Y 10dB.

#### *Procédure :*

- a) Faire le réglage demandé.
- b) Scanner la pièce et ajuster le gain et la phase comme il est nécessaire.

#### *Résultat :*

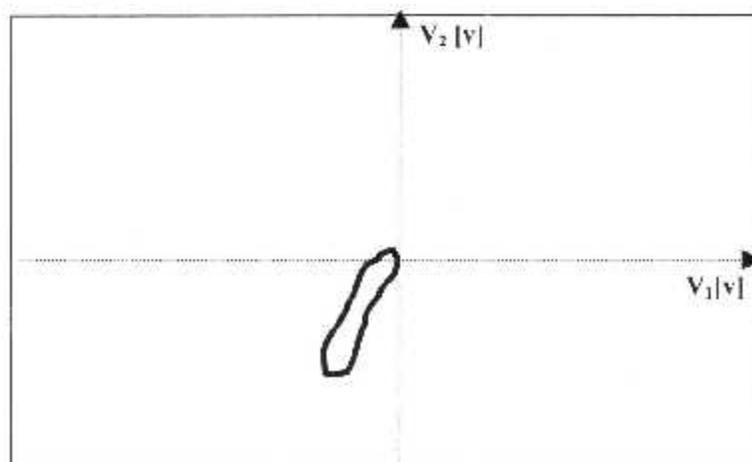


Figure 6 : Inspection des soudures sur des pièces en acier par le Phasec 2200

On remarque un signal qui correspond une fissure de 13 mm, obtenu par le Phasec 2200 sur un échantillon ferromagnétique. La forme du signal (amplitude et phase) nous permet d'identifier le défaut.

### 3.4- Détection des fissures :

Équipement requis :

Phasec 2200

Sonde : différentiel 800P08

Pièce de référence à défauts étalons 5, pièce 1.1.

Réglage initial :

Mode : différentiel YT.

Fréquence : 80kHz.

Gain : 50dB.

Procédure :

(a) Faire le réglage demandé.

(b) Faire glisser la sonde en longueur sur la pièce.

(c) Ajuster le gain pour que le signal dû à la fissure de 1 mm, atteigne une division de l'écran.

Résultat :

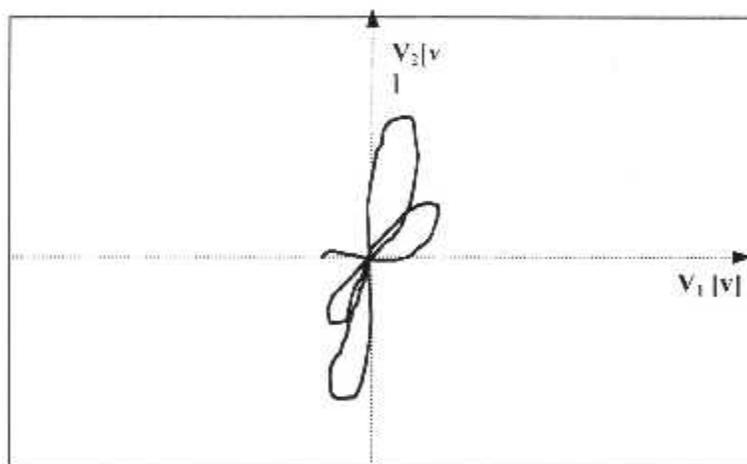


Figure 7 : La détection des fissures par le Phasec2200

La figure 6 et 7 représente des fissures obtenues par une sonde différentielle du Phasec 2200. On remarque que l'allure des courbes, la différence d'amplitude et de phase nous renseigne sur la grandeur et la nature du défaut.

### 4- Les diagrammes d'impédances :

On remarque une différence nette dans l'allure des diagrammes (figure 4-1) faites pour les quatre pièces en trois alliages d'aluminium: la pièce 5, la pièce 1, la pièce 4.1 et la pièce 4.2. La différence observée entre les deux pièces du même alliage justifie leur rebut, et indique une variation dans la structure entre les deux pièces.

Selon les diagrammes d'impédance observés dans la figure 4.2, on distingue une variation due aux différentes conductivités des matériaux.

Pour les matériaux ferromagnétiques on distingue une nette amplification des diagrammes due à l'importance de la perméabilité.

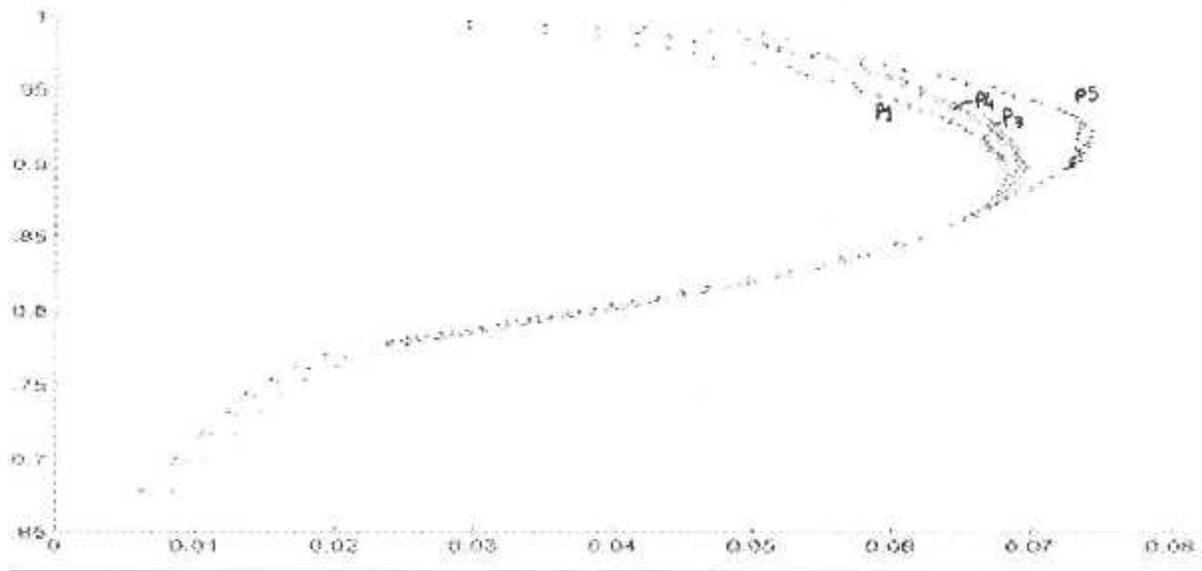


Figure 4.1 :diagramme d'impédance de trois alliages d'aluminium.

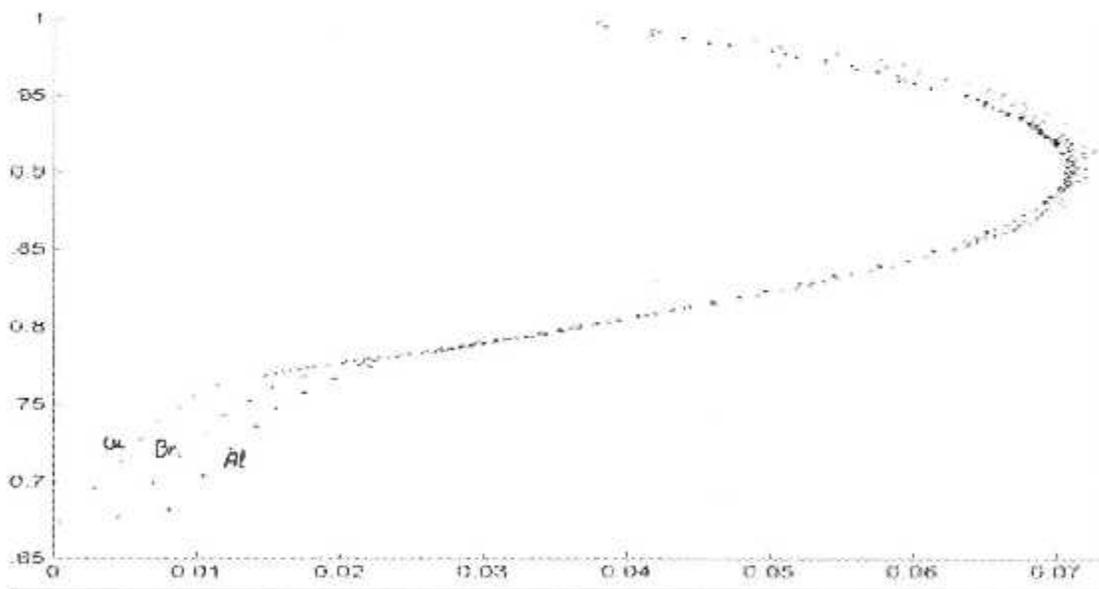


Figure 4.2 :diagramme d'impédance du bronze, cuivre, aluminium.

