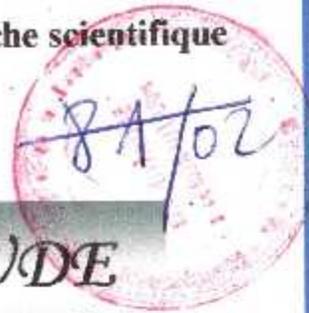


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de SAAD Dahleb BLIDA  
INSTITUT D'AERONAUTIQUE



## PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme d'étude universitaire appliqué

Option : Propulsion et structure

075/2002  
(1EX)

**THEME :**

**Détermination et contrôle  
des structures aéroferromagnétique  
par contrôle non destructif  
par magnétoscopie**

**Proposé par :**

- Mr Mourad ZERGOUG

**Présenté par :**

- BOUKER Hamida

**Co-promotrice :**

- BOUDJELLAL Hayet

- KHERAICHI Fatiha



**Promotion : 2002**



# Dédicace

*Je dédie ce travail à :*

*A mon cher père qui a fait tout mon bonheur.*

*A ma chère mère qui m'a bien encouragé et aidé .*

*A mon frère : Ali que j'aime très fort .*

*A mes sœurs et mon binôme, et mes amies. Sur tout  
Wafa, Saliha, Wassila, Fatiha, ainsi que le professeur  
Adel. Amina, Mbarka, Houria .*

*A toute la promotion 2002 de l'aéronautique .*

*Sans oublier : mon oncle et ces fils .*



*H.A. ILDA*



# DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail à :*

- *Ma mère Zineb*
  - *Mon père Abdelkader*
  - *Mes frères et sœurs .*
  - *Mon binôme Hamida*
  - *Toute mes amies a l'institut  
d'Aéronautique – Blida*
  - *Surtout mes amis :*
  - *Fatima Hamlaoui – Gzoul Batoul  
Ouhiba – Zoubida – Zahra et Rachida  
Kadi .*
  - *Et spécialement à : Mon frère Hamza .*
- 

## FATIMA



# Remerciements

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont apportés leur aides pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons a remercier en particulier Messieurs :*

- ZERGOUG notre promoteur et chef du laboratoire d'électronique et d'électrotechnique de nous avoir bien dirigé et aidé .

- M<sup>lle</sup> BOUDJELLAL Hayet notre co-promotrice de nous aidé et encouragé d'avancer pour la réalisation de ce travail, pour sa compréhension

*Nous remercions en particulier.*

- Le groupe du personnel d'atelier H400 service NDT d'AIRE ALGERIE , Mr BELABBES SAID. Chef de service NDT .

- Mr KHAZEN Hocine, Mr DAHI SIDI Ahmed, Mr HEMIA Riad, Mr METHDI Lakhdar et Mr chaouch mohemed

- L'ensemble du personnels de C S C, chercheur et employées, en particulier :NACER, AHMED, SMAIL, HOCINE, MESAOUUD, HACIANE, IDRISSE, AMIROUCHE et KARJMA .

- Aux membres de jury, qui ont acceptés d'examiner cette thèse .

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



## Résumé :

Il y a plusieurs méthodes de contrôle de défauts qui peuvent causer un endommagement du niveau des structures en pièces moteur .

Parce que ces fissures sont fines , et non détectable visuellement on applique une de ces méthodes qui est la magnétoscopie . On magnétise des pièces ferromagnétiques avec un étalon comme pièce de référence, on détecte des criques en fissures superficielle ou sans - jacent .

## ملخص :

هناك كثيرا من الطرق لمراقبة أو تفحص التشققات والتقوُّب التي يمكن أن تحدث خطرا على مستوى هياكل وقطع المحركات، ولدقة هذه التشققات وصعوبة ملاحظتها بالعين المجردة، حاولنا أن نطبق إحدى هذه الطرق على بعض القطع (قابلة للتمغنط) التي كنا قد أحدثنا بها تشققات (طولية واسطوانية) بمختلف الأعماق، وهذا التفحص كان عن طريق التمغنط بوجود بعض الكواشف والشروط وكذلك لنلاحظ مدى فعالية هذه الطريقة للكشف عن هذه العيوب والحد الأقصى لعمق التشقق .

# Sommaire

Liste des principales abréviations .	
<b>Introduction</b> .....	02
<b>Généralité sur contrôle non destructif</b>	
I- Généralité .....	03
I-1. Ressuage .....	04
I-2. Contrôle par ultrasons .....	04
I-3. Courant de foucault .....	05
I-3-1. Méthode d'exploitation .....	05
I-3-2. Sensibilité du contrôle par C.F .....	06
I-4. Radiographie .....	06
I-4-1. Application de la méthode .....	06
Historique de la méthode magnétoscopie .....	07
<b>Chapitre I : Principe physique de magnétisation</b>	
- But .....	09
I-1. Les possibilités de création d'un champ magnétique .....	10
I-1-1. Champ magnétique crée par un élément de courant .....	10
I-1-1-1. Induction due à un électron en mouvement .....	10
I-1-1-2. Induction d'un solénoïde en point de son axe .....	10
I-1-1-3. Induction d'une bobine de Helmholtz .....	10
I-1-1-4. Induction d'un tore électromagnétique en un point de sa ligne d'induction moyenne .....	11
I-1-1-5. Induction d'un courant circulaire en un point de son axe .....	11
I-1-2. Champ magnétique crée par un aimant permanent .....	11
I-2. Distinction et classification des substances .....	11
I-3. Fuite magnétique .....	12
I-4. Principe de contrôle par magnétoscopie .....	13
I-4-1. Les phases de contrôle .....	14
I-4-2. Méthode d'aimantation .....	15
I-4-2-1. Aimantation longitudinale .....	15
I-4-2-1-1. Champ magnétique crée à partir d'un électro-aimant .....	16
I-4-2-1-2. Champ magnétique crée à partir d'une bobine Ou d'un solénoïde .....	17
I-4-2-2. Aimantation circulaire (transversale) .....	17
I-4-2-2-1. Champ magnétique crée par un conducteur Auxiliaire .....	18
I-4-2-2-2. Par passage de courant dans la pièce .....	19
I-5. Type de courant magnétisant .....	21
I-5-1. Courant alternatif .....	21

I-5-2. Courant continu .....	21
I-5-3. Courant pulsé .....	22
I-6. Sensibilité .....	22
I-7. Révélation des champs de fuite .....	22
I-7-1. Les sondes .....	23
I-7-2. Détecteur de HALL .....	23
I-8. Les types de révélateurs utilisés en magnétoscopie .....	24
I-8-1. Influence de la dimension .....	24
I-8-2. Influence de la forme .....	25
I-8-3. Influence de la masse volumique .....	25
I-8-4. Les révélateurs liquides (humide) .....	25
I-8-5. Les révélateurs poudres (sèche) .....	26
I-9. Technique de désaimantation .....	26
I-9-1. A l'aide d'un démagnétiseur .....	26
I-9-2. Principe de la désaimantation .....	26
<b>Chapitre II : Réalisation des échantillons et tests</b>	
- Introduction .....	29
II-1 Rappel du processus opératoire de contrôle .....	29
II-2. Préparation des pièces et des défauts étalons .....	30
II-2-1. Caractéristique des pièces .....	30
II-2-2. Procédure de préparation des pièces .....	30
II-2-3. Usinage des défauts étalons .....	30
II-3. Test des pièces .....	31
II-3-1. Expérience 1 .....	31
II-3-1-1. Equipement .....	31
II-3-1-2. Mode d'emploi .....	32
II-3-2. Expérience 2 .....	32
II-3-3. Expérience 3 .....	33
II-3-4. Expérience 4 .....	33
II-3-5. Expérience 5 .....	33
<b>Chapitre III : Interprétation des résultats</b>	
- Introduction .....	35
III-1. Remarque 1 .....	35
III-2. Remarque 2 .....	35
III-3. Remarque 3 .....	36
III-4. Remarque 4 .....	36
III-5. Remarque 5 .....	37
III-6. Conséquences de l'aimantation ou résiduelle rémanence .....	38
<b>Chapitre IV : Inspection par magnétoscopie en aéronautique</b>	
- Introduction .....	40
IV-1. L'organigramme de contrôle par magnétoscopie .....	40
IV-2. Rédaction d'une procédure de contrôle .....	41

IV-2-1. Description de la pièce ou la zone à inspecter .....	41
IV-2-2. Description des dommages possibles .....	41
IV-2-3. Document liés .....	41
IV-2-4. Matériel et équipement nécessaires .....	41
IV-2-5. Préparation avant inspection .....	42
IV-2-6. Mode opératoire .....	42
IV-2-7. Critères d'acceptation .....	42
IV-2-8. Sanction .....	42
IV-2-9. Opération finales .....	42
IV-3. Révélation magnétique .....	43
IV-4. Recherche des criques au niveau de l'APU .....	44
<b>Conclusion</b> .....	<b>49</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>51</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>55</b>

## GRANDEURS ET UNITES

<b>Grandeurs</b>	<b>Unités S.I</b>
H champ magnétique	A/m (ampère/mètre)
B Induction magnétique	T (Tesla)
J Aimantation	A/m (ampère/mètre)
X Susceptibilité magnétique	Sans unité
$\mu_0$ Perméabilité magnétique du vide	H/m (Henry/mètre)
$\mu$ Perméabilité magnétique du matériau	H/m (Henry/mètre)
$\mu_r$ Perméabilité magnétique relative	Sans unité
$\Phi$ Flux magnétique	Wb (Weber)
I intensité de courant	A (Ampère)
R résistance	$\Omega$ (OHM)
R rayon	Mètre
N nombre de spire	Spire
T temps	S (seconde)
A section de la bobine	M <sup>2</sup>
Eclairement	Lux
Eclairement énergétique	W/m <sup>2</sup> (Watt/mètre carré)



*INTRODUCTION*

## INTRODUCTION

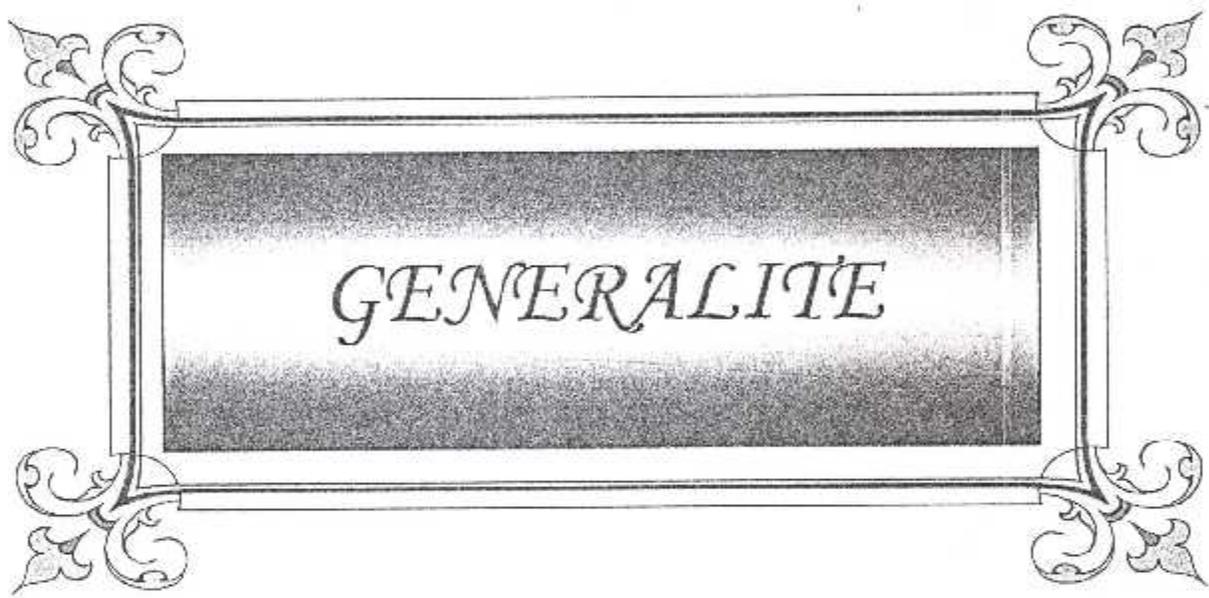
L'avance technologique durant ces dernières années permis le constat d'un grand nombre de problèmes pouvant toucher les aéronefs. Les risques d'incidents dans Les avions étant pris très au sérieux, le contrôle non destructif occupe une place très importante dans la surveillance et le contrôle. La maintenance des aéronefs, utilise une multitude de techniques d'inspections non destructifs, tel que le ressuage, les ultrasons, courants de Foucault et la magnétoscopie .

La facilité et l'utilisation dans le contrôle des matériaux ferromagnétique permettent l'application dans un domaine critique que l'aéronautique à savoir la détections des défauts débouchant et sous jacents situés en surface .

Notre travail consiste à maîtriser et optimiser la technique de contrôle par magnétoscopie dans le domaine aéronautique, à cet effet le comportement magnétique sur un grand nombres de paramètres a été réalisé, et cela dans le but de facilité à l'opérateur l'interprétation des résultats .

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

- Généralité sur le contrôle non destructif .
- Historique de la méthode magnétoscopique .
- Principe physique de magnétisation .
- Réalisation d'échantillons et testes .
- Interprétation des résultats .
- Inspection par magnétoscopie en aéronautique .



*GENERALITE*

## I- Généralité :

Nous présentons dans cette partie, les principes scientifiques des techniques conventionnelles d'essais non destructifs, ainsi que leurs modes d'applications :

- on se limite ici uniquement aux méthodes suivantes :
- Essai par liquide pénétrant (le ressuage).
- Ultrasons.
- Courant de Foucault.
- Radiographie par rayon x.
- Magnétoscopie.

### I-1. Ressuage :

Le ressuage est un procédé de contrôle non destructif destiné à rechercher des défauts linéaires, volumiques, non colmatés, débouchants, en surface.

La pièce à contrôler est recouverte d'un produit qu'on appelle pénétrant qui s'étale sur la surface, et entre dans les discontinuités débouchantes.

on utilise un liquide pénétrant colorant (Tétraline, Xylène), ou bien un liquide pénétrant fluorescent.

On élimine ensuite le pénétrant qui reste en surface, et on applique un révélateur.

▶ pour pénétrant colorés :

- 1- secs ( le talc et l'alumine ).
- 2- liquide (une suspension de silice fossile dans du méthanol).

▶ Pour pénétrant fluorescent .