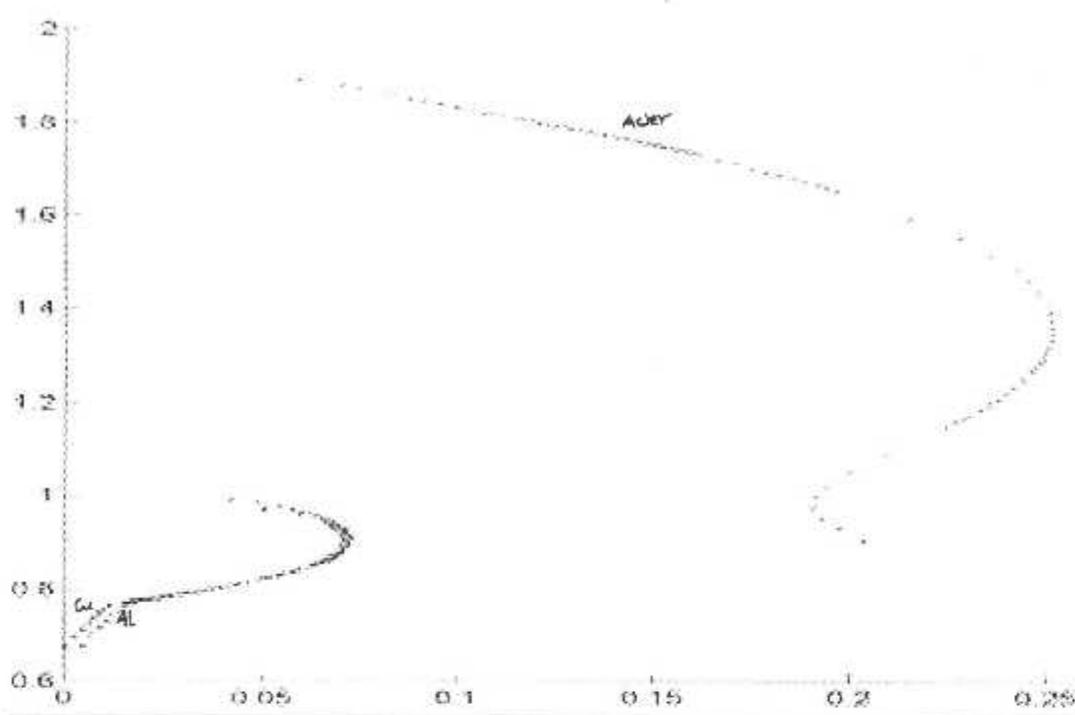
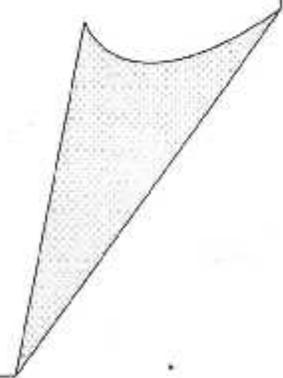


Figure 4.3 : diagramme d'impédance de l'acier, cuivre, aluminium..

# Chapitre 5



## INSPECTION PAR CF EN AERONAUTIQUE

### 1- EXEMPLES D'INSPECTION PAR CF :

L'équipement de contrôle par cf consiste à :

- Appareil à courant de Foucault adéquat.
- Une sonde de cf approprié au teste à faire.
- Une pièce de référence standard approprié au teste à faire.

#### 1.1- Inspection d'une surface fissurée :

a) le système de test suivant est pour la détection des criques de fatigue (figure 1) :

- équipement de test : Appareil à cf.
- sonde de cf : Une sonde absolue, le choix de celle ci dépend du matériau à tester. pour des application spécial des sondes blindées sont utiliser et ce là pour compenser l'effet des matériaux adjacent (rivets, boulon, etc.).
- pièce de référence : Pièce standard comme celle de la figure 1 (chapitre 1, para 3) avec les mêmes propriété que celle de la structure à inspecte.

#### 1.2- Inspection pour la détection des fissures internes :

a) L'équipement suivant est utilisé pour l'inspection des criques internes et de sub-surface :

- Equipement de test : Equipement de cf.
- Sonde de cf : Une sonde différentielle ou absolue, les deux type sont applicable.
- Pièce de référence : une pièce standard adéquat à la physionomie de la structure à tester. Elle doit avoir des rainures dans la surface ou en s'attend à trouver des criques, leur largeur ne doit pas dépasser 0.2mm.

b) La figure 2 montre une inspection typique des crique dans des structures interne. Cet exemple est la seconde couche du joint du revêtement du fuselage.

#### 1.3- Inspection pour la détection des fissures dans des trous :

a) Pour l'inspection des trous pour des criques qui commence en dors de la surface de l'alésage, l'équipement suivant est recommandé :

- Equipement de test : Appareil à cf, destiner pour le contrôle dynamique par cf, avec un système de marche synchronisée pour la sonde.
- Sonde de cf : La sonde rotative différentielle spécial, son diamètre doit être de 1mm plus petit que le diamètre du trou à inspecter.
- La pièce de référence : Pièce standard de la figure 3 (chap 1, para 3).

b) Les trous peuvent être inspecter par cette méthode à condition que les fixation (rivets, boulon, etc....) soit déjà enlever. La figure 3 montre un exemple pour une inspection des trous on utilisant un système de test à sonde rotative dynamique.

#### 1.4- inspection et évaluation de la corrosion :

a) Ces équipement est recommandé pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion dans les surfaces internes des tôles de métal.

- Equipement de test : Appareil à cf.
- Sonde : une sonde absolue spécial adapté au test à faire.
- La pièce de calibrage : pièce de calibrage pour l'inspection et l'évaluation de la corrosion de la figure 4 (chap 1, para 3).

b) La figure 4 montre le méthode basic pour l'évaluation de la corrosion.

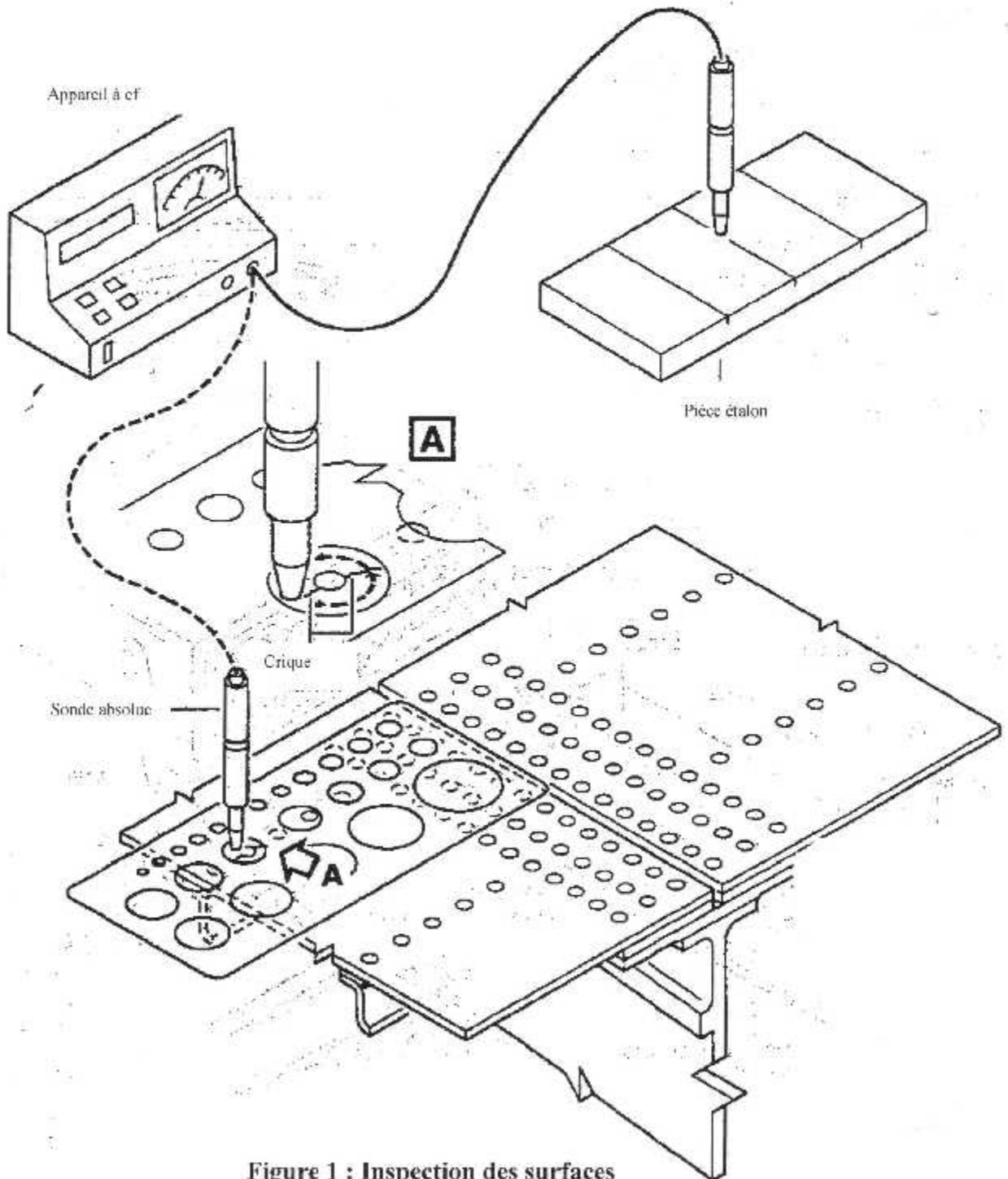


Figure 1 : Inspection des surfaces fissurées

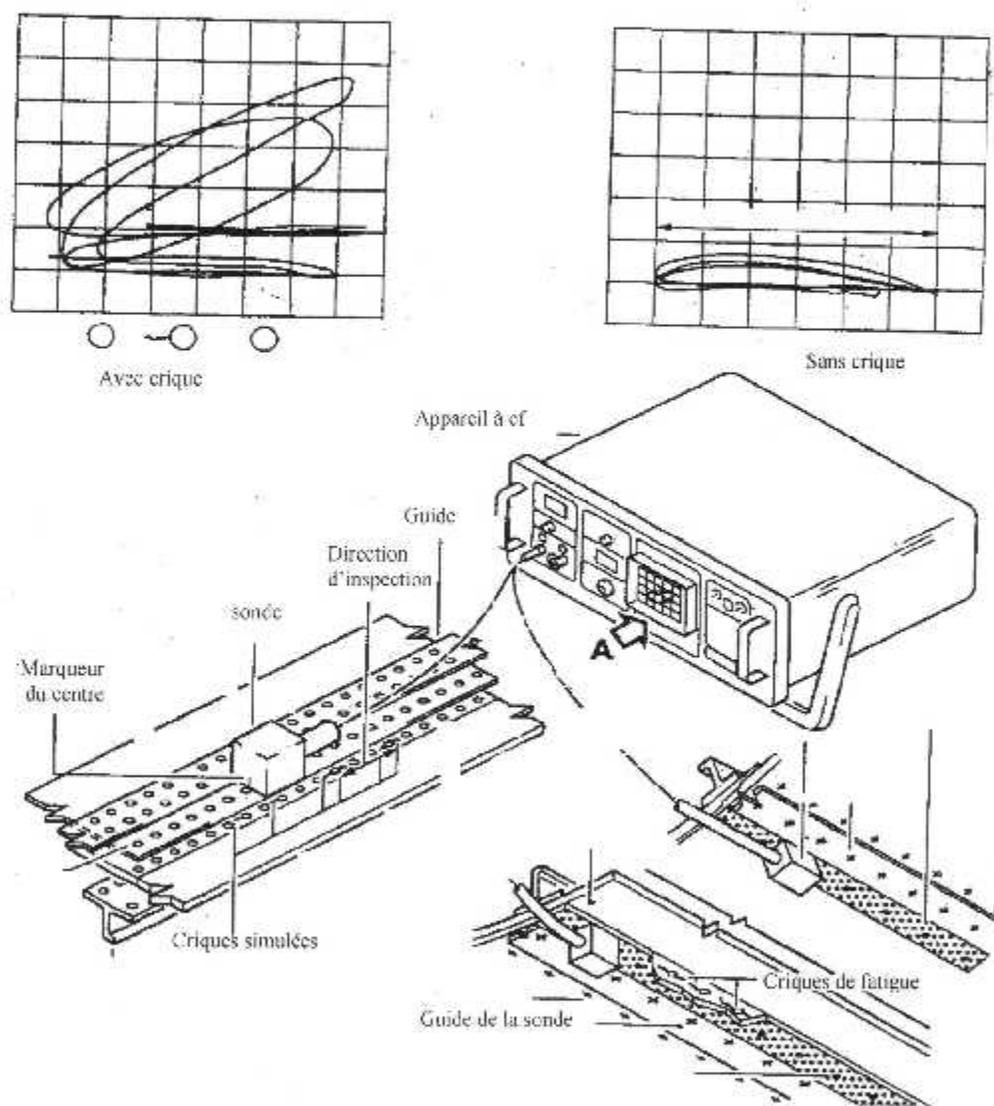
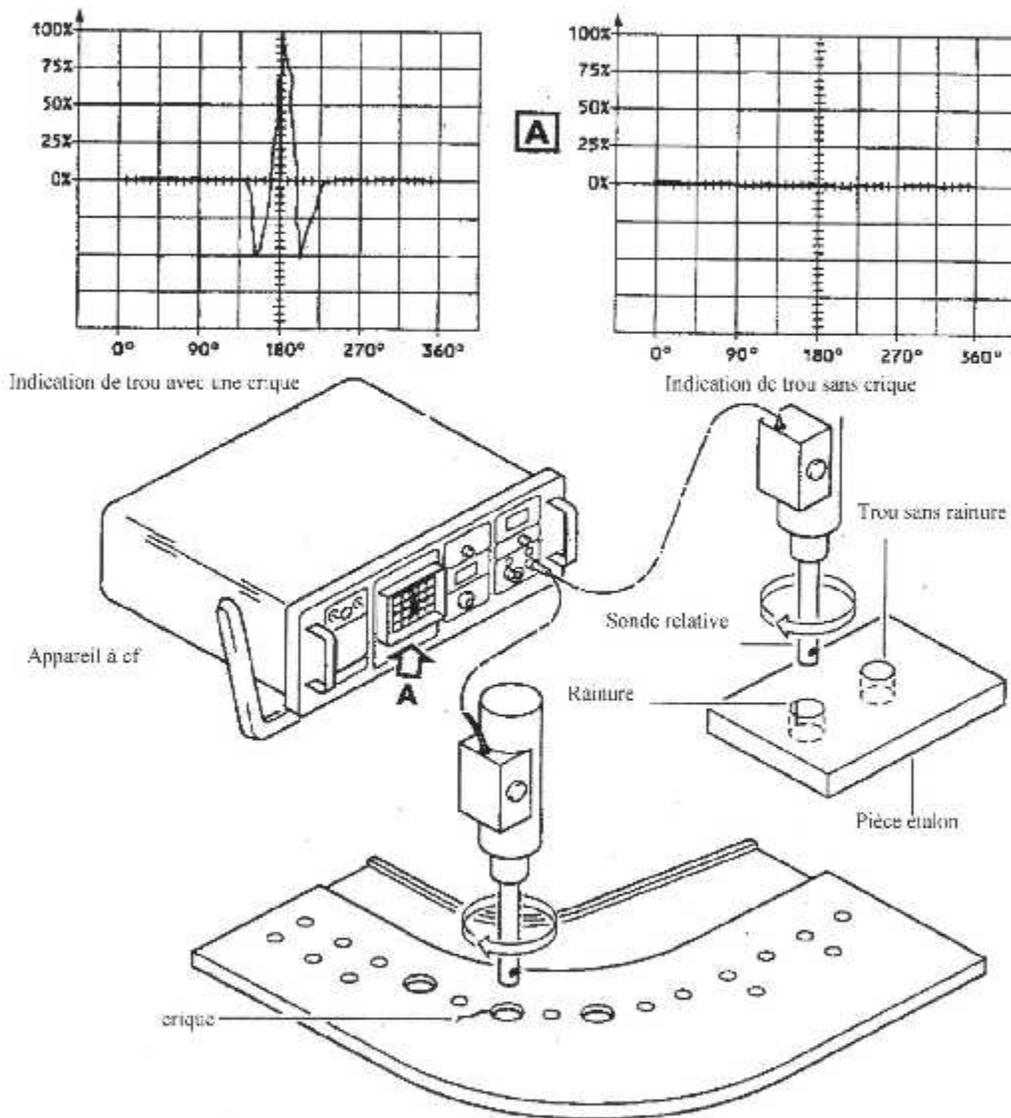


Figure 2 : Inspection des surfaces internes fissurées



**Figure 3 : Inspection pour la détection des fissures dans des trous.**

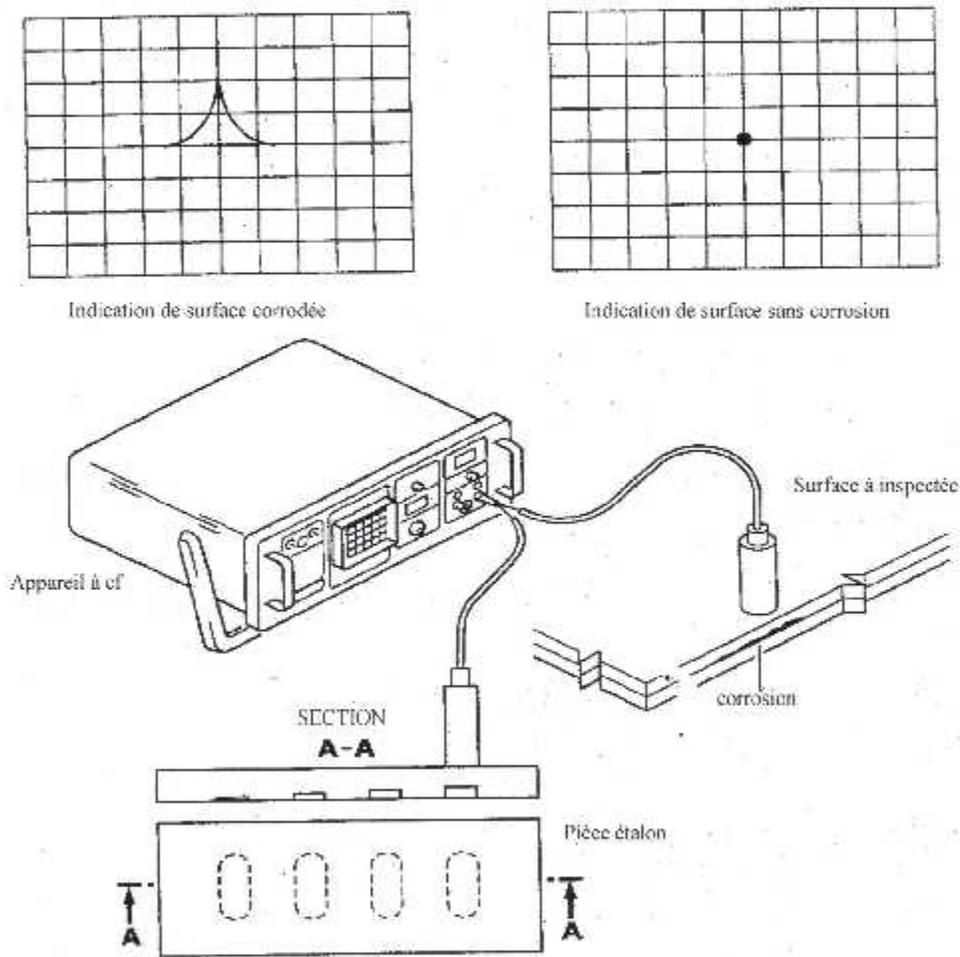


Figure 4 : Inspection pour la détection de la corrosion

**2- EXEMPLE D'UNE PROCEDURE DE CONTROLE :****RECHERCHE DE CRIQUES AU NIVEAU DE LA CLOISON  
ETANCHE ARRIERE AIRBUS A300****2.1- Description de la zone à inspecter (figure 5) :**

- a. Cette procédure s'applique à l'inspection des angles d'attache interne et externe du fond arrière pressurisé entre les raidisseurs 1 et 26 Gauche/Droit du tronçon 19. Ces angles constituent la jonction entre le cadre 80 et le fond arrière pressurisé.

**2.2- Description des dommages possibles (figure 6) :**

- b. Criques de fatigue dans l'angle d'attache interne. Ces criques partent généralement du raccord.
- c. En cas d'une grande crique à l'angle d'attache interne, il est possible d'avoir une crique à l'angle externe.

**2.3- Document liés :**

- a. Non Destructif Testing Manuel. Part 1. Chapitre 51-30-00. Eddy current Testing-General.
- b. Service bulletin A300-53-218 pour l'inspection.
- c. Aircraft Maintenance Manuel, chapitre 53-53-12 page block 401, Dorsal-Fin removal-installation .

**2.4- Matériel et équipement nécessaire (figure 7) :**

les matériel et équipement utilisés pour le développement de cette procédure ont été les suivants :

- a. Appareil à courants de Foucault :ELOSTEST B de ROHMANN.
- b. Les capteurs :Sonde différentielle MBB 69-3.
- c. Bloc étalon :N° PN 99A53107263000 (voir figure 3).
- d. Guide de sonde :Règle de longueur 500 mm, largeur 40 mm, épaisseur 2 mm, en matériau non conducteur.
- e. Matériel accessoire :Bonde adhésive double face.