### I-2- Contrôle par ultrasons :

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques, qui dans le domaine des contrôles se situent dans la gamme de fréquence 0.25 Mhz à plus de 10 Mhz pour créer ces vibrations, il est nécessaire d'employer des matériaux spéciaux les (matériaux piézoélectriques).

Les vibrations ultrasonores impliquent un mouvement du milieu dans lequel elles se propagent. un milieu est caractérisé par son module d'élasticité et par sa constante d'amortissement due au frottement interne qui définit une vitesse de propagation ( célérité ) propre au milieu .

Il existe plusieurs types de palpeurs :

- palpeur droits
- palpeur d'angles
- palpeur a angles variables
- palpeur a émetteurs et récepteur séparés

cette méthode est utilisée pour détecter les défauts suivants :

- défauts internes
- criques
- décollements
- mesures d'épaisseurs

### **1-3. Courant de foucault :**

Cette méthode est utilisée pour inspecter des pièces conductrices de l'électricité, afin de détecter les défauts des irrégularités de structures et des variations de composition.

toute pièce métallique soumise à une variation de flux est le siège d'une force électromotrice d'induction qui produit des courants particuliers appelés (courants de foucault).

#### **1-3-1. Méthodes d'exploitation :**

Les sondes a courant de foucault sont toujours des bobines de formes variables, caractérisées électriquement par une résistance **R** Et une inductance **X**, ils ont trois types des sondes :

1. Sonde concentrique
2. Sonde encerclante
3. Sonde interne

### I-3-2. Sensibilité du contrôle par courant de foucault :

La sensibilité du contrôle par C . F dépend de plusieurs paramètres, cités principalement :

- \* Les conditions du contrôle
- \* L'état de la surface
- \* La nature des défauts

Cette méthode est utilisé pour détecter les défauts de surface :

- Détection de criques, trous, corrosion, contrôle de traitement thermique.

### I-4. Radiographie :

Cette méthode de contrôle non destructive permettant la détection de :

- Défaut de matière (interne ou débouchant en surface )
- Anomalie d'assemblage
- Variation de section (sur épaisseur ) .

#### I-4-1. Application de la méthode :

La pièce à contrôler est traversé par, le rayonnement x , ce rayonnement émerge formant une image radiante de la pièce, et cette image est matérialisée sur film radiographique après développement.

La méthode nous permet en aéronautique de contrôler les ailettes et les redresseurs du compresseur ainsi que les ailettes et distributeurs de la turbine.

Ce contrôle permet de détecter les déformations (fluage à chaud ) ainsi que les criques convenablement orientées.

**Remarque :** voir les avantages et les inconvénients pour toutes les méthodes dans l'annexe (1)

## HISTORIQUE DE LA METHODE MAGNETOSCOPIQUE :

Les premières observations effectuées, mettant en évidence la possibilité de détection de défauts dans des pièces métalliques à partir d'une excitation par champ magnétique, ont été faites par W.E HOKE en 1920 aux Etats-Unis.

Le développement de la méthode n'est intervenu que dix ans plus tard, sous l'impulsion de A.V de Forest qui créa en association avec F. B. DOANE la société Magnaflux.

Les premiers équipements industriels ont été réalisés dans les années 1930-1933 et les premières applications ont porté sur l'examen de pièces de machine à vapeur dans les chemins de fer, et également de pièces destinées à l'industrie aéronautique, la deuxième guerre mondiale a fortement influencé le développement de cette technique, elle fait son apparition dans l'industrie automobile et on voit naître également les premières installations automatiques en 1943 pour le contrôle d'enveloppes de projectiles destinées à l'armement.

Le développement rapide de la technique à partir de ce moment là n'est pas sans poser de problèmes on s'interroge sur le meilleur type d'aimantation souhaitable alternatif ou continu, ou sur le meilleur type de révélateur, colore sec, humide, fluorescent. Il n'est pas rare de voir des pièces rebutées injustement par suite du manque d'expérience.

Les préoccupations actuelles, en particulier dans les domaines aéronautiques, spatiale et nucléaire de la magnétoscopie reste très largement employée en raison de sa simplicité et de la qualité des services rendus.



*Chapitre I :*  
PRINCIPES PHYSIQUE  
DE MAGNETISATION

**Le but :**

Le but de ce chapitre est de présenter les phénomènes physiques de magnétisation. Nous abordons des procédés de création du champ magnétique, la nature des matériaux et leur classifications, aux principes de contrôle par magnétoscopie, la révélation des champs des lûtes, et en fin le principe de désaimantation .

**[Rappels théoriques :**

D'une manière imagée, les matériaux peuvent être considérés comme étant constitués d'un ensemble de petits aimants .

En absence de champs magnétique, ces petites aimants ont des orientations désordonnées, lorsque le matériau est soumis à un champ magnétique **H** les petits aimants ont tendance à s'orienter dans le sens du champ magnétique.

$$\mathbf{J} = \chi \cdot \mathbf{H}$$
 ( $\chi$  : s'appelle la susceptibilité magnétique, et une caractéristique du matériau).

**I-1. Flux magnétique :**

Le flux est une grandeur qui caractérise le passage du champ magnétique à travers une section **S** du matériau .

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \quad (\mathbf{B} : \text{induction magnétique})$$

**I-2. L'induction magnétique :**

L'induction magnétique est une grandeur représentant la densité du flux magnétique qui traverse le matériau .

- Dans le vide :

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{H} \quad (\mu_0 : \text{perméabilité du vide})$$

- Dans le matériau :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad \mu_r = (1+x) : \text{perméabilité relative}$$

$$B = \mu \cdot H \quad \mu : \text{perméabilité du matériau}$$

## I-1. Les possibilités de création d'un champ magnétique :

### I-1-1. Champ magnétique crée par un élément de courant :

Un conducteur parcouru par un courant électrique crée autour de lui un champ d'excitation magnétique circulaire .

#### I-1-1-1. Induction due à un électron en mouvement :

Le champ magnétique crée par un électron de charge (-e) en mouvement à la vitesse  $V$  . selon le théorème de Biot et Savant

$$H = IdL \cdot \sin \alpha / 4 \pi R^2 \quad (dL : \text{une portion de conducteur})$$

$$B = \mu_0 \cdot IdL \cdot \sin \alpha / 4 \pi R^2$$

#### I-1-1-2. Induction d'un solénoïde en point de son axe :

Le solénoïde c'est une bobine de grande longueur par rapport à son diamètre, elle est constituée par un ou plusieurs enroulements hélicoïdale de fils conducteurs sur un mandrin cylindrique .

$$H = \frac{NI}{L} \quad B = \frac{\mu_0 N \cdot I}{L}$$

#### I-1-1-3. Induction d'une bobine de Helmholtz :

La bobine de Helmholtz est un ensemble formé par deux spires plates identiques (un rayon et l'axe) avec deux centres différents, ces spires sont parcourues dans le même sens par des courants de même intensité.

Le champ magnétique crée par cet ensemble en un point de l'axe est commun aux deux spires .

$$H = 2I / 5R \sqrt{5} \quad B = \mu_0 2I / 5R \sqrt{5}$$

#### I-1-1-4. Induction d'un tore électromagnétique en un point de sa ligne d'induction moyenne :

Le tore électromagnétique est un tore recouvert par un enroulement régulier parcouru par un courant. Le spectre fait apparaître les lignes d'induction circulaires concentriques, elles sont toutes situées à l'intérieur des spires de l'enroulement.

$$H = NI \quad B = \mu_0 I N$$

#### I-1-1-5. Induction d'un courant circulaire en un point de son axe:

La ligne d'induction passant par le centre du cercle et dirigée suivant son axe.

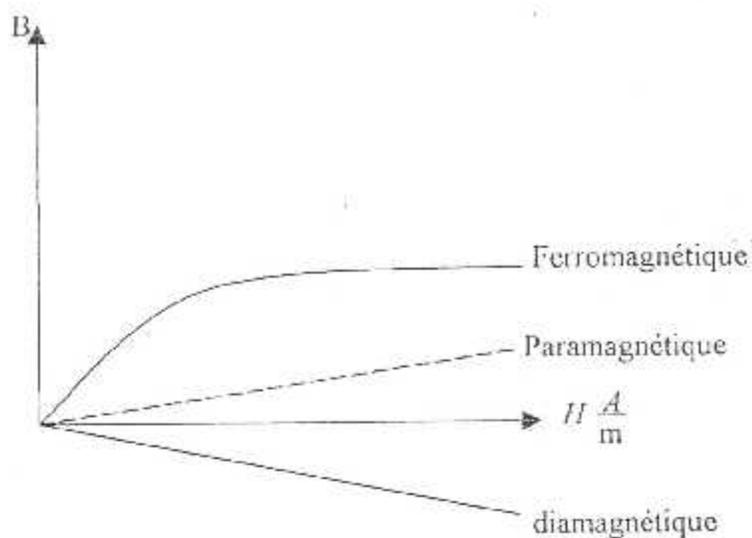
$$H = \frac{IR^2}{2a^3} \quad B = \frac{\mu_0 IR^2}{2a^3}$$

#### I-1-2. Champ magnétique créé par un aimant permanent .

#### I-2. Distinction et classification des substances :

On a distingué parmi les substances qu'ils ont des propriétés magnétique deux cas :

- ❖ On dit substance non ferromagnétique leur aimantation est proportionnelle à B et à H, et leur perméabilité est constante. Ces substances se divisent en deux catégories :
  - a- Les corps paramagnétiques
  - b- Les corps diamagnétiques
- ❖ On dit substances ferromagnétiques. Leurs aimantation n'est plus liée fonctionnellement à H et leur perméabilité variable (B/H).

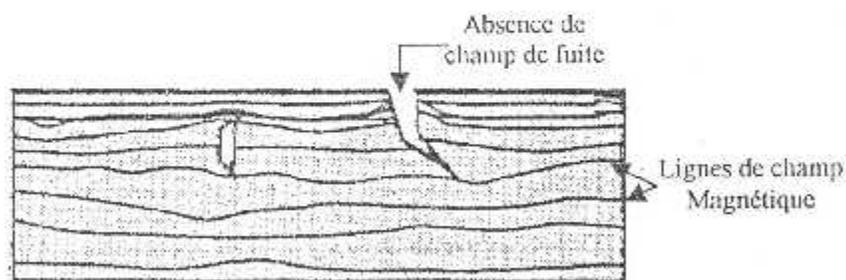


1- (Figure 1) : courbe de première aimantation

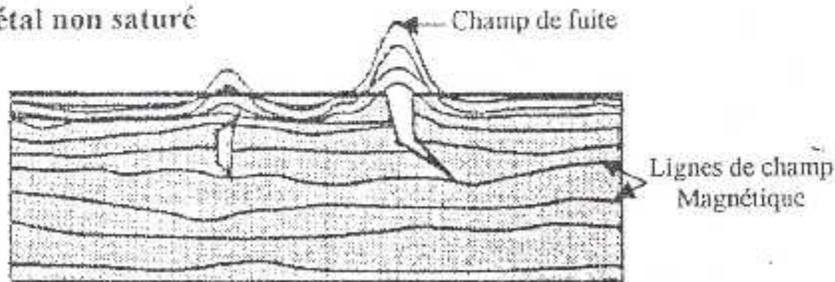
**I-3. Fuite magnétique :**

Les lignes de champ canalisées par le matériau , subissent une déviation locale lorsqu'elles rencontrent un obstacle et donnent naissance à un champ de fuite .

C'est la présence du champ de fuite qui conditionne la détection des défauts

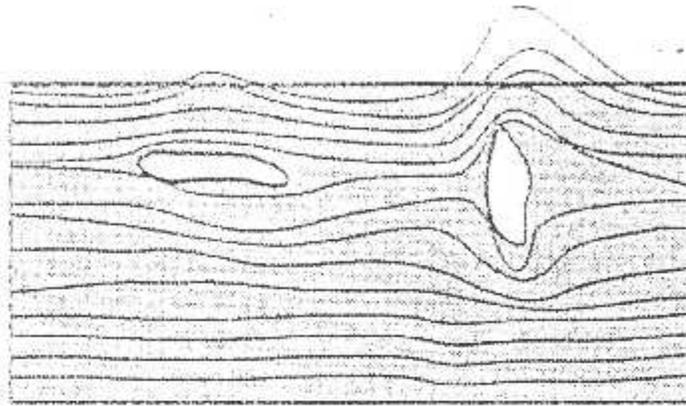


1- (Figure 2) : Métal non saturé



1- (Figure 3) : Métal saturé

La mise en évidence des défauts est d'autant plus facile que l'orientation des défauts est perpendiculaire aux lignes de champ magnétique induit dans la pièce .



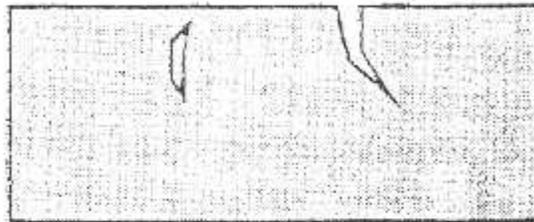
I- (Figure 4) : Défauts sous – jacent (perpendiculaire)

#### I-4. Principe de contrôle par magnétoscopie :

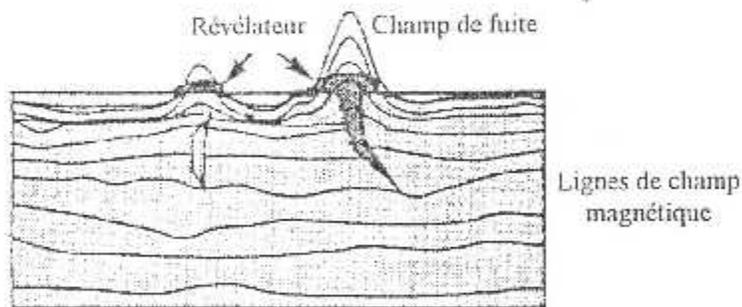
La magnétoscopie est une méthode appliquée aux matériaux ferromagnétique. Elle cherche des défauts débouchant en surface extérieur ou des défauts légèrement Sous jacent. C'est – à – dire aux matériaux qui soumis a un champ magnétique de 2400 A/m présentent une induction d'au moins 1 Tesla.