**Note :**

Tout équipement équivalent peut être utilisé à condition qu'il satisfasse les exigence de la procédure et qu'il soit capable de détecter les défauts étalon au niveau requis de résolution.

**2.5- Préparation avant inspection :**

- a. vérifier que les démontages nécessaires ont été effectués. Eventuellement, se référer au document AMM 5353-12, page block 401.
- b. S'assurer que les surfaces à contrôler sont propres.
- c. Déterminer la position des raidisseurs du tronçon 19.
- d. Marquer la position des raidisseurs sur la peau externe dans la zone à contrôler.
- e. Effectuer un examen visuel dans cette zone ( peinture endommagée, traces de corrosion...).
- f. Reporter les observation visuelles sur la feuille du rapport d'inspection.

**6- Phase de calibration (figure 8 et 9) :**

La calibration doit s'effectuer sur l'étalon PN 99A5310763000 ( figure 3).

- a. Placer le guide comme décrit en figure 4.
- b. Régler l'appareil comme suite :
 

Type :	Elotest B2
Fréquence	270 Hz
BP filtre	LF
Préampl.	40 dB
Filtre passe bas	10 Hz
Filtre passe Haut	OFF
Sensibilité XY	25 dB environ.
- c. Placer la sonde sur une zone saine de l'étalon.
- d. Régler le zéro et le lift-off.
- e. Placer la sonde face aux traits de scie de l'étalon.
- f. On doit obtenir les indications suivantes :
  - Début du trait de scie : Signal positif.
  - Fin du trait de scie : Signal négatif.
- g. Sinon ajuster la phase.
- h. On doit obtenir les amplitudes suivantes (figure 5) :
  - Fente 15 mm : +/- 3 division.
  - Fente 20 mm : +/- 4 division.
- i. Si ces valeurs ne sont pas obtenues à +/- div., ajuster la sensibilité XY.

**2.7- Mode opératoire ( figure 10 et 11) :**

- a. Réduire la sensibilité XY de 3 dB entre les raidisseurs 1 et 21 G/D.
- b. Placer le guide de sonde comme indiqué pour l'étalon (figure 4)  
ATTENTION : Une mauvaise position du guide donne des résultats erronés.
- c. Placer la sonde le long du guide sur la structure.
- d. Effectuer la compensation automatique.
- e. Déplacer la sonde le long du guide dans la zone d'inspection.  
ATTENTION : Veiller à maintenir la sonde sur la tôle pendant le balayage.  
L'effet de lift-off donne des résultats erronés.

La figure 6 donne des exemples de résultats typiques obtenus sur la structure :

Le cas A représente le signal observé en l'absence de crique.

Le cas B représente le signal observé en cas d'une crique de 16 mm.

Le cas C correspond au signal de début de crique observé dans le cas d'une crique très longue.

Le cas D correspond au signal de fin de crique observé dans le cas d'une crique très longue.

- f. Prendre en compte les indications dépassant +/- 2 div.
- g. Déterminer la longueur des criques comme indiqué en figure 7. Marquer les positions A et B sur la structure. La distance entre les marques correspond à la longueur de la crique.

**2.8- Critères d'acceptation :**

- a. Reporter les longueurs de criques déterminées, les amplitudes de signaux observés ( valeur positive et négative) sur la feuille de résultat.
- b. Effectuer des radiographies dans les zones présentant des indications supérieures à +/- 2 div., suivant 53-19-11.
- c. Les critères d'acceptation sont donnés dans ce dernier document.