I-4-1. Les phases du contrôle :

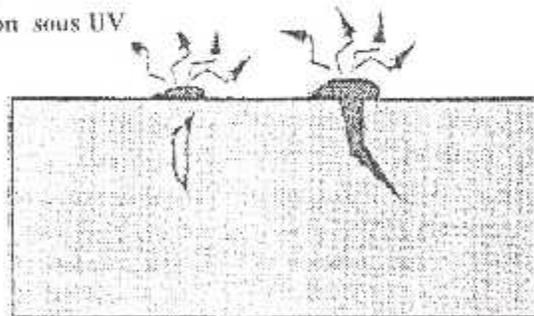
- ❖ Démagnétisation
- ❖ Préparation de surface



- ❖ Aimantation et application d'un produit révélateur fluorescent



- ❖ Inspection sous UV



- ❖ Démagnétisation
- ❖ Nettoyage des surfaces
- ❖ Application d'une protection si nécessaire pour le stockage des pièces

I- (Figure 5) : Les phases de contrôle

Les fissures se localisent au niveau des trous (fixations) et des endroits d'assemblage, donc les circonstances favorables à l'initiation des fissures par fatigue sont :

- **Géométrie :**

- 1- Trou dans la pièce tendue
- 2- Changements brusques de sections
- 3- Angles vifs

- **Métallurgie :**

- 1- Inclusion
- 2- Taille du grain
- 3- Précipitation
- 4- Nature des glissements

- **Mise en œuvre :**

- 1- Aspect de surface (usinage, grenailage, dépôts chimiques)
- 2- Endommagement
- 3- Défauts de soudure
- 4- Anisotropie

- **Environnement :**

- 1- Humidité
- 2- Milieux corrosifs

## **I-4-2. Méthode d'aimantation :**

### **I-4-2-1. Aimantation longitudinale :**

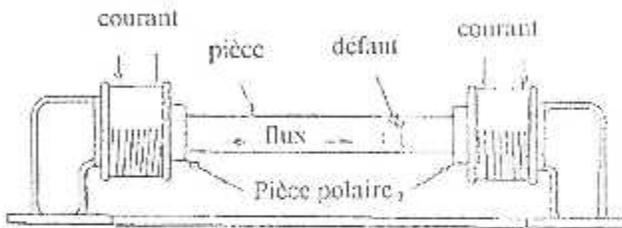
L'aimantation longitudinale est toujours obtenue par passage de flux magnétique dans la pièce.

Elle est utilisée pour rechercher des défauts orientés perpendiculairement à l'axe principal de la pièce.

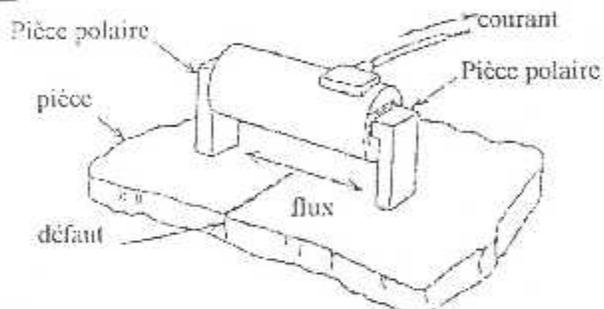
Ce type d'aimantation peut être obtenue de deux façons :

**I-4-2-1-1. Champ magnétique crée à partir d'un électro-aimant :**

Deux cas à considérer suivant l'importance de la pièce à contrôler nécessitant soit des appareils à poste fixe (pièces de petites dimensions) soit des appareils à poste mobile; (pièces de grandes dimensions difficilement transportables).



**I- (Figure 6) : par passage de flux magnétique (électroaimant fixe)**

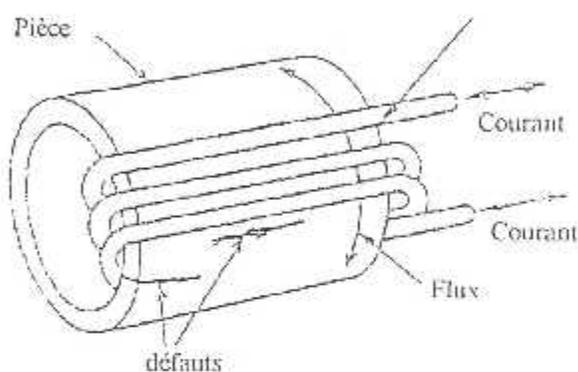


**I- (Figure 7) : par passage de flux magnétique (électroaimant mobile)**

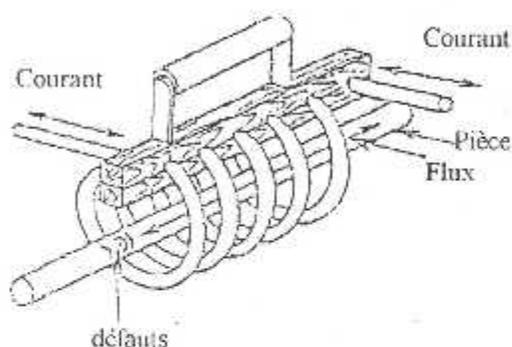
### I-4-2-1-2. Champ magnétique créé à partir d'une bobine ou d'un solénoïde :

Deux situations peuvent se présenter suivant l'importance de la pièce :

- Poste fixe pour des petites pièces introduites dans la bobine ou le solénoïde .
- Poste transportable équipé d'un conducteur souple de grande largeur enroulé autour de pièces de grande dimensions .



I- (Figure 8) : par passage de flux magnétique (bobine en solénoïde mobile)



I- (Figure 9) : par passage de flux magnétique (bobine en solénoïde fixe)

### I-4-2-2. Aimantation circulaire (transversale) :

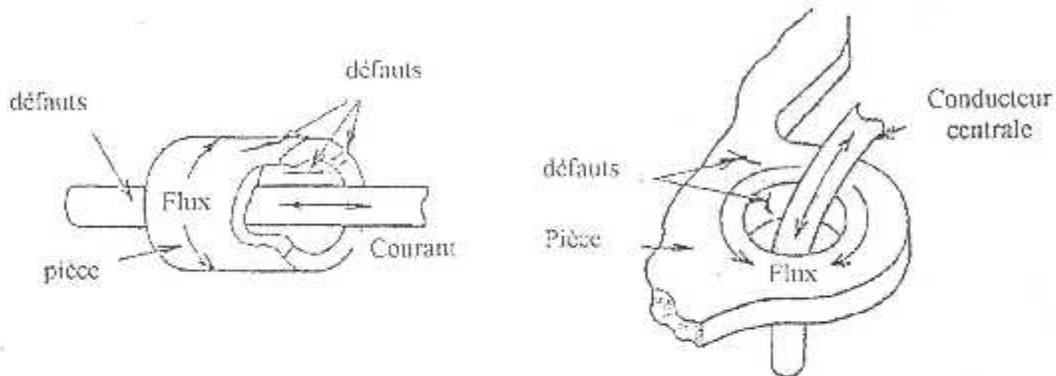
En faisant passer directement un courant électrique à travers la pièce à examiner ou à travers une portion de celle-ci, si un conducteur auxiliaire (centré ou excentré) .

Elle est utilisée pour rechercher les défauts parallèles à l'axe considéré .

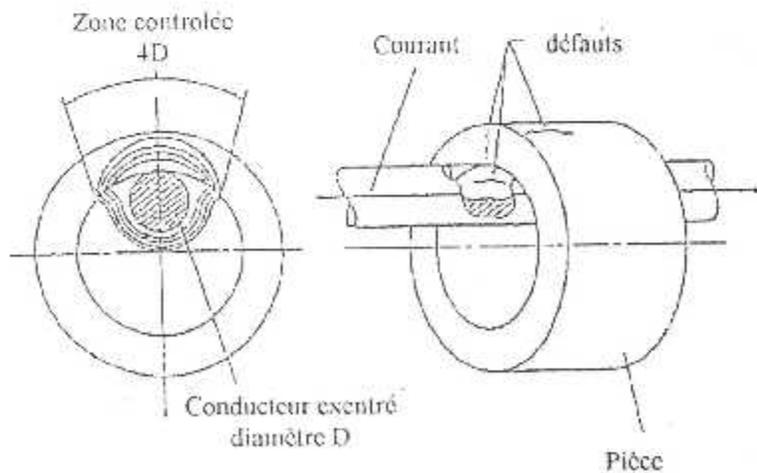
On retrouve comme dans le cas précédent deux types d'installations en fonction des dimensions des pièces (poste fixe ou poste mobile) pour les quelles l'aimantation est assurée à partir d'un générateur électrique .

**I-4-2-2-1. Champ magnétique crée par un conducteur auxiliaire :**

Ce type d'aimantation est surtout pratiqué sur les pièces comportant un alésage, aussi bien en banc fixe qu'en banc mobile, le passage de courant se fait dans le conducteur (centré ou excentré) positionné, suivant l'axe de l'alésage

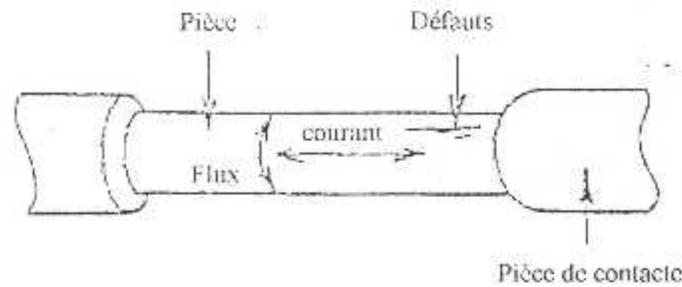


**I- (Figure 10) : Par passage de courant dans un conducteur auxiliaire centre**

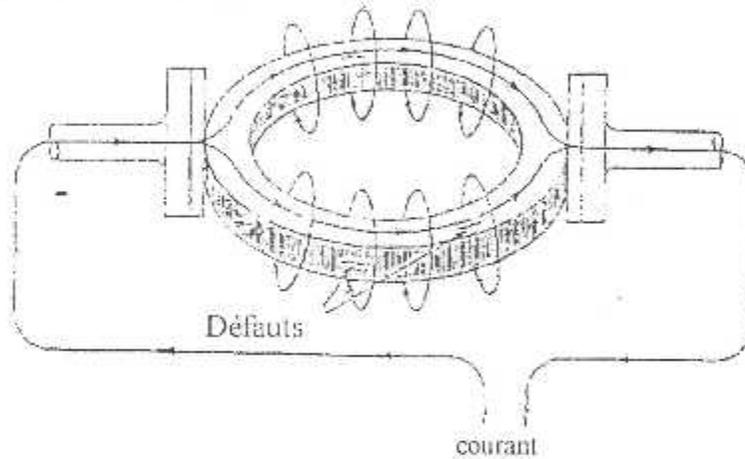


**I- (Figure 11) : Par passage de courant dans un conducteur auxiliaire excentré**

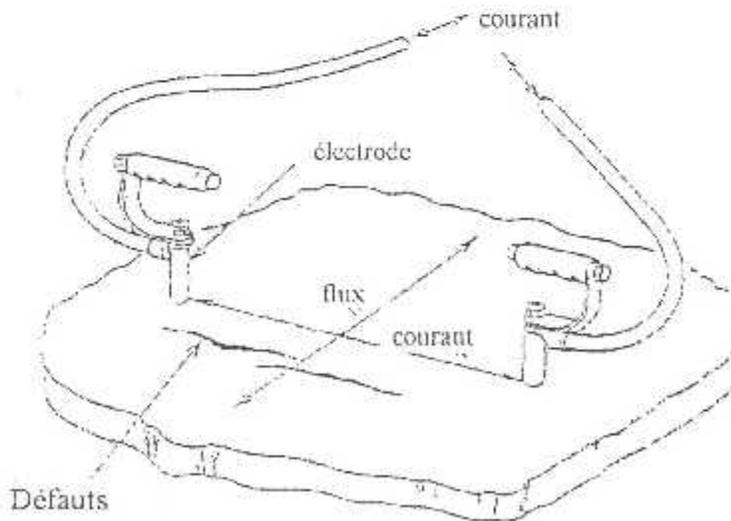
I-4-2-2-2. Par passage de courant dans la pièce :



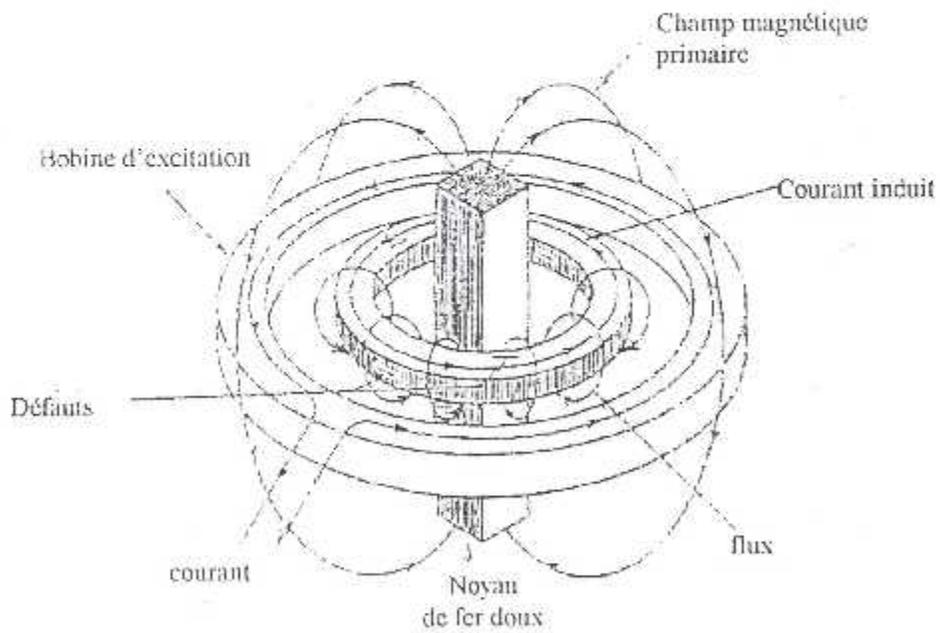
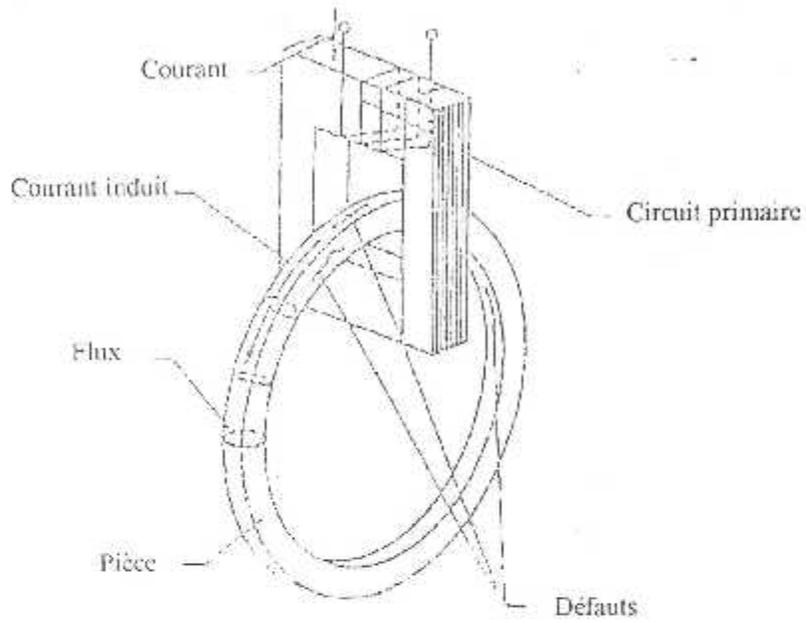
I- (figure 12) : Par passage de courant dans la pièce :



I- (figure 13) : Champ magnétique circulaire :



I- (figure 14) : Système à deux électrodes :



I- (figure 15) Par passage de courant induit dans la pièce

## I-5. Types de courant magnétisant .

### I-5-1. Courant alternatif :

#### ❖ Avantages :

C'est le plus facile à obtenir : Il permet la détection des défauts extrêmement fins avec l'emploi des particules magnétiques. En effet, la fréquence du courant met en vibration les particules ferromagnétique leur déplacement les zones des défauts fins et le champ de fuit est très faible.