## Exemple d'une procédure de contrôle

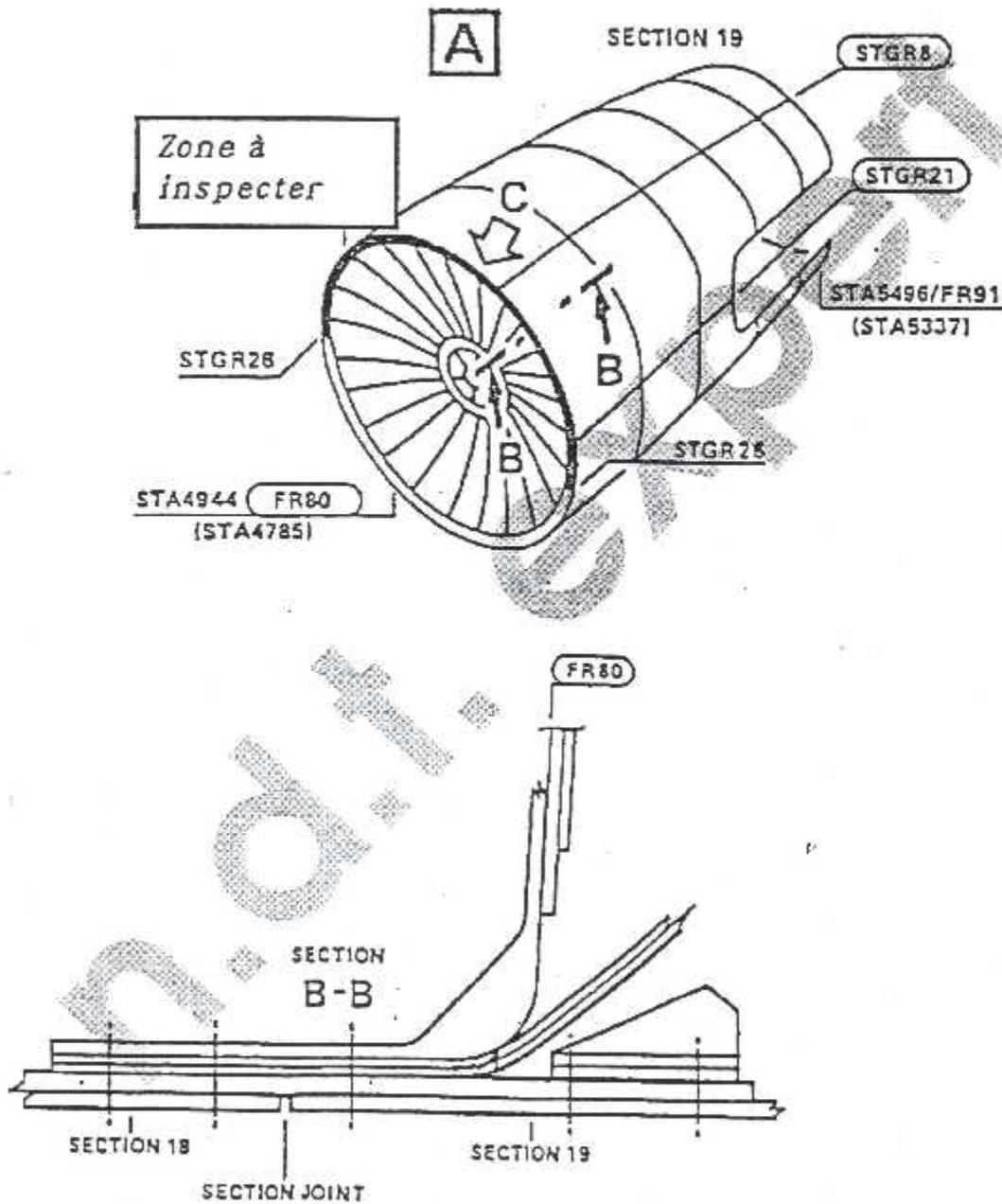


FIGURE 5: ZONE A INSPECTER

## Exemple d'une procédure de contrôle

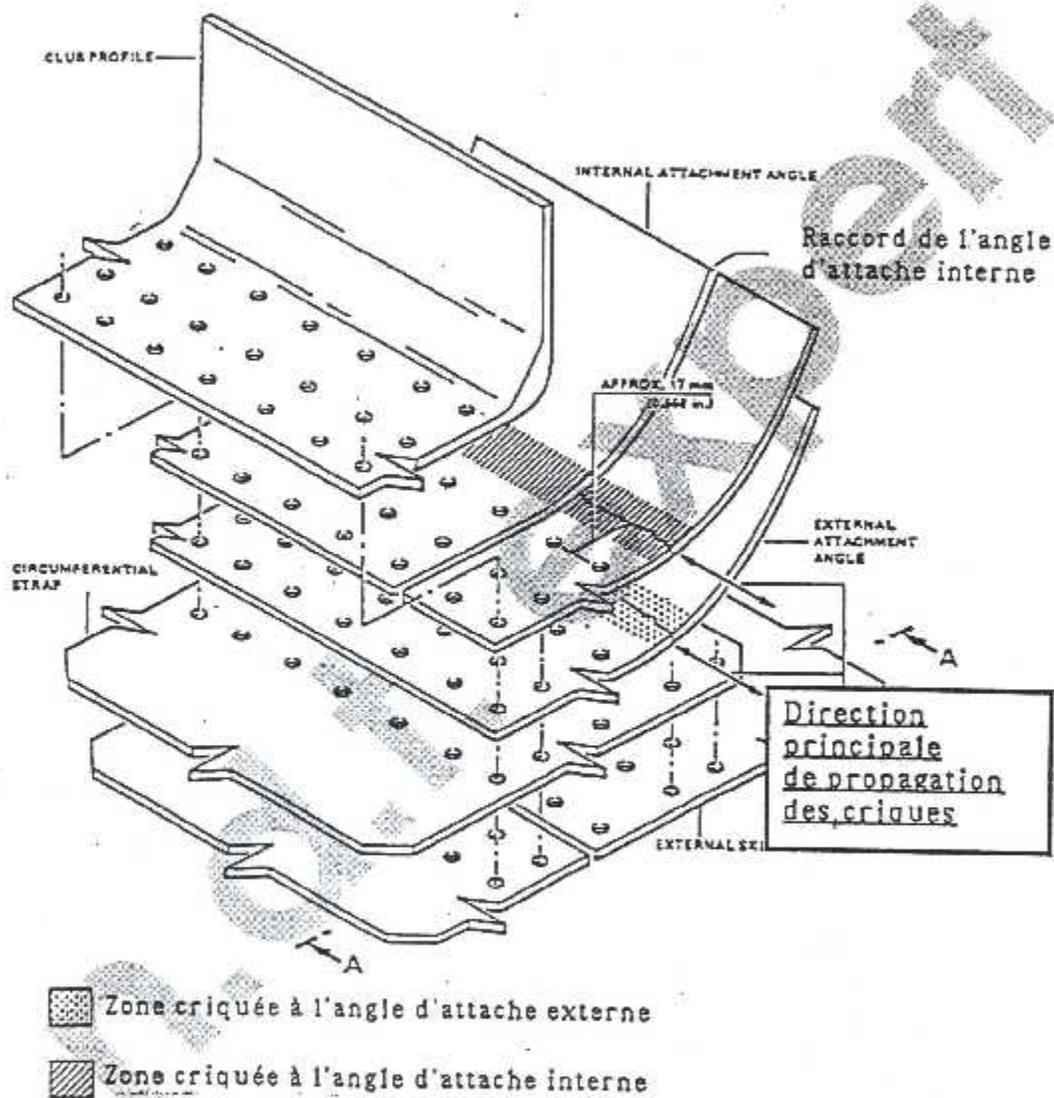


FIGURE 6: DESCRIPTION DES DOMMAGES POSSIBLES

## Exemple d'une procédure de contrôle

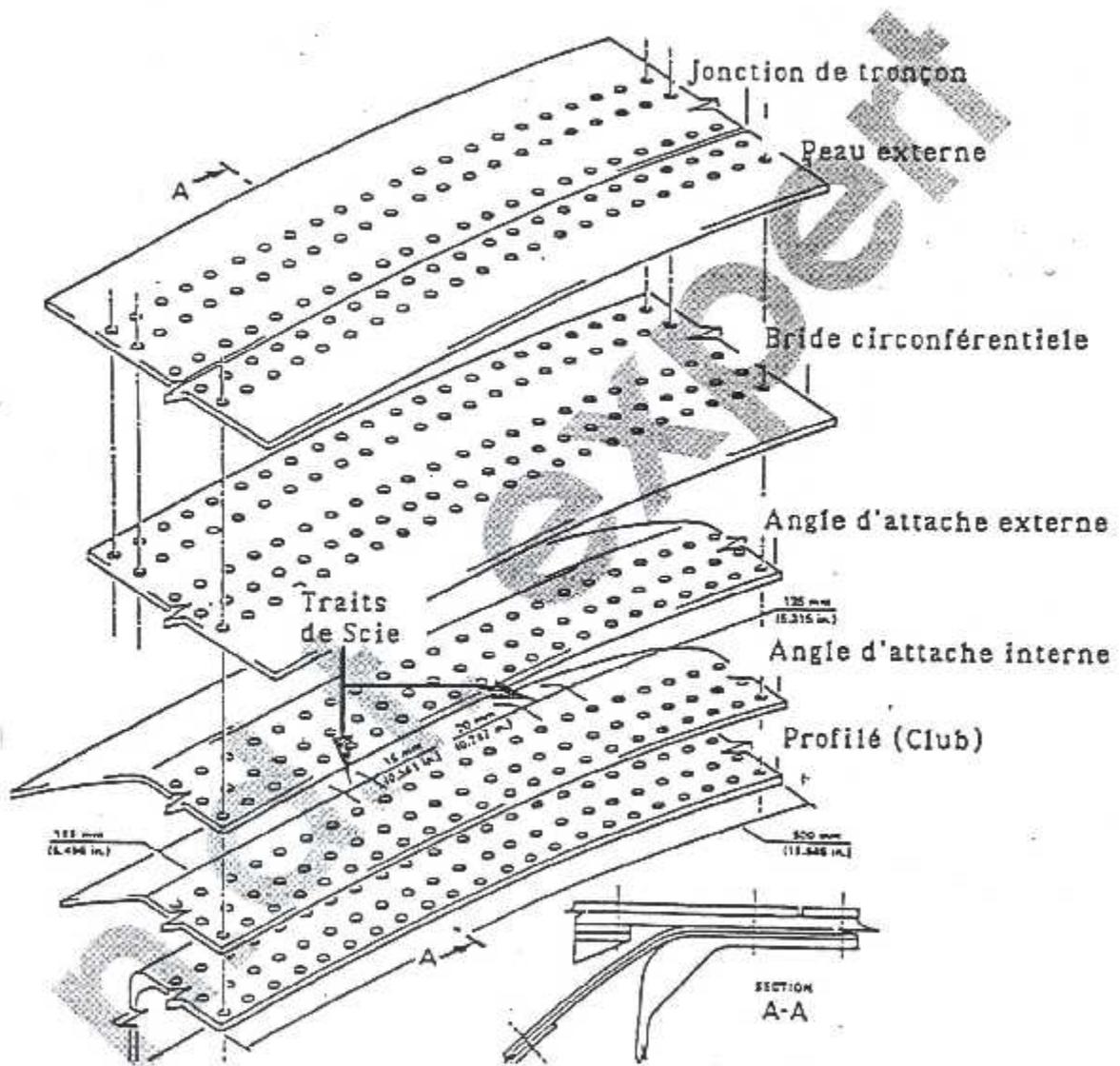


FIGURE 7: DESCRIPTION DE L'ETALON

## Exemple d'une proceature de controle

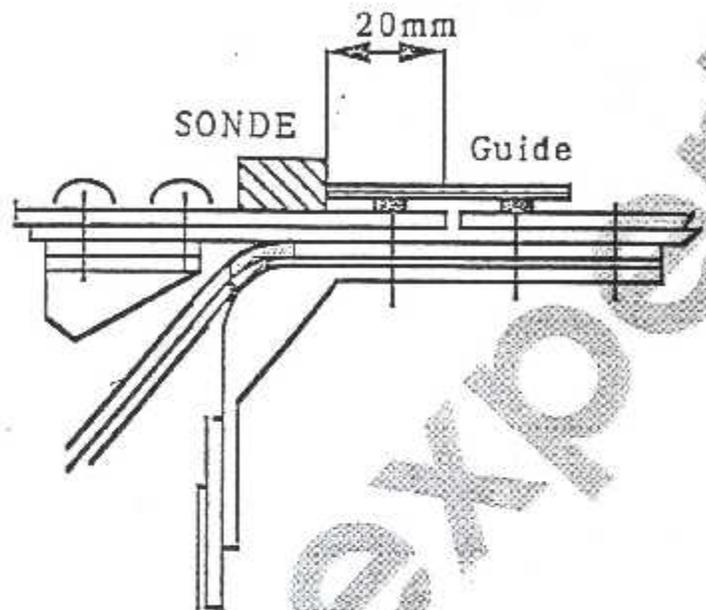


FIGURE 8: PHASE DE CALIBRATION

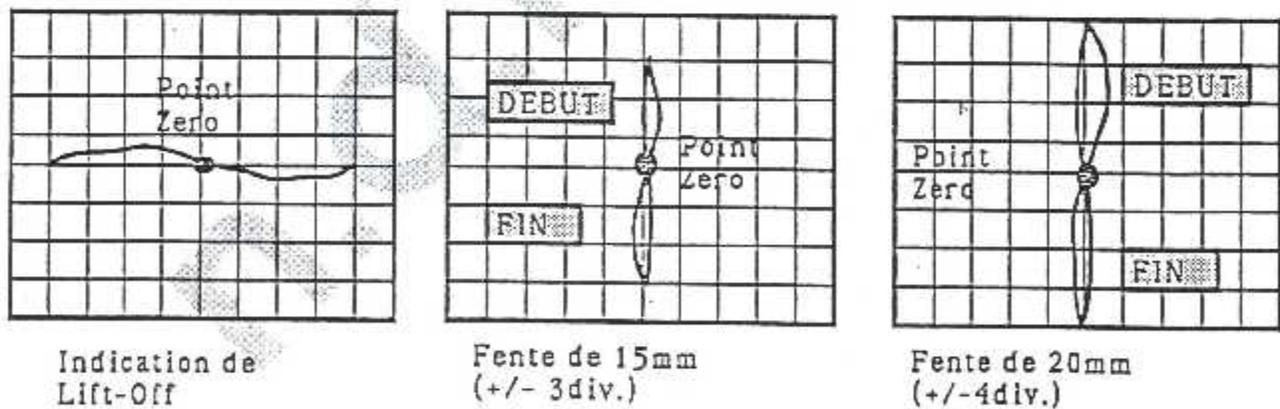


FIGURE 9: SIGNAUX OBSERVES LORS DE L'ETALONNAGE

## Exemple d'une procédure de contrôle

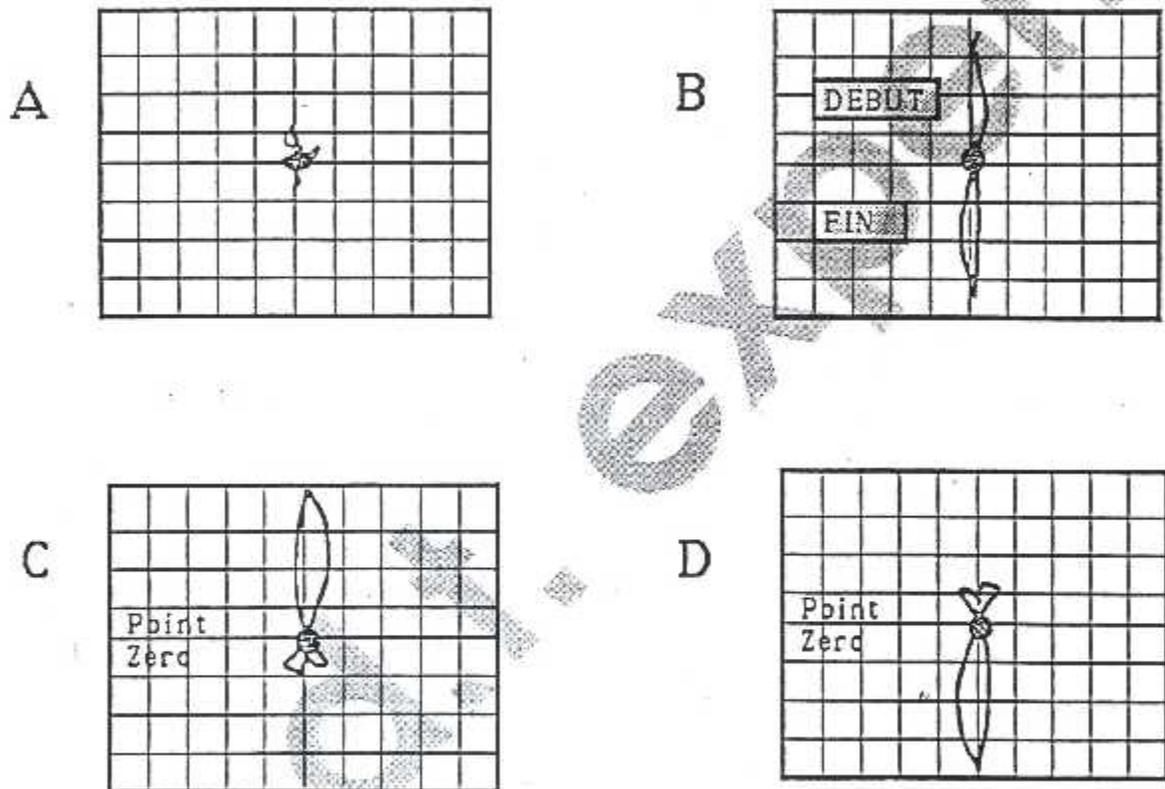


FIGURE 19: INDICATIONS TYPIQUES DE DEFAUTS

## Exemple d'une procédure de contrôle

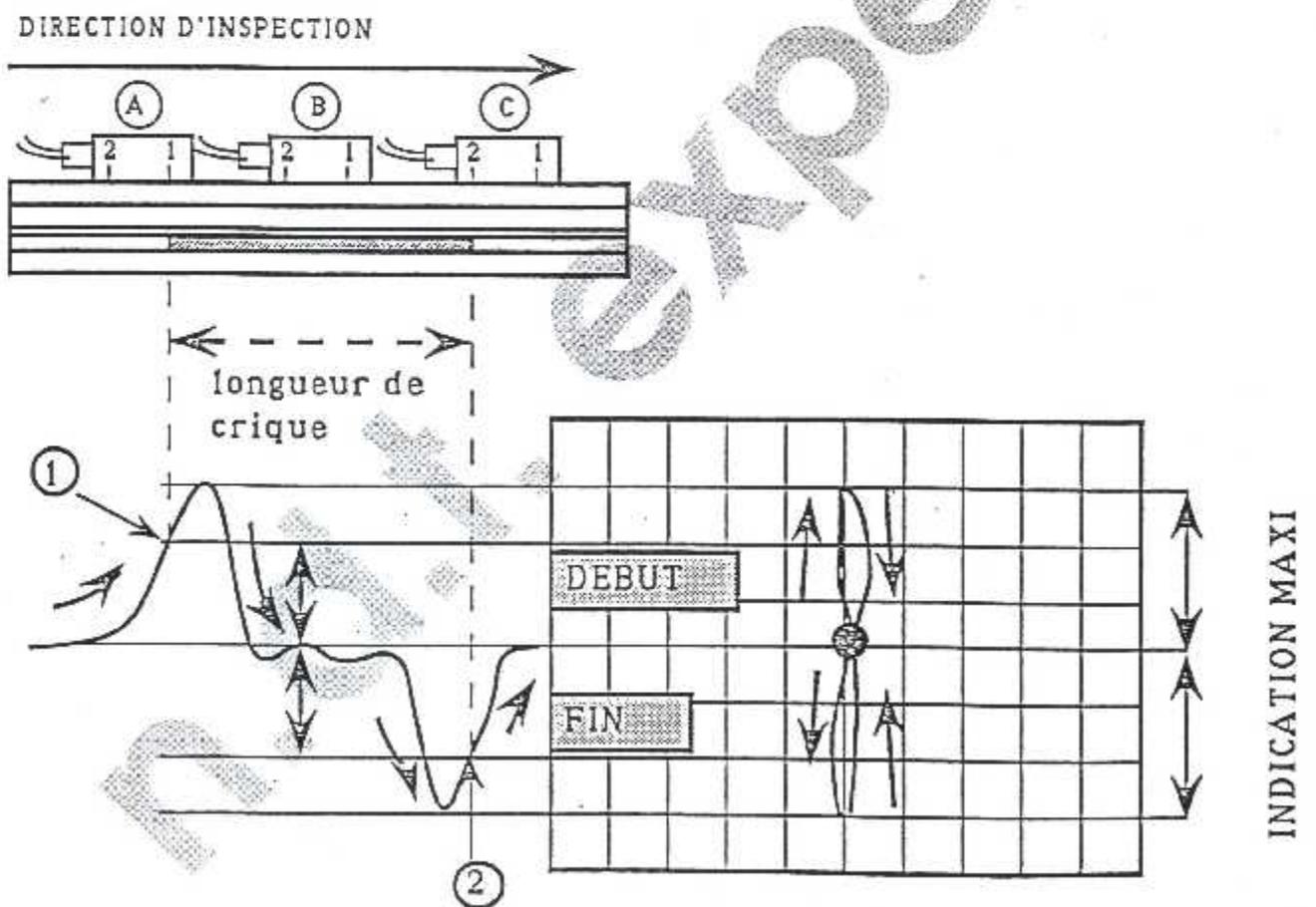


FIGURE 10: DETERMINATION DE LA DIMENSION DES CRIQUES

### **3- INSPECTION DES ATTACHES DE LA PORTE CARGO**

#### **3.1-Description des dommages possibles :**

Des criques de fatigue de longueur  $\geq 2\text{mm}$  .

#### **3.2-Equipement d'inspection :**

L'équipement utilisé pour cette inspection est le suivant :

Appareil : DEFECTOMATRE H2-835 de l'INSTITUT DU DR.FOERSTER

Sonde : 2-835-74-6901, 2 MHz, de l'INSTITUT DU DR.FOERSTER (figure 12).

Câble : 2-835-74-9902, de l'INSTITUT DU DR.FOERSTER .

Pièce étalon : 2-164-551, (Al) de l'INSTITUT DU DR.FOERSTER

#### **3.3Les étapes de préparation pour l'inspection :**

- a. S'assurer que le compartiment AFT de la porte cargo est ouverte.
- b. S'assurer que la protection de la porte est enlever.
- c. S'assurer que l'étanchéité sur la surface à inspecter est enlever(figure 13). Et qu'elle soit propre est lisse.

Note : enlever toute les jets de peinture de la surface à inspecter.

- d. Chercher les dommage est les discontinuité sur la surface visuellement.
- e. Si la surface est peinte suivre les indication du paragraphe 3.