#### ❖ Inconvénients :

Seuls les défauts superficiels sont détectés, car l'effet pelliculaire, et la surface du conducteur est parcourue par le courant alternatif, est par voie de conséquence c'est dans cette zone que se carrent des lignes de force, aucune détection n'est donc possible en profondeur.

L'impédance élevée du fait de l'existence de la self, élément particulier au courant alternatif réduit pour une tension donnée l'intensité du courant magnétisant.

la pénétration magnétique chute quand la fréquence augmente.

### I-5-2. Courant continu :

Il peut être obtenu soit par voie génératrice, soit par redressement d'un courant alternatif (cas de la plupart des appareils électromagnétiques rencontrés) .

#### ❖ Avantages :

On peut détecter des défauts en profondeur, l'effet Kelvin n'existe plus .

Il est possible de contrôler des pièces plus longues qu'en courant alternatif, la self étant supprimée et l'impédance se limitant ainsi à la seule résistance .

#### ❖ Inconvénients :

Les défauts extrêmement fins ne seront pas détectés dans le cas de l'inspection aux particules magnétiques .

### I-5-3. Courant pulsé :

Il s'agit d'un courant alternatif dont les demi-alternances négatives sont éliminées.

C'est une solution possible, compromise entre les deux précédentes.

### I-6. Sensibilité :

Pour obtenir un maximum de sensibilité, la pièce doit être magnétisée avec un champ de direction perpendiculaire au défaut. Alors la technique de magnétisation peut être choisie selon le type de défaut à détecter.

L'intensité du champ magnétique dépend directement de l'intensité du courant, si un courant trop faible est utilisé, le champ magnétique résultant ne sera pas assez fort pour permettre la détection de discontinuités, par contre, si le courant utilisé est trop élevé il en résulte de fortes accumulations des particules qui rendent l'interprétation des résultats difficile et même impossible.

Les intensités du courant utilisées sont en générale de l'ordre de 500 à 10000A et varient selon l'épaisseur de la pièce et l'espacement des points de contact.

### I-7. Révélation des champs de fuite :

- La révélation des champs de fuite au droit des défauts peut-être réalisée de plusieurs manières :

- Par des systèmes de sonde directement sensibles à la composante normale du champ au droit du défaut.

- Les appareils électroniques utilisées dans la recherche des défauts sur un tube (barres, billettes, câbles) ont pour fonction :

1-a- D'induire dans le tube, un champ magnétique.

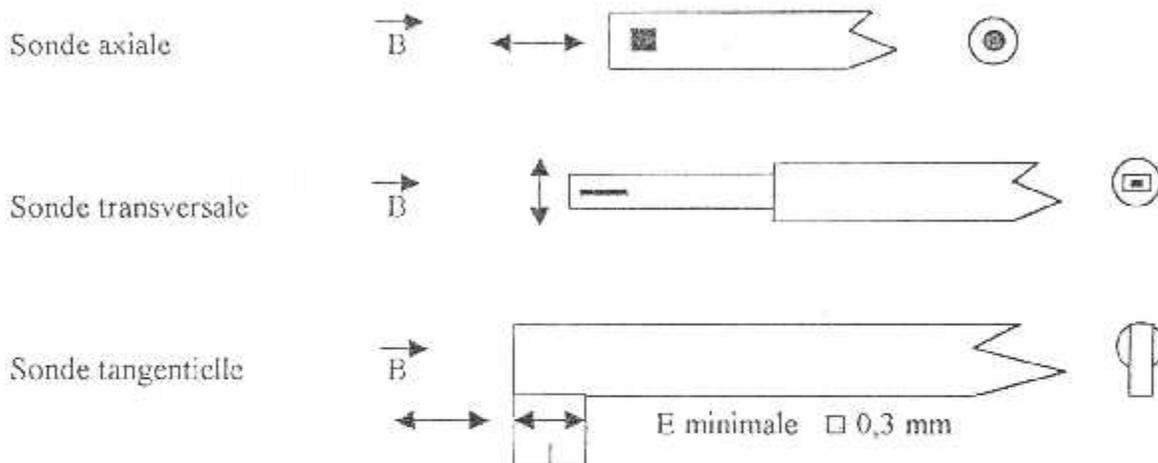
2-b- De détecter simultanément les fuites magnétiques à l'aide des sondes.

Le signal émis par la sonde est amplifié, enregistré on visualise sur l'oscilloscope on donne lieu à un marquage sur le tube. Certains appareils possèdent l'enregistrement et la visualisation (installation automatique).

**I-7-1. Les sondes :**

Le bobinage qui passe au droit d'un défaut coupe le champ de fuite correspondant, ce qui crée un courant induit de tension.

$$E = N \cdot A \mu_0 \cdot \mu_r \frac{DH}{Dt}$$



I- (figure 16) - les sondes -

**I-7-2. Détecteur de HALL :**

Le principe est le suivant : si l'on considère une plaquette parallèle pipédique d'un matériau semi-conducteur, traversé par un courant ( $I$ ) parallèlement à une direction d'arrêt la différence de potentiel entre les points  $p$  et  $p'$  est nulle. (figure 17)

Si l'on applique un champ magnétique d'induction  $B$  a la grand face, il y a déviation des lignes de courant de HALL, et tel que :

$$E = \frac{RH}{D} I \cdot B \cdot K$$

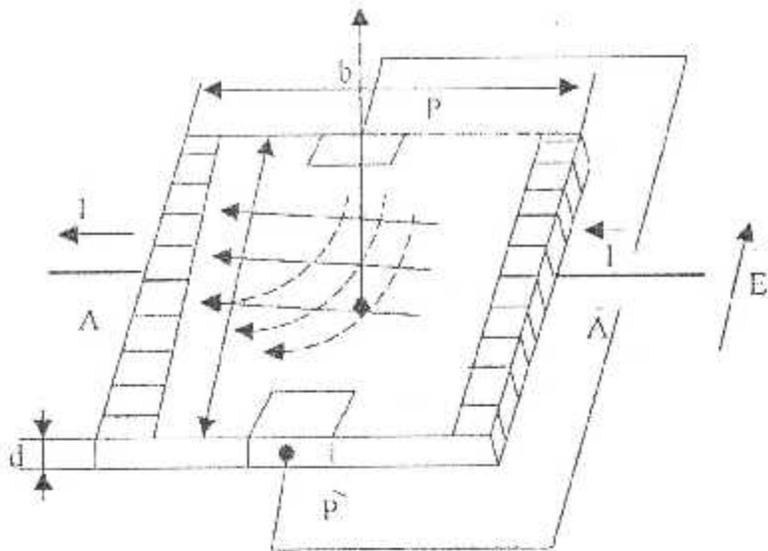
RH : constante de hall

D : épaisseur de la plaquette

I : courant

B : induction

K : constante liée a la surface active de la plaquette.



I- (figure 17) : détecteur de HALL.

### I-8. Les types de révélateurs utilisés en magnétoscopie :

Les particules magnétiques sont constituées de fines particules ferromagnétiques appelées magnétite ayant une forte perméabilité et un champ coercitif faible, elles sont enrobées afin d'avoir une plus grande mobilité et colorées en blanc-argent, vert, jaune pour obtenir un bon contraste lors de l'interprétation des résultats.

#### I-8-1. Influence de la dimension :

La particule est petite plus elle est facilement attirée dans des champs de fuite très faibles malgré tout une très petite dimension de particule peut être néfaste car elle risque de contribuer à une accumulation de produit à l'aplomb de fines aspérités de surface sans rapport direct avec les défauts dimensions comprises pratiquement entre 1 et 50  $\mu\text{m}$ .

Le compromis réalisé le plus souvent constitue à mélanger des particules de faible dimension avec des particules de dimension plus importante suivant des proportions données.

- la taille de la particule est également fonction de la taille du défaut recherché.
- Pour la révélation de défauts de faibles largeurs ce sont les produits

révélateurs à particules fines qui donnent les meilleurs résultats 1 à 2  $\mu\text{m}$  en particulier.

-Pour la révélation de défauts de taille importante les produits révélateurs donnant les meilleurs résultats présentent des dimensions de particules de taille moyenne ( 10 à 15  $\mu\text{m}$  ).

### **I-8-2. Influence de la forme :**

- ❖ Les particules sphériques tendent à rester isolées et à garder leur taille propre.
- ❖ Les particules allongées tendent à se regrouper du fait de leur moment magnétique pour se distribuer dans un éventail de taille plus importante et former des chaînes permettant par « pontage du défaut » la détection de fissures de grande largeur à partir de particules très fines.

### **I-8-3. Influence de la masse volumique :**

❖ La masse par unité de volume a son importance sur la mobilité de la particule, une particule trop lourde aura tendance à se fixer rapidement sans se déplacer à des endroits qui ne sont pas forcément en accord avec la position des défauts c'est pourquoi on préfère généralement des particules de petite dimension par unité de volume, favorables à une grande mobilité. Dans la plupart des cas on allège en quelque sorte la particule en lui associant un liant ou un revêtement de densité plus faible que la particule elle-même .

### **I-8-4. Les révélateurs liquides (humide) :**

Ils sont les plus satisfaisants pour la détection des défauts fin de surface. Les particules ferromagnétique de couleur noir, jaune, rouge ou fluorescent sont en suspension dans un produit pétrolier.

Les révélateurs de couleur noire, jaune ou rouge donnent des indications visibles à la lumière du jour, mais fluorescent donnent des indications visible sans éclairage ultraviolet appelé également « lumière noire » ils permettent une meilleure visualisation des spectres de défaut qui apparaissent ainsi très contrastés.

### I-8-5. Les révélateurs poudres (sèche) :

Ils sont les mieux adaptés pour la détection éventuelle des défauts internes, ils sont appliqués par voie sèche, en utilisant un lance poudre à main ou à air comprimé.

## I-9. Technique de désaimantation :

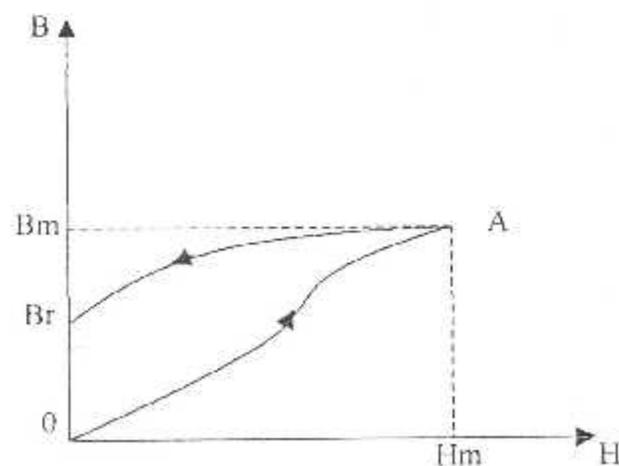
### I-9-1. à l'aide d'un démagnétiseur :

Les pièces sont alors soumises à un champ magnétique alternatif décroissant jusqu'à annulation. Ceci peut être réalisé :

En laissant la pièce fixe dans le démagnétiseur et en faisant décroître l'intensité du courant, en éloignant progressivement la pièce du tunnel du démagnétiseur, jusqu'à une distance suffisante pour que le champ magnétique soit nul (1,5 m environ).

### I-9-2. Principe de la désaimantation :

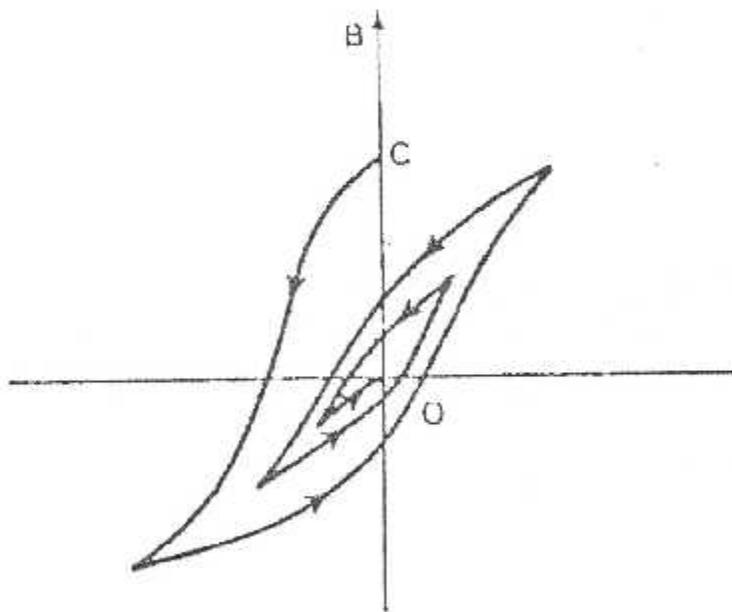
La pièce ayant été aimantée sans l'action d'un champ d'excitation  $H_m$ , conserve une induction rémanente  $B_r$  Après contrôle (induction conservée par la pièce lorsqu'elle est soustraite à l'influence du champ ( $H = 0$ )).



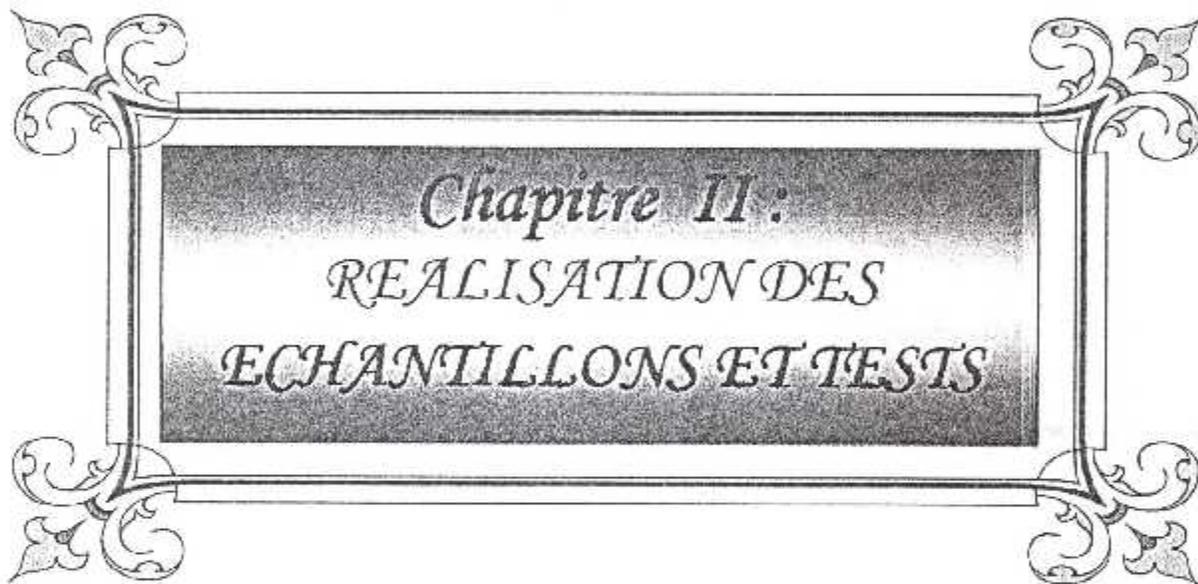
I- (figure 18) : Mécanisme d'aimantation

La désaimantation consiste à revenir aux conditions initiales pour lesquelles l'induction  $B$  était nulle en l'absence de champ d'excitation,  $B = 0$  pour  $H = 0$ .

Pour réaliser cette condition, la pièce est soumise à l'action d'un champ d'excitation magnétique décroissant qui a pour effet de déplacer le point représentatif de l'état magnétique résiduel et de l'amener progressivement au point  $B = 0$  et  $H = 0$ .



I- (figure 19) : Principes de la désaimantation



*Chapitre II :*  
*REALISATION DES*  
*ECHANTILLONS ET TESTS*

## Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre en premier plan : un petit rappel de processus opératoire de contrôle et de la réalisation des pièces et des défauts étalon, ainsi qu'un certain nombre d'expériences déjà faites sur des différentes pièces contenant des défauts .

### II-1. Rappel du processus opératoire de contrôle .

Du point de vue pratique, le contrôle magnétoscopique d'une pièce est réalisé dans l'ordre suivant :

- ❖ On procède au nettoyage de la pièce, global ou local suivant la dimension, au moyen d'un solvant tel que le trichloréthylène, il peut être utilisé soit sous forme de vapeur soit directement par l'application du liquide avec un pinceau ou trompé.

- ❖ Après nettoyage et séchage, la pièce est aimanté globalement ou localement suivant son volume et le type de matériau de contrôle utilisé .

- ❖ La pièce est alors soustraite à l'influence de l'aimantation et on procède alors à son examen .

Au niveau du plan de travail : L'intensité de lumière blanche doit être inférieur à 20 lux (lumière parasite), l'intensité de lumière ultraviolette doit être supérieur à 15 w/m<sup>2</sup>.

Chaque cabine doit être équipée de source fixe de lumière blanche et ultraviolette.

Une période de préchauffage des lampes ultraviolette (16nm en viron) ainsi qu'une période d'adaptation des yeux à l'éclairage ambiant restreint (5nm en viron) doivent être respectés .

## II-2. Préparation des pièces et des défauts étalons :

Avant la réalisation des pièces et des défauts nous avons dressé le schéma industriel de la pièce (Vue de face et vue de dessus) voir ( II- figure 1 ).

### II-2-1. Caractéristique des pièces :

- Pièce 1 :
  - Longueur : 300 mm
  - Largeur : 300 mm
  - Epaisseur : 10 mm
- Pièce 2 :
  - Longueur : 200 mm
  - Largeur : 160 mm
  - Epaisseur : 16 mm

### II-2-2. Procédure de préparation des pièces :

- a- Découpage et usinage des pièces en acier aux cotes définies des schémas
- b- Rectification des étalons pour l'amélioration de l'état de surface et la finition.

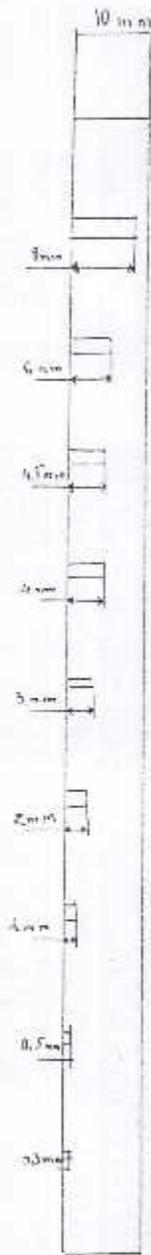
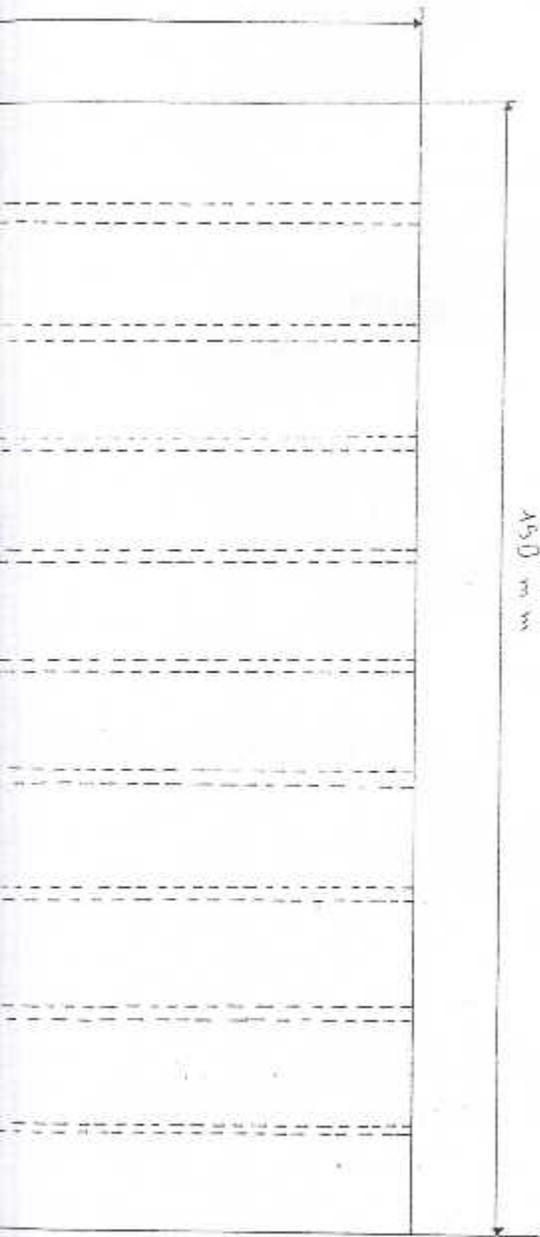
### II-2-3. Usinage des défauts étalons :

Réalisation des rainures de différentes largeurs, avec des fraises à scies ainsi que plusieurs profondeurs

Dimension de la pièce 1	Prof. 1	Prof. 2	Prof.3	Prof. 4	Prof. 5	Prof. 6	Prof. 7	Prof. 8	Prof. 9
300x300x10	0,3 mm	0,5 mm	01 mm	01,5mm	03mm	04mm	04,5mm	06mm	08mm

Pour la deuxième pièce on a réalisé plusieurs trous de différents diamètres, éloignés de la surface par étage

Dimension de la pièce 2	D. 1	D. 2	D.3	D. 4	D. 5	D. 6	D. 7	D. 8	D. 9
200x160x16	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm



150 mm

général  
temporaire

105

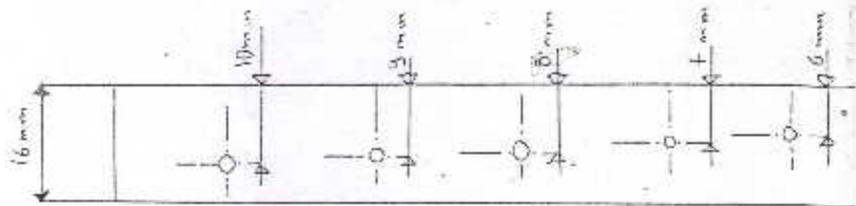
INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA

REALISATION DU:PIECE

BOUKER HAMIDA  
KHERAICHI FATIHA

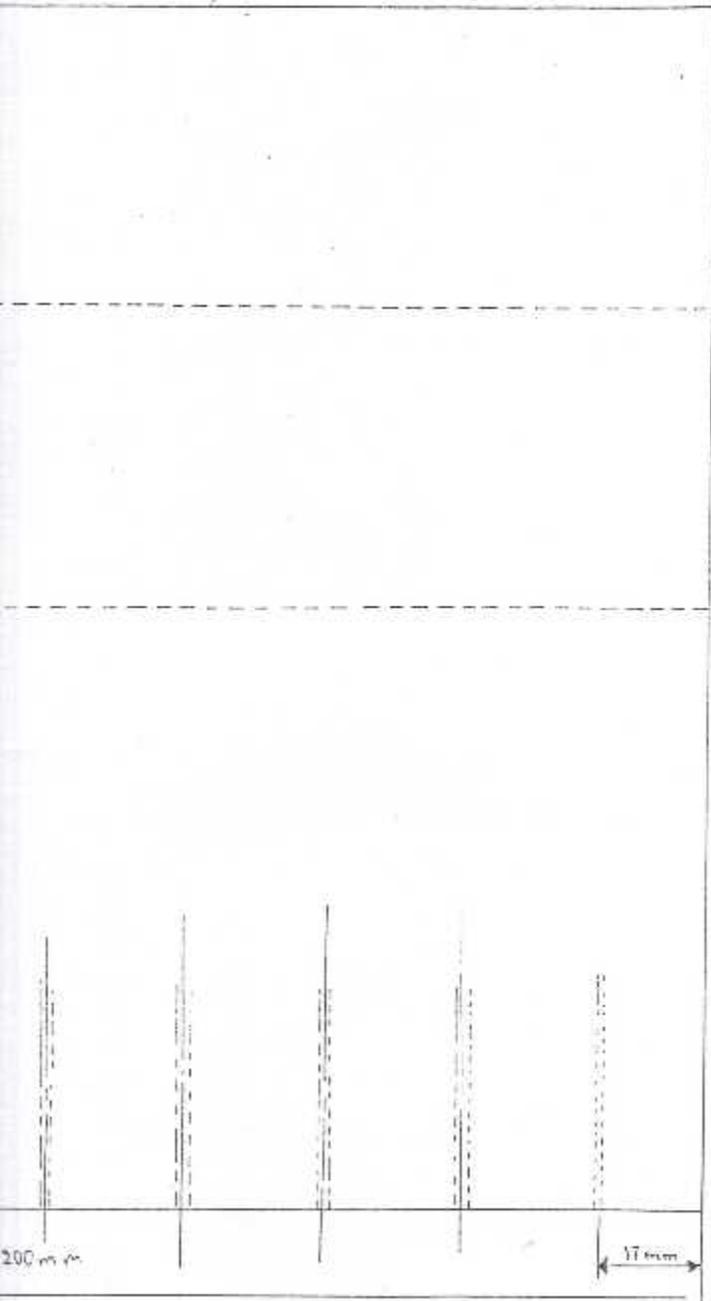
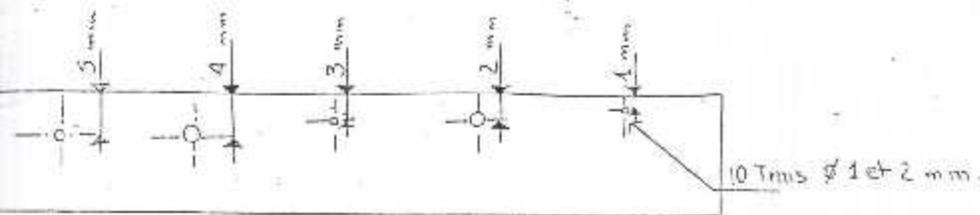
EHELLE 1:203.10.2002

PROPULSION STRUCTURE



A.A





INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLAGIDA

REALISATION DU: PIECE 2

BOUKER HAMIDA

KHERAICHI FATIHA

ECHELLE 1:1 03.10.2002

PROPULSION.STRUCTURE

**Note :** Les pièces sont réalisées au niveau de l'atelier mécanique de C.S.C .

- La scie mécanique (p.m.o)
- La perceuse à colonne (p.m.o)
- Fraiseuse universelle (p.m.o)

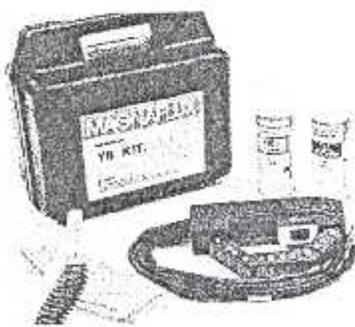
### II-3. test des pièces :

#### II-3-1. expérience 1 :

Contrôler la pièce qui a les trous et les caniveaux par passage de flux magnétique.

##### II-3-1-1. équipement :

- la pièce a contrôler
- solvant (DK-60, utiliser l'aérosol à une température supérieure à 10 c°)
- la brosse métallique
- Alimentation 12 V.2 A.DC
- Electro-aimant (nombre de spire =2000 spires, L= 930mm)
- Aérosol de laque pour contraste sur fond de pièce.
- Flacon pulvérisateur de liqueur magnétique.
- Une lampe de lumière blanche et lampe de lumière ultraviolette .
- Pompe du révélateur fluorescent .