- f. Mesurer l'épaisseur de la couche de peinture sur la surface à inspecter.

Note :

Si l'épaisseur de la peinture est  $\geq 350 \mu\text{m}$  l'inspection ne peut pas se faire.

L'épaisseur de la peinture doit être réduis à moins de  $350 \mu\text{m}$ .

#### **3.4-Instrument de calibrage:**

- a. Sélectionner le mode adéquat (fréquence 2MHz).
- b. Utiliser la pièce étalon standards 2-164-551 pour calibrer l'instrument sur le lift-off et le zéro, en accords avec les exigences industriel.
- c. Réglage de la sensibilité :
 

Pour les surface peintes :

  1. Placer la feuille de plastique, correspondante à l'épaisseur de la peinture( $\pm 30\mu\text{m}$ ) sur la surface de la pièce de référence.
  2. Positionner la sonde directement sur la rainure de 0.5mm de la pièce étalon, et ajuster l'appareil de telle manière que signale soit  $90\% \pm 5\%$  de l'écran
- d. Confirmation de la sensibilité :
 

Pour les surfaces peintes :

  1. Placer la feuille de plastique, correspondante à l'épaisseur de la peinture ( $\pm 30 \mu\text{m}$ )sur la surface de la pièce de référence.
  2. Positionner la sonde sur la rainure étalon de 0.2mm,et assurer que le signale est de  $> 30\%$  de l'écran.

Note :pour les surface non peinte les feuille ne sont pas utiliser.

**3.5- Procédure d'inspection :**

- a. Positionner la sonde près de la surface d'inspection sur le point de compensation, puis ajuster le lift-off et le zéro comme il est nécessaire.
- b. Suivre avec la sonde le plan illustré sur la figure 14 pour scanner la surface.

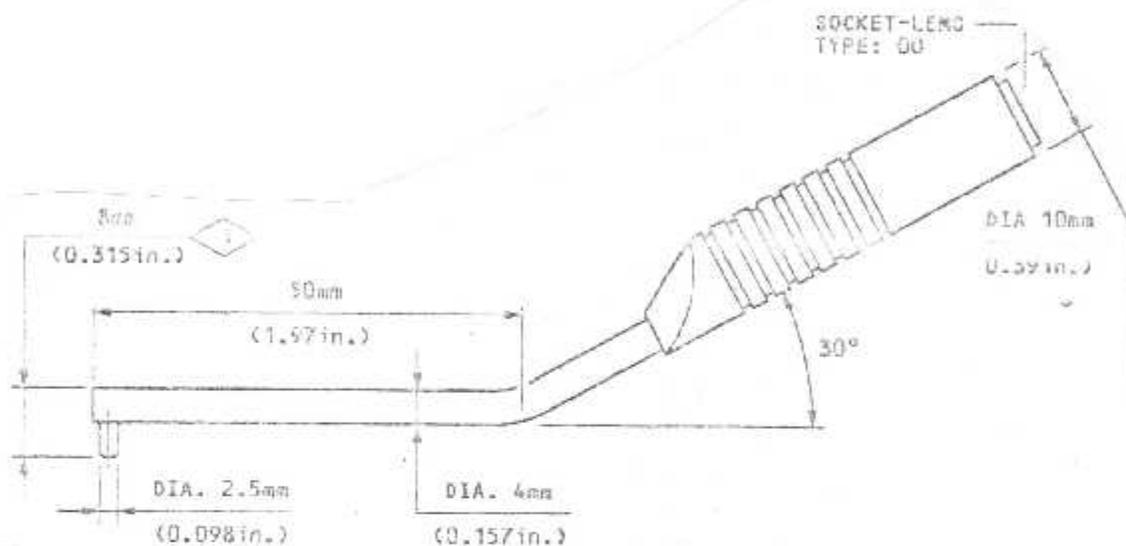
**Note :**

S'assurer que la pointe de la sonde soit toujours dans le bon angle  $\pm 15^\circ$  avec la surface à inspecter

- c. Toutes les indication avec un signal  $\geq 30\%$  doivent être évaluer.
- d. Mesurer la longueur de toutes les indication des crique détectés.