Les équipement de nettoyage



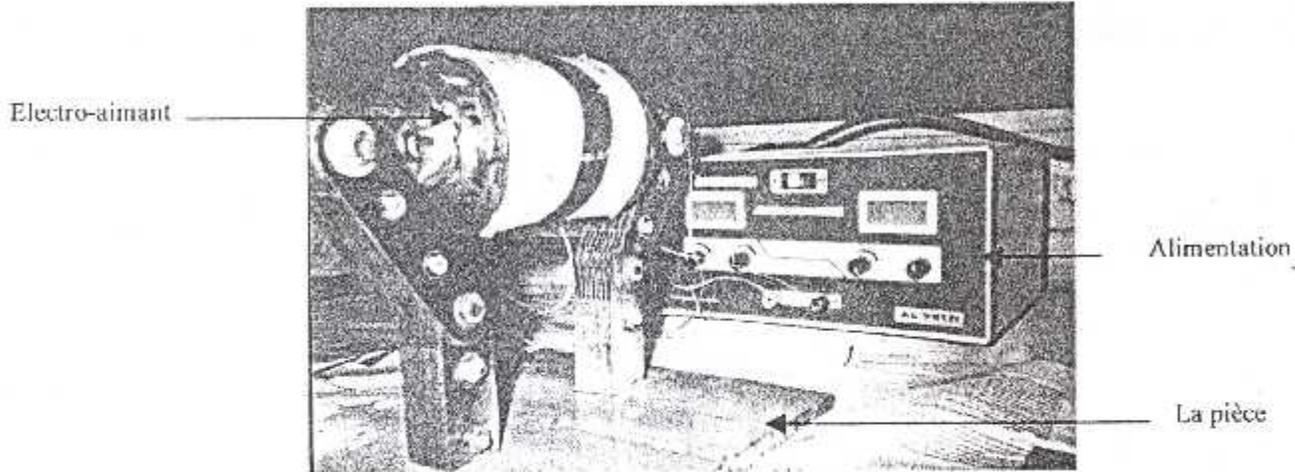
Pompe du révélateur fluorescent .



Lampe U.V

## II-3-1-2 mode d'emploi :

- ❖ nettoyage de la pièce par solvant et brossage.
- ❖ brancher l'alimentation de l'électro-aimant, en suite on met les deux pôles de l'électro-aimant sur la surface de la pièce et il faut qu'il y ai un contact parfait et que la direction des lignes de champ magnétique soit perpendiculaire au défaut.



II- (figure 1) : Mode d'emploi

- ❖ pulvériser la laque sur la surface de la pièce.
- ❖ mettre le montage (2) sous tension en même temps on pulvérise le révélateur liquide sur la surface de la pièce sous l'influence d'une lumière blanche.
- ❖ Prendre les remarques .
- ❖ Désaimantation de la pièce et nettoyage .

## II-3-2. Expérience 2 :

Contrôler la même pièce par passage de flux magnétique et en suit les mêmes étapes, puis en utilise un révélateur fluorescent au lieu de la laque et le révélateur limaille de fer et au lieu de lumière blanche en utilise une lumière ultraviolette, ensuite en prend des remarques et à la fin désaimantation et nettoyage .

### II-3-3. Expérience 3 :

Contrôler la même pièce par passage du flux magnétique qui est le résultat d'un courant continu d'intensité 860 A ou courant alternatif d'intensité 1220 A, et suivre les mêmes étapes, on utilise un appareil de magnétoscopie (BANC), au lieu de l'électro-aimant.

### II-3-4. Expérience 4 :

Contrôler une pièce qui a un défaut connu de soudure par passage de flux magnétique, et noter l'influence de la lumière blanche, ultraviolette et en suit suivant les mêmes étapes.

### II-3-5. Expérience 5 :

Aimantation longitudinale d'une pièce qui a les défauts des rainures par courant alternatif d'intensité 1000 A, et la deuxième fois on fait une aimantation par courant continu 1050 A – sachant qu'on a fait une désaimantation avant cette dernière étape avec un courant d'intensité 1900 A.

#### Note :

- Entre deux contrôles magnétoscopique, l'aimantation rémanente après désaimantation doit être inférieur à 500 A/m.
- Après la dernière désaimantation, l'aimantation rémanente doit être inférieure ou égale à 240 A/m.



*Chapitre III :*  
*INTERPRETATION*  
*DES RESULTATS*

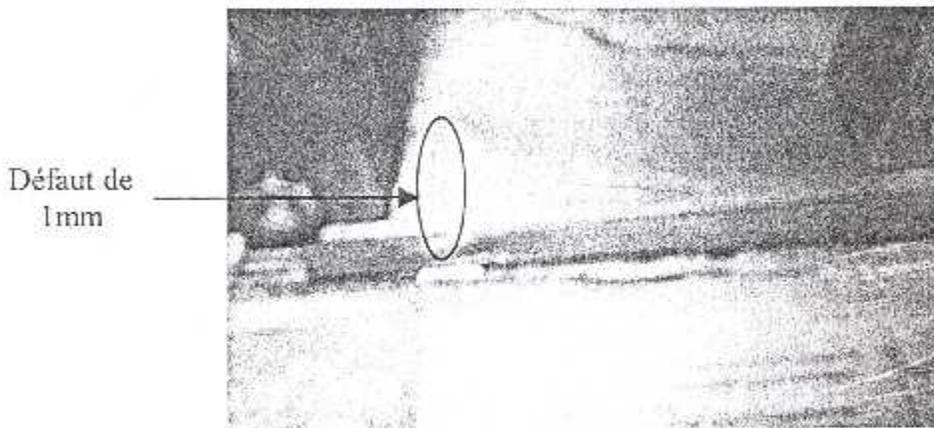
### Introduction :

Il en va de soit que suivant chaque type de pièce, et en fonction des défauts recherchés, on appliquera la méthode de magnétisation préconisée transversale puis longitudinale l'opérateur se doit de savoir interpréter, et évaluer toutes les indications soit de :

- défaut de surface (crique) .
- défaut sous jacent (ligne d'inclusion) .
- indication parasite ou inconséquente .

### III-1. Remarque 1 :

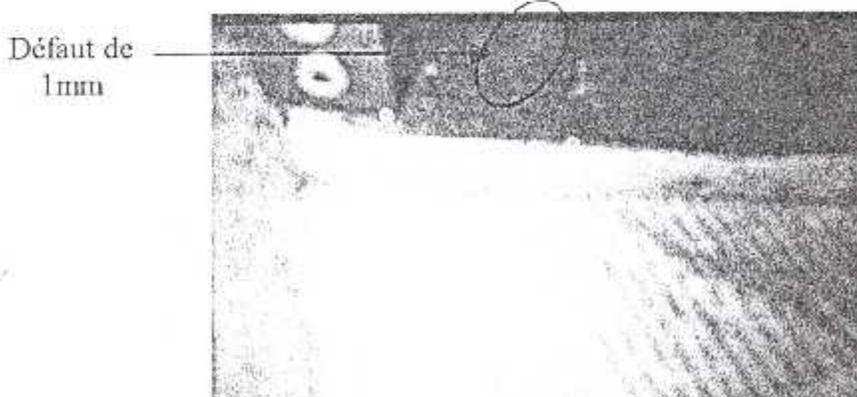
Le spectre caractéristique d'un champ magnétique permet d'observer un défaut éloigné de la surface de 01 mm (II- figure 1), et on observe pas les défaut de corrosion.



II- (figure 1) : Remarque 1 .

### III-2. Remarque 2 :

On observe le même défaut que l'expérience 1 mais plus foncé, et plus net .



II- (figure 2) : Remarque 2 .

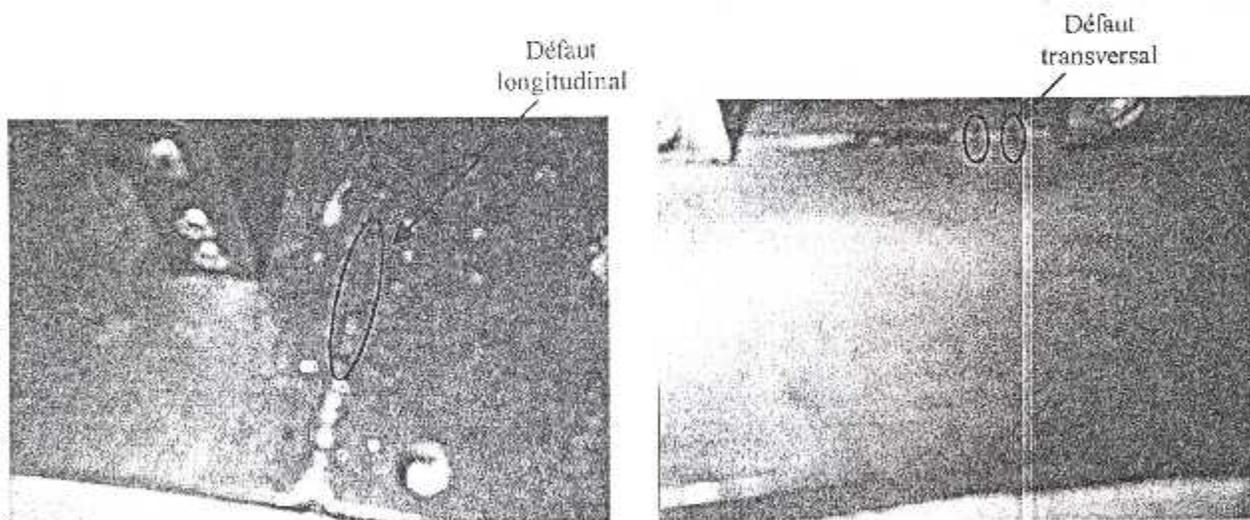
### III-3. Remarque 3 :

On observe le même défaut que l'expérience 2, malgré qu'on a utilisé une intensité de courant 650 A (moins élevé).

Si on utilise un courant d'intensité élevé, on observe pas les défauts puisqu'il y a sur saturation donc le fibrage de la pièce apparaît .

### III-4. Remarque 4 :

On observe les défauts longitudinaux et transversaux de fissures (III- figure 3), en présence de la lumière blanche, mais en présence de l'ultraviolet on observe deux trous de plus et les caniveaux .



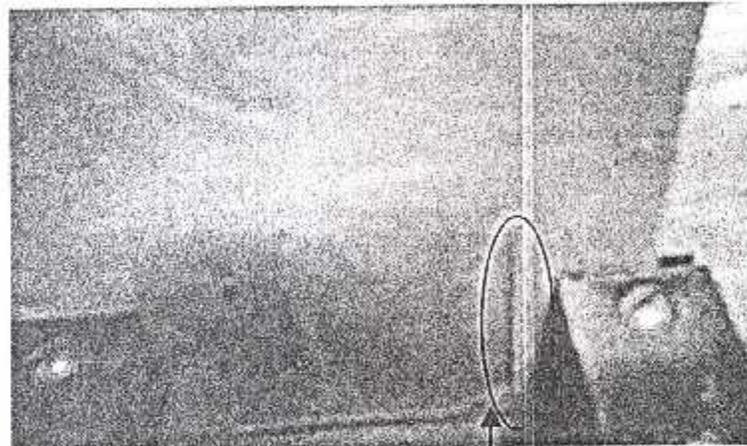
III- (figure 3) : Remarque 4 par fluorescentes .

**III-5. Remarque 5 :**

On utilise le courant continu, on observe le défaut de profondeur (2mm) (III- figure 4-5) par ce que le courant continu détecte les défauts de profondeur, et en présence de courant alternatif aucun défaut n'apparaît par ce qu'il détecte les défauts de surface .



III- (figure 4) : Remarque 5  
Par fluorescentes



Défaut de 8 mm de profondeur

III- (figure 5) : Remarque 5  
par limaille de fer

**Notes :**

- L'intensité maximale du champ magnétique est obtenu par la valeur crête de l'intensité du courant.

- Les appareils de magnétoscopies sont équipés d'Ampère Mètres, qui indiquent la valeur du courant électrique, la valeur indiquée n'est pas toujours une valeur crête, mais souvent la valeur efficace ou intensité moyenne de courant .

- Dans ces deux derniers cas, il y a lieu de tenir compte d'un facteur correctif .

- Nous déduisons que les méthodes par passage de flux magnétique présentent l'avantage de ne pas nécessiter de contact électrique, tandis que le passage direct du courant dans la pièce présente un risque d'endommagement des pièces par formation d'arc.

- Dans le cas d'un champ magnétique alternatif, elles peuvent également conduire à un échauffement de la pièce à cause des courants de foucault.

### III-6. Conséquences de l'aimantation ou résiduelle rémanence :

Après être passés au contrôle magnétoscopique (surtout par passage de flux) la pièce conserve une aimantation résiduelle qui doit être obligatoirement réduite au minimum imposé par sa future utilisation. Cette aimantation rémanente risque d'être gênante :

A- Si l'on réalise un contrôle magnétoscopique sur la même pièce, mais suivant une direction d'aimantation différente, la présence de l'aimantation rémanente risque en effet de dévier la direction de la seconde aimantation par rapport à celle souhaitée, et donc d'entaver la détection des défauts.

B- Si l'on réalise des usinages ultérieurs, les copeaux risquent alors de « coller » à la pièce.

C- Si l'on réalise des soudages, notamment par faisceau d'électrons, la présence d'une aimantation rémanente risque de dévier le faisceau d'électrons.

D- Elle risque de fausser les indications d'appareillages de bord dans un avion, ou encore, si elle risque de retenir des particules ferromagnétiques dans les fluides hydrauliques.

#### Note :

Si la pièce doit subir un traitement thermique au delà du point de curie. Il n'est pas nécessaire alors de faire une désaimantation.

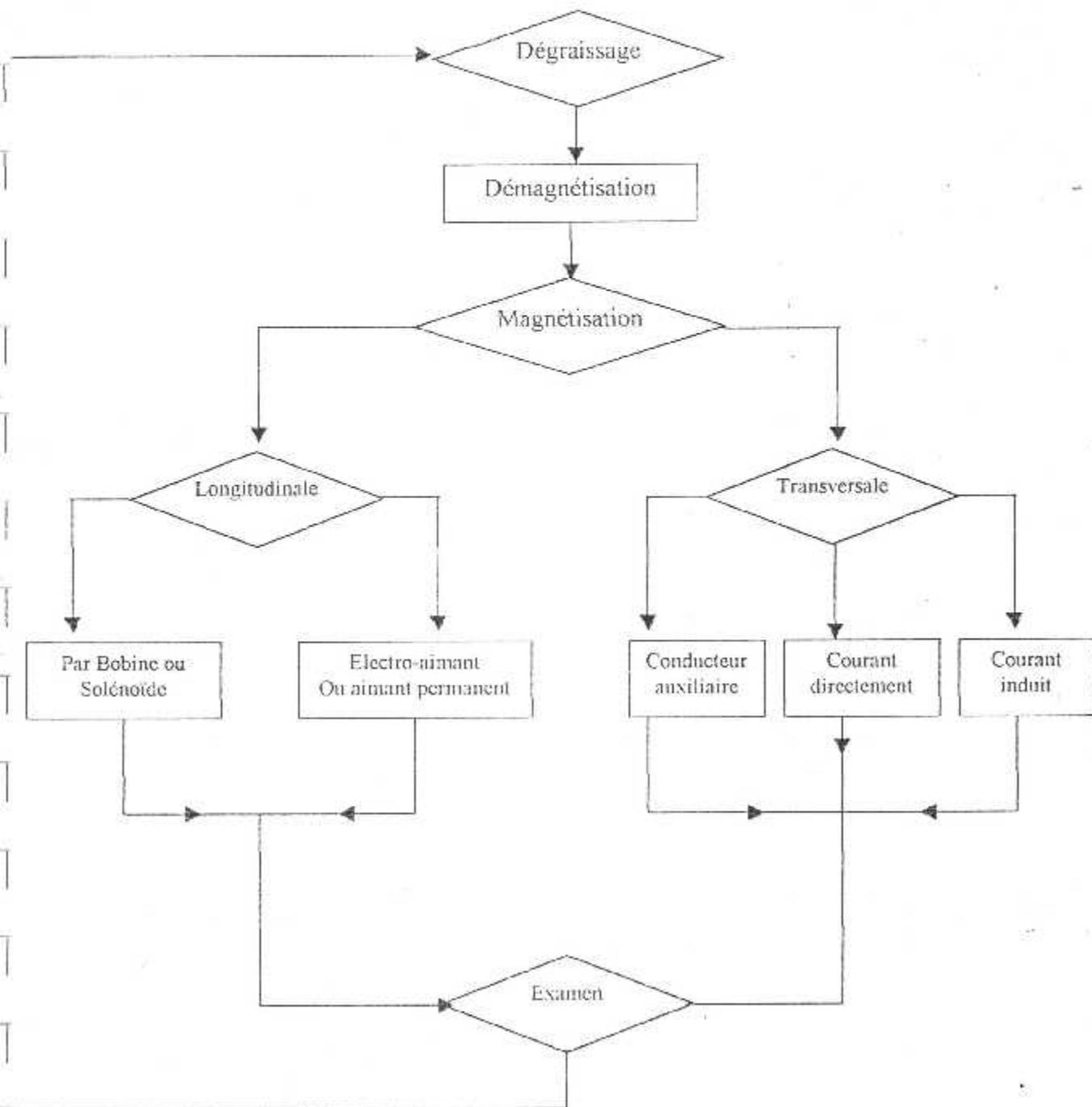


*Chapitre IV:*  
INSPECTION PAR  
MAGNETOSCOPIE EN  
AERONAUTIQUE

**Introduction :**

Dans l'atelier de contrôle non destructif d'air Algérie, centre révision Moteur pour le contrôle en maintenance des pièces « moteur » d'avions par magnétoscopie toutes les procédures et méthodes d'examens ci après citées dans la présente thèse, sont appliquées rigoureusement dans le contrôle.

**IV-1. L'organigramme de contrôle par magnétoscopie :**



**IV-2- Rédaction d'une procédure de contrôle :**

Les étapes obligatoires :

**IV-2-1. Description de la pièce ou la zone à inspecter :**

- \* Définition de l'examen à effectuer
- \* Désignation de la pièce (nom n° de lot, classe de pièce)
- \* Description de la pièce (croquis coté)
- \* Numération et repérage de différentes parties de la pièce (si nécessaire)
- \* Stade d'examen de la pièce (étape de fabrication maintenance)
- \* Nuance du matériau
- \* Procédé d'élaboration
- \* Etat de surface

**IV-2-2. Description des dommages possibles :**

- \* Nature des défauts possibles
- \* Localisation et dimension suspectées
- \* Orientations

**IV-2-3. Document liés :**

- \* Documents de référence ayant servi à l'établissement de la procédure.
- \* Document du constructeur
- \* Instructions générales de bureau d'étude.

**IV-2-4. Matériel et équipement nécessaires :**

- \* Appareil de magnéto scopie ( caractéristique principale )
- \* Type et fabrication
- \* Type de courant disponibles
- \* Liquide révélateur utilisé (type et fabricant)
- \* Calcs étalons disponibles
- \* Mesureur de champ (type et fabricant)
- \* Témoins d'aimantation (type)
- \* Indicateur de champ rémanent (type et fabricant)
- \* Eprouvette de sédimentation
- \* Installation de dégraissage (ou préparation de surface)
- \* Cabine d'examen avec éclairage adéquat

- \* Tunnel de désaimantation (démagnétiser)
- \* Conducteur auxiliaires si nécessaire (diamètre et longueur)
- \* Matériel annexe (lampe, règle ...)

#### **IV-2-5. Préparation avant inspection :**

IV-2-5-1. Consulter les consignes d'hygiène et de sécurité .

- \* S'assurer que les vérifications périodiques de l'installation ont été effectuées, et remplir le calendriers des vérifications
- \* Désaimanter la pièce
- \* Préparation de surface (dégraissage phase vapeur)
- \* Réaliser un examen visuel

#### **IV-2-6. Mode opératoire :**

- \* Préciser la méthode utilisée (Aimantation transversal ou longitudinale) faire un croquis si nécessaire .
- \* Indiquer le type du courant utilisé
- \* Mentionner l'intensité de courant (A) ou la force magnéto-motrice à utiliser.
- \* Préciser le temps d'aimantation (Si nécessaire)

#### **IV-2-7. Critères d'acceptation :**

En fonction des documents, ou des instructions de la direction qualité ou de bureau d'étude .

#### **IV-2-8. sanction :**

- \* Etablir la sanction du contrôle (pièce acceptée , refusée , douteuse).
- \* rédiger le procès verbal de contrôle, en y mentionnant :
  - Les défauts détectés (nature, dimension, localisation)
  - La sanction du contrôle

#### **IV-2-9. Opération finales :**

- \* Désaimanter la pièce
- \* Nettoyer la pièce (solvant ou dégraissage phase vapeur)
- \* Conditionnement de la pièce (problème de corrosion)

#### **Note :**

Dans le cas ou le contrôle magnétoscopique nécessite plusieurs aimantation, les diverses techniques et paramètres à utiliser sont à préciser dans le mode opératoire, en indiquant s'il y a lieu de désaimanter les pièces entre aimantation .

### IV-3. Révélation magnétique :

Les produits révélateurs utilisés dans le domaine aéronautique sont essentiellement des révélateurs liquide fluorescents en raison de leur meilleur sensibilité de détection .

Ils sont constitués d'une poudre magnétique à grains fins en suspension dans un liquide porteur .

Le liquide porteur est un produit pétrolier (généralement du Kérosène désaromatisé de type kérosène présentant les propriétés suivantes :

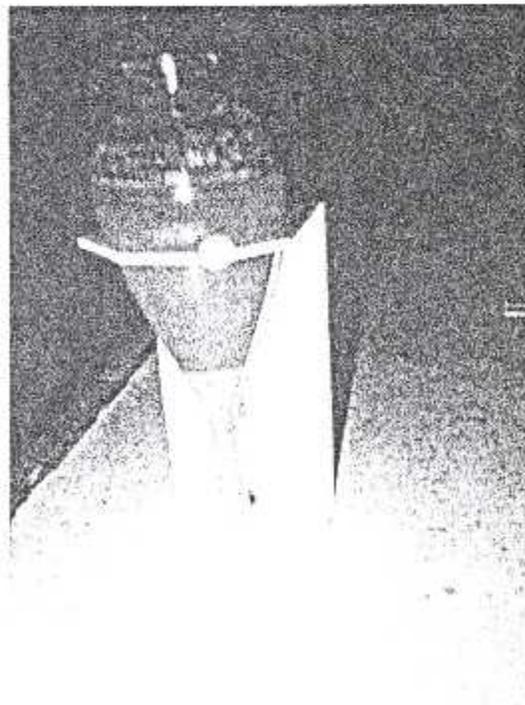
1- Haut point d'éclair .

2- Viscosité, cinématique inférieure ou égale à 5 sont stockés à 20°C .

\* La poudre est constituée de grains ferromagnétiques enrobés dans une substance fluorescente sans lumière ultra-violette .

\* La dimension des grains sont inférieure à 30  $\mu\text{m}$ , La concentration volumique de produit doit être vérifié périodiquement, à l'aide d'une éprouvette de sédimentation .

Après avoir laisser reposer le liquide révélateur pendant 30 minutes, le volume déposé doit être comprise entre 0,1 et 0,7 ml pour 100 ml (0,1% a 0,7%), et doit être conforme aux spécifications du fournisseur de produit .



IV- (figure 1) : Eprouvette de sédimentation

#### IV-4. Recherche des criques au niveau de l'APU :

##### IV-4-1. Description des zones de pièces à inspecter :

a- Arbre de liaison moteur :

- Recherche de criques de fatigue. Sur toute les zones et surface des pièces

Cannelure, épaulements, arbre lisse, etc . . . (IV- figure 4).

b- Boîtier de roulement :

- Recherche des criques de fatigue, sur les surfaces internes et externes de la pièce sans conditions (IV- figure 5).

##### IV-4-2. Dommage possibles :

a) crique de fatigue, fluage

b) érosion usures

##### IV-4-3. Document liés :

- (Engineering. Work order (EW/O) Revision general reference: overt haul manuals)

- EW/O N° 18/85/02 . date du 20/07/02 .

- overhaul manuals \* G TCP 85-129-85-98 CK .

\* G TCP 85-185 L.

- Tâche de travail - ITEM N° 09 – NDI

##### IV-4-4. Matériel et équipement :

Banc magnétoscopique : Mag 50 (Magna flux) (figure 2)

- Entre mors (Passage de courant alternatif d'intensité crête)

- Solénoïde : \* nombre de spire 05 spires

\* Longueur : 80 mm

\* Diamètre interne : 310 mm

\* Intensité maximale : 2000A/T

\* liqueur ARDOX 85/30

- mesure de champ : non utilisé par niveau un et non disponible

- éprouvette de sédimentation

- dégraissage à froid dans un bac de trichloréthylène.
- chambre noire.
- conducteur auxiliaire pour passage de courant (inspection des faces internes du boîtier de roulement), barre de cuivre de diamètre 20mm, longueur 200mm.

#### IV-4-5 Préparation avant inspection :

- désaimanter les pièces dans le tunnel de désaimantation.(Figure 3)
- dégraissage au solvant trichloréthylène.
- examen visuel des pièces.

#### IV-4-6 Mode opératoire :

- On se réfère au ENG/0, item 09 (tâche de travail).
- inspection NDT, MIL-STD 1949-MPI.

##### \* L'arbre de liaison moteur :

- passage de courant directement dans la pièce entre mors, intensité crête 470 A (Alternatif) plus dégraissage.
- passage de flux magnétique (solénoïde 900A/T) plus désaimantation et dégraissage.

##### \* boîtier roulement :

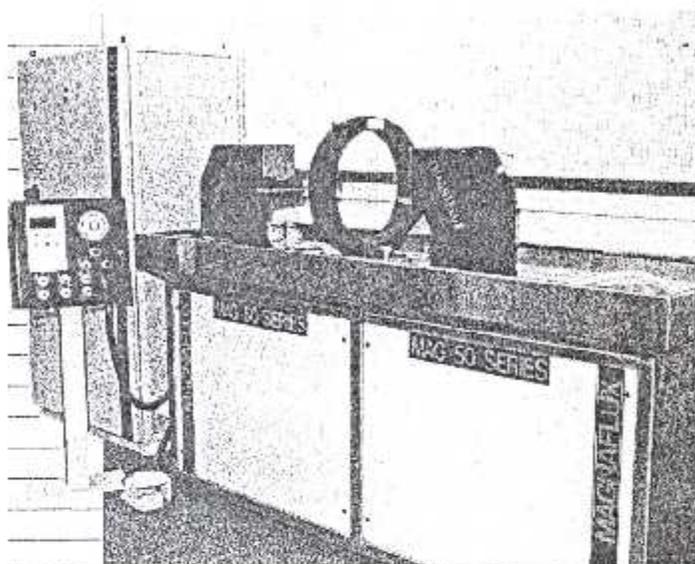
- passage de courant dans un conducteur auxiliaire excentré (aimantation transversal, intensité 300A et barre de cuivre de diamètre 20mm, longueur 200mm, puis dégraissage.
- par solénoïde (aimantation longitudinale) de 950A/T (position de la pièce : axe du boîtier parallèle à l'axe central de la bobine) et dégraissage puis désaimantation.

#### IV-4-7. Critères d'acceptation :

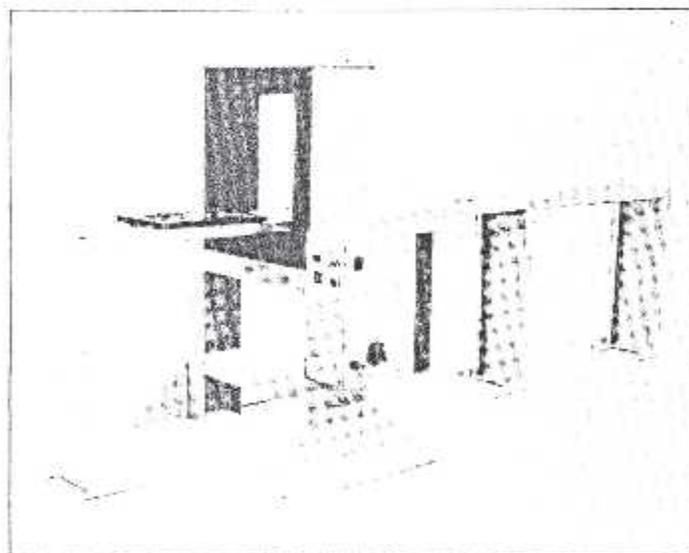
- aucune crique n'est permise
- les usures et érosions sont laissées à l'appréciation de l'ingénieur.