**3.6- les critère d'acceptation :**

- a. Tous les indications avec un signal de  $\geq 30\%$ , doivent être classer comme des criques.
- b. Enregistrer les information suivants :
  - position et direction de la crique.
  - La longueur de la crique.



**NOTE:**

FREQUENCY : RANGE 2 MHZ  
 PROBE CONFIGURATION: ABSOLUTE/SHIELDED

1 DUE TO LIMITED ACCESS ALTERNATIVE PROBES SHOULD NOT  
 HAVE DIMENSION GREATER THAN THOSE SHOWN.

**Figure 12: La sonde 2-835-74-6901**

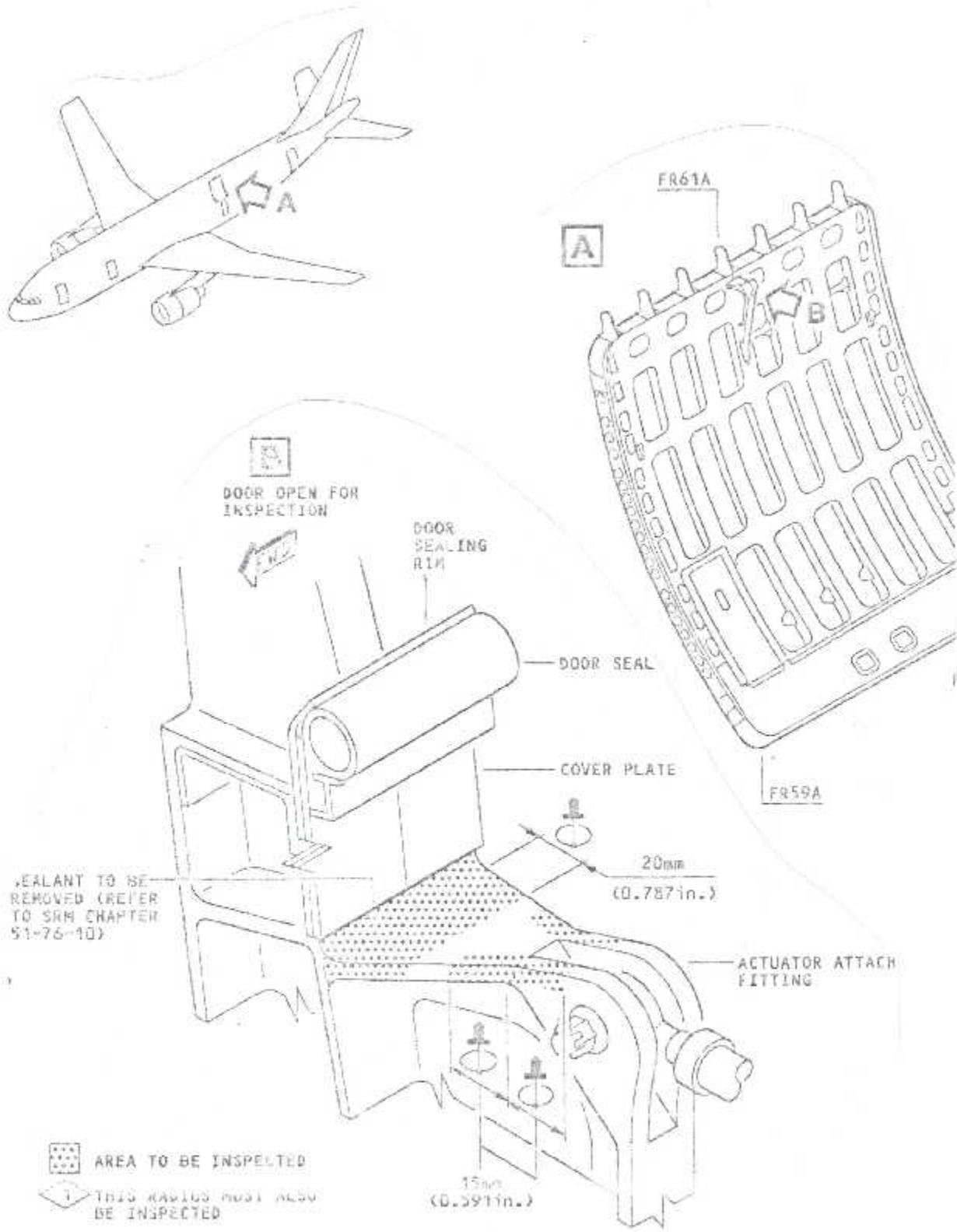
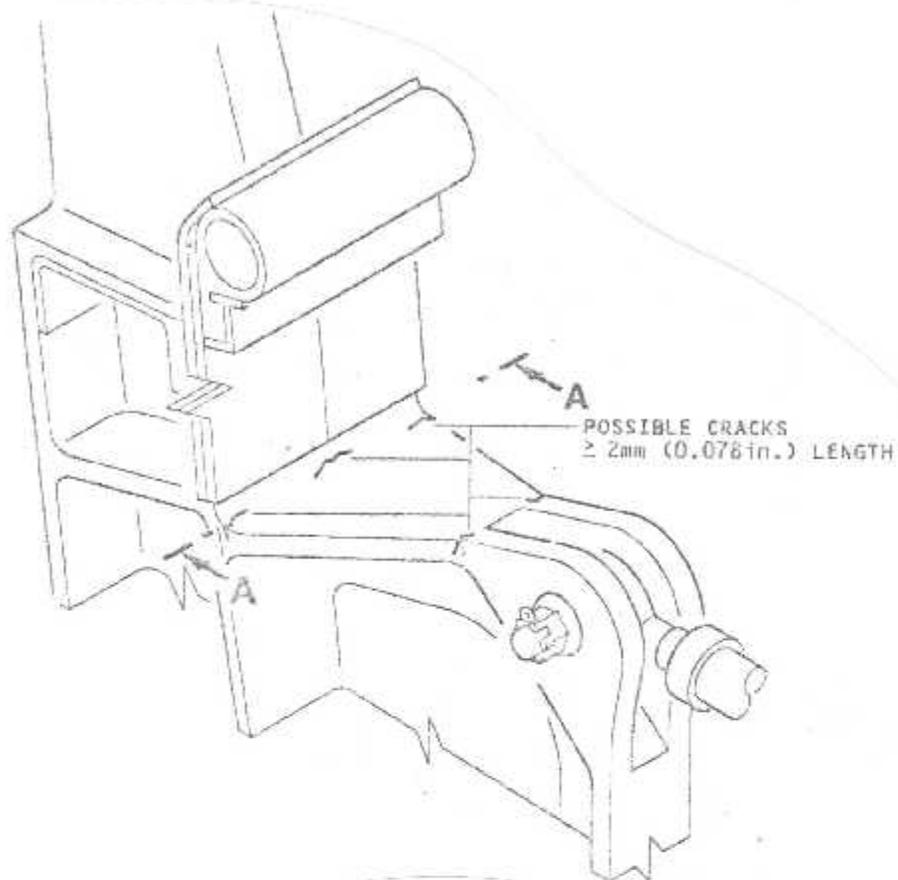
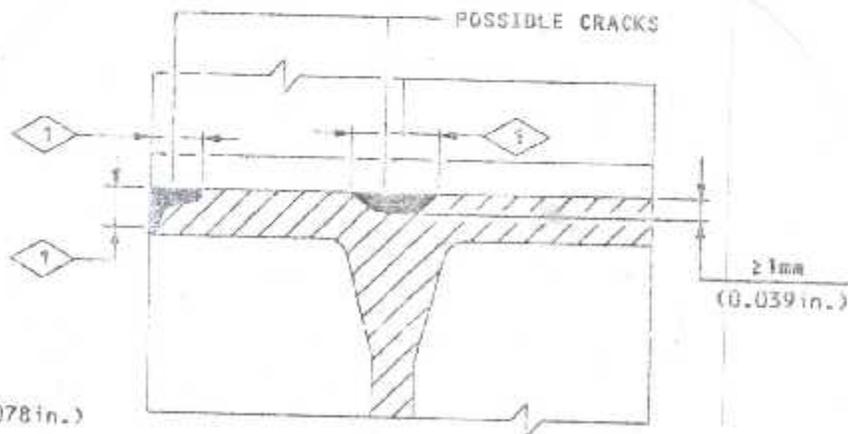


Figure 13: La surface d'inspection

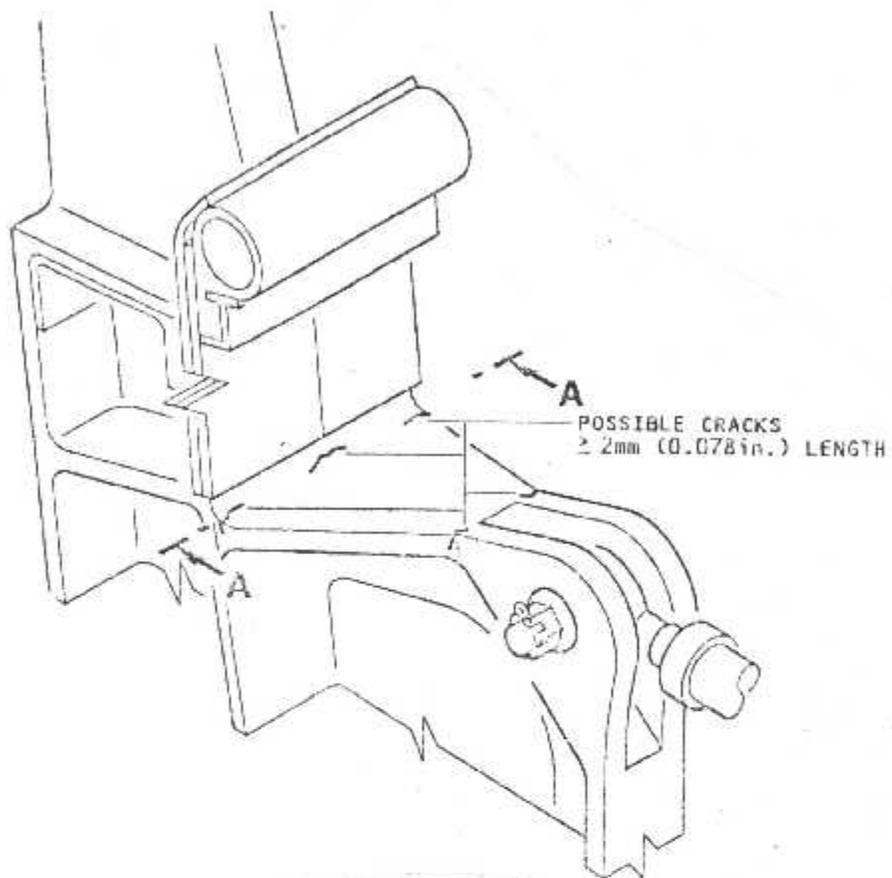


SECTION  
 A-A



1 CRACK LENGTH  $\geq 2\text{mm}$  (0.078 in.)

Figure 14 : Les dommages possible.



SECTION  
 A-A

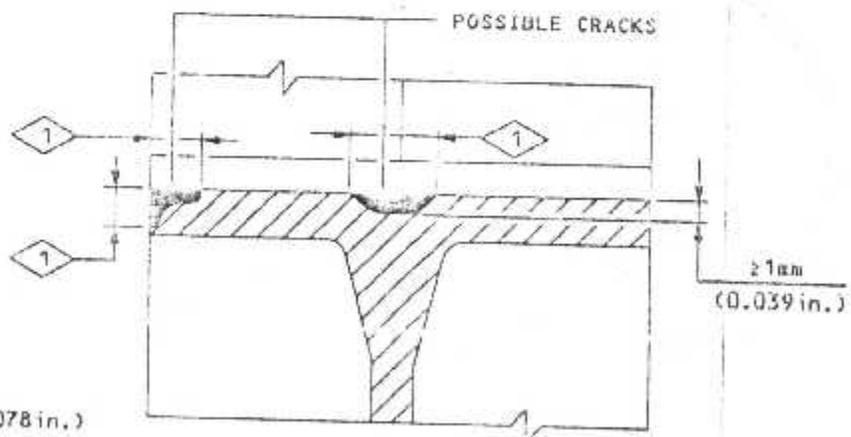
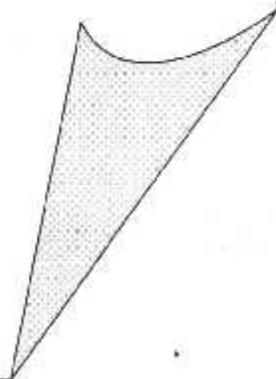


Figure 14 : Les dommages possible.

# Conclusion



## CONCLUSION

Vu l'intérêt de la sécurité et l'entretien des appareils dans le domaine aéronautique le contrôle non destructif occupe une place très importante en particulier le contrôle par courant de Foucault.

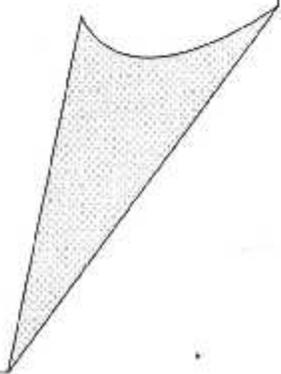
Ce travail et la visite effectuée au niveau de l'atelier de contrôle non destructif de Air Algérie, nous ont permis d'exploiter nos connaissances dans le cas pratique d'une maintenance réelle sur un avion, et de présenter les conclusions suivantes :

- L'optimisation du contrôle par courants de Foucault dans ce domaine par la réalisation de pièces en différents alliages d'aluminium qui présentent des défauts étalons de référence .
- Les pièces fabriquées en AS13, AS22, AS7G, AS10G, présentent beaucoup d'anomalies qui ont été vérifiées par deux techniques à savoir les Cf et la tomographie (rayon x en temps réel) cela s'explique par l'importance du manque de fusion des grains de silicium, de plus les pièces présentent des grandes poches d'air.
- Les défauts réalisés sur les pièces en aluminium ont été détectés et identifiés avec une précision satisfaisante par le procédé de contrôle par courants de Foucault. Néanmoins le manque d'équipement (machine à électroérosion ) ne nous a pas permis de fabriquer des défauts micrométriques très intéressants dans le contrôle.
- Le contrôle par cette technique a permis de vérifier les caractéristiques d'alliages d'aluminium. De plus les défauts réalisés, proche des cas réels, ont été identifiés.

Ce travail effectué au laboratoire d'électronique et d'électrotechnique du centre de recherche C S C nous a permis de :

- Travailler avec une équipe de recherche.
- Perfectionner et appliquer nos connaissances en aéronautique.
- Se familiariser avec les méthodes de contrôle non destructif en particulier par courants de Foucault.

# Annexe



## Phasec 2200 (Hocking)

### **Spécifications :**

<b>Fréquences d'opération</b>	: Mode une seule fréquence : 60Hz – 6MHz Mode double fréquence : 100Hz – 2M. F1/F2
<b>Voie</b>	: Sonde statique : 1 ou 2 voie. Sonde rotative : 1 voie.
<b>Sondes</b>	: Réflexion, différentielle, ou absolue.
<b>Mixage</b>	: manuel ou automatique des deux signales.
<b>Gain</b>	: Ajustement globale : 0-99dB. Amplification générale : 30-80 dB. Amplification initiale : 0, 20 dB. Puissance d'attaque de la sonde : -10dB, 0, 10dB. Le rapport X/Y +/-20dB.
<b>Bruit</b>	: Inférieur à une division ce l'écran au gain maximale.
<b>La phase de rotation</b>	: De 0 à 359°. Avec un pas de 1°.
<b>Filtres</b>	: Passe bas : 3Hz à 2Khz. Passe haut : 2Hz à 2Khz.
<b>Alarmes</b>	: Un rectangle ou une cercle mobile à angle variable. Alarme sonore est un flash visuel.
<b>Capacité de stockage</b>	: De 50 traces et 100 mode de réglages à titre de 14 caractères alphanumérique avec date est heurs.
<b>Mesure de la conductivité</b>	: de 1% - 110% IACS. Précision de +/-1 IACS à 30% IACS à 20°C. Pas de compensateur de température.
<b>Entré / sortie</b>	: Equipement de série pour la communications avec l'ordinateur ou l'imprimante
<b>Affichage</b>	: Electroluminance : 276 x 128 pixels. Intensité de la lumière sélectionner haute/ bas. Persistance 0.1 – 20 secondes ou permanent. La base de temps 0.1- 20 seconde.
<b>Energie</b>	: 120/220 V 50/60Hz.
<b>Batterie</b>	: Durée de vie est de approximativement de 8h.
<b>Auto-stop</b>	: Après 3 minute de non utilisation.
<b>Langue d'affichage</b>	: Anglais, Français, Aleman.
<b>Dimension</b>	: Longueur : 249mm, largeur : 113mm, hauteur : 146mm.
<b>Poids</b>	: 2.7kg avec la batterie.

## FOERSTER

### DEFECTOMAT F 2.825

#### Les spécifications essentielles :

Fréquences réglables de façon reproductible entre 100 Hz et 1 MHz.

Stabilité électrique extrêmement élevée.

Canal de contrôle différentiel/ absolu combiné avec adaptation de niveau pour différents systèmes de capteurs, également d'autres marques et pour des bobines enroulées chez l'utilisateur même.

Pour fonctionnement dynamique, une compensation du zéro n'est pas nécessaire.

Compensation automatique du zéro et asservissement lors de fonctionnement statique.

Filtre réglable pour un traitement optimal des signaux.

Deux seuils de discrimination.

Exploitation Y, en amplitude et exploitation combinée amplitude/secteur.

Oscillographe à mémoire pour affichage des signaux X/Y et Y/t.

Indicateur digital et enregistreur incorporés.

Sortie pour signal digital p.ex. pour évaluation par traceur de courbes ou traitement informatique.

Sortie pour signaux analogique pour enregistrement et reproduction sur enregistreur ou bande magnétique

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] AIRBUS INDUSTRIE.  
*Nondestructive testing manual.*  
Germany Dec 2001.
  
- [2] A. HAMMOUDA, M. ZERGOUG.  
*Etude et réalisation d'un mesureur de conductivité électrique par le procédé de contrôle par courants de Foucault assisté par ordinateur.*  
Thèse d'ingénieur , CSC, Décembre 1997.
  
- [3] M. BRASSARD A. CHAHBAZ A.PELLETIER  
*Combined NDT Inspection Techniques for Corrosion Detection of Aircraft Structures.*  
Aerospace Research, National Research Council Canada Montreal Road, Canada.
  
- [4] S.MEBREK, M. ZERGOUG  
Elaboration d'un logiciel de caraterisation de défauts par courants de foucault  
Thèse d'ingénieur , CSC, Décembre 1997.
  
- [5] NON DESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK.  
Second edition, volume 4, Electromagnetic testing, Edition Paul McIntirc.1986.
  
- [6] ADVANCED MANUAL FOR EDDY CURRENT TEST METHODE.  
CAN/CGSB-48.14-M86
  
- [7] N.D.T EXPERT BOOK  
Electromagnetic testing, Edition 2000.
  
- [8] HOCHING Phasec 2200  
*Technical Reference and Operating Manual*  
October 1999.