**IV-4-8. Sanction :**

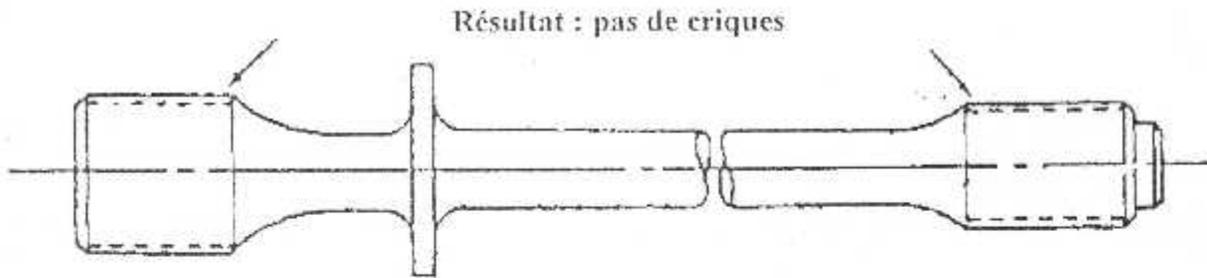
- \* Arbre de liaison moteur : Pas de crique détecté (Pièce accepté)
- \* Boîtier de roulement : Présence de deux Criques internes de 3 mm de longueur (Pièce refusé) .



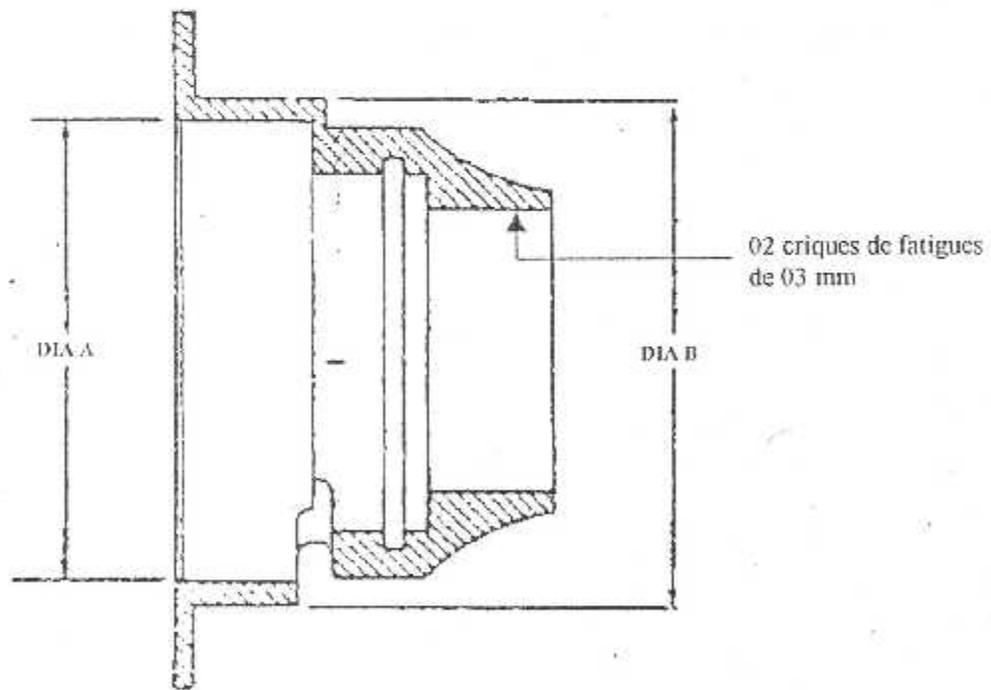
IV- (figure 1) : Mag 50 (Magna flux)



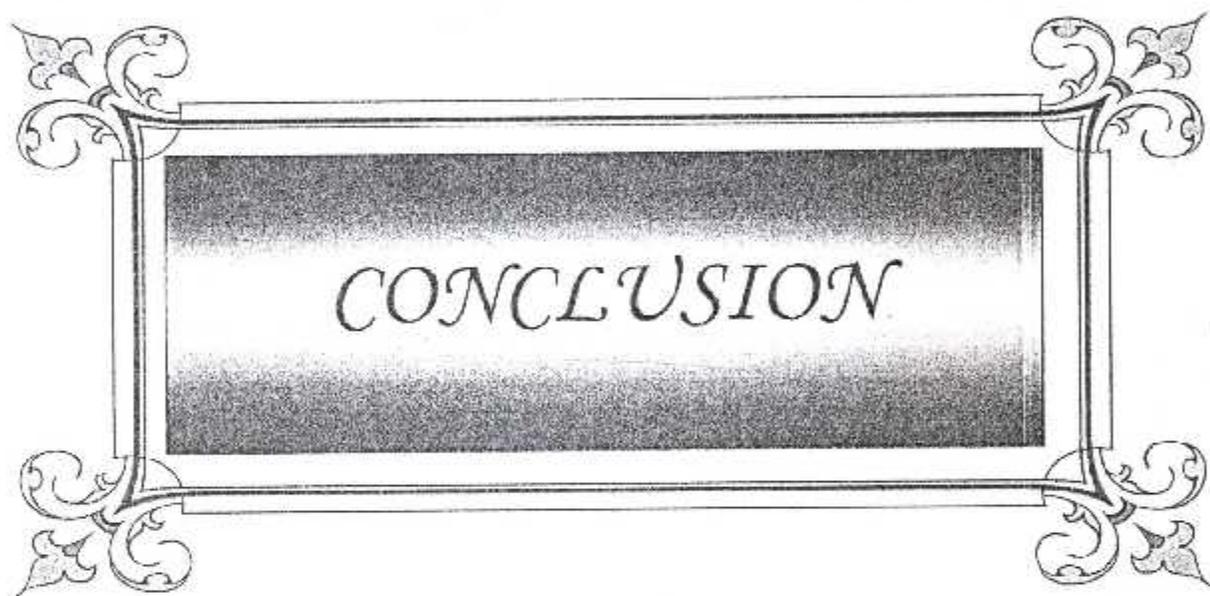
IV- (figure 3) : Le tunnel de désaimantation



IV- (Figure 4) : L'arbre de liaison moteur



IV- (Figure 5) : Boîtier de roulement



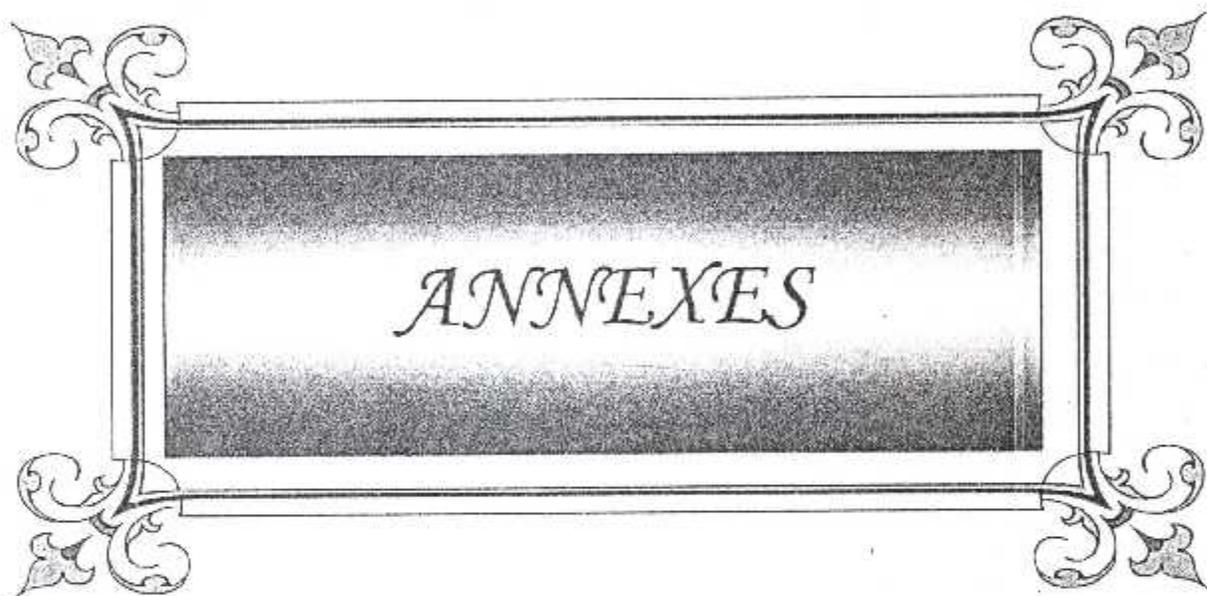
CONCLUSION

## Conclusion :

Vue 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 magnétoscopique.

- Le travail effectué au C S C et au niveau de l'atelier H 400 service de contrôle non destructif d'AIR ALGERIE, nous ont permis d'exploiter nos connaissances dans le cas pratique d'une maintenance réelle sur un avion, et de présenter les conclusions suivantes :
- Les défauts réalisés sur les pièces ferromagnétiques ont été détectés et identifiés avec une précision satisfaisante par le procédé de contrôle par magnétoscopie. Néanmoins le manque d'équipement photographique, ne nous a pas permis d'archiver ce contrôle.
- Cette technique peut être appliquée sur toutes les pièces ferromagnétiques quelque soit leur taille, forme, composition et structure. Elle possède une facilité de détection des défauts situés en surface ou sous-jacents, elle est très simple, peut être utilisée pratiquement par tout, en utilisant un équipement portable aussi que la rapidité d'obtention des résultats.
- Ce travail permet à l'opérateur d'optimiser les paramètres de contrôle et de faciliter l'interprétation des résultats.
- 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.
- Appliquer nos connaissances en aéronautique.
- De plus les différents travaux effectués au niveau d'AIR ALGERIE. Nous ont permis de connaître l'étendue du contrôle par magnétoscopie dans l'inspection d'un avion.

Enfin nous espérons que ce travail sera un moyen efficace et un support utile pour les futurs étudiants et leur donnera le goût d'une discipline qui ne cesse de conditionner dans une large mesure, le développement industriel en général est l'Aéronautique en particulier.



*ANNEXES*

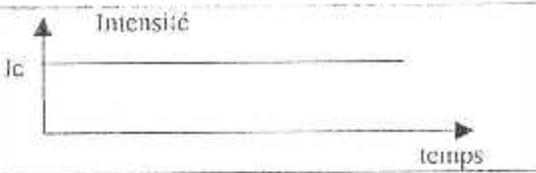
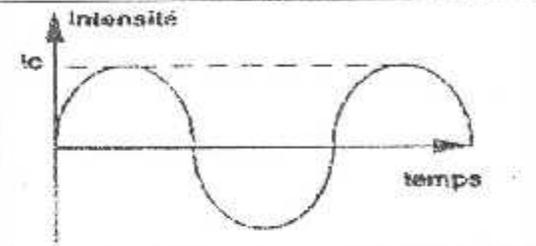
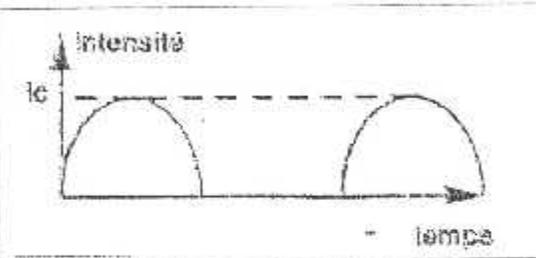
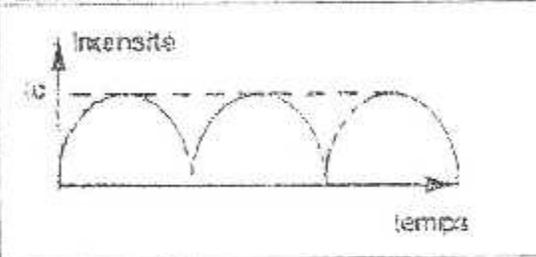
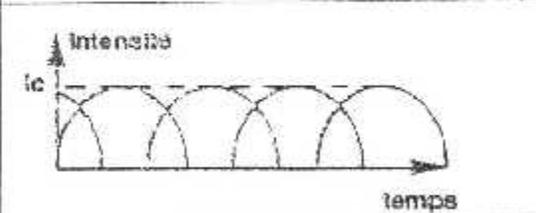
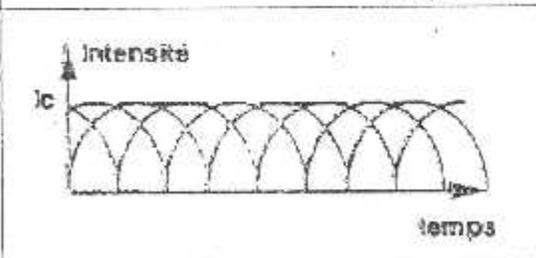
**ANNEXE 01**

Méthode	Application	Avantages	Précautions d'emploi inconvenients
Inspection visuelle/optique	Détection de défaut en surface ou de dommages structuraux sur tout matériaux.	Utilisation simple là ou les autres méthodes sont impraticables. Efficacité améliorée par aides optiques.	Fiabilité dépend de la compétence de l'opérateur. Accessibilité requise pour vision directe ou endoscopie.
Ressuage	Détection des criques en surface sur tout matériaux, pièces de fonderie, forgées, usinées, soudures.	Utilisation simple, précision, rapidité, interprétation facile.	Défaut doit être ouvert en surface et accessible à l'opérateur. Peut être caché par de la limaille
Courant de FOUCAULT	Détection des défauts des surfaces métalliques, criques, trous, corrosion, contrôle de TT. Mesure de conductivité sur zones exposées au feu	Recherche de criques sur trous de rivetage non-inspectables par les 2 méthodes précédentes. Rapidité, sensible, portable.	Sensible aux combinaisons et variations dans les matériaux, sondes spéciales requises pour chaque application.
RAYONS X	Détection de défauts internes tels que criques, corrosion, inclusion, et variations d'épaisseur.	Evite des désassemblages grande sensibilité. Enregistrement sur fils.	Radiations dangereuses opérateurs qualifiés. Matériels de traitement de film, détection dépend de l'orientation de crique. Source électrique et équipement spéciaux.
Magnetoscopie	Détection des défauts en surface ou proches de la surface sur matériaux ferromagnétique de formes quelconques, contrôle de traitement thermique.	Principe simple. Facile, grande sensibilité. Enregistrement sur fils.	Nettoyage préalable. Démagnétisation après inspection, détection dépend de l'orientation du défaut.
Ultrasons	Détection de défauts en surface ou proches de la surface, criques décollement. Mesure d'épaisseur sur la plus part des métaux.	Rapidité, facilité de mise en œuvre. Lecteur immédiate des résultats, grande précision et sensibilité, portable.	Opérateur qualifiés, source électrique, sensibilité des modes de détection à l'orientation de crique étalonnage nécessaire.
Rayons gamma	Détection de défaut internes tels que criques, corrosion, d'épaisseur dans parties chaudes moteurs.	Radiographie dans zones ou rayons X impossibles, source électrique non nécessaire	Radiations dangereuses. Matériel de traitement de film.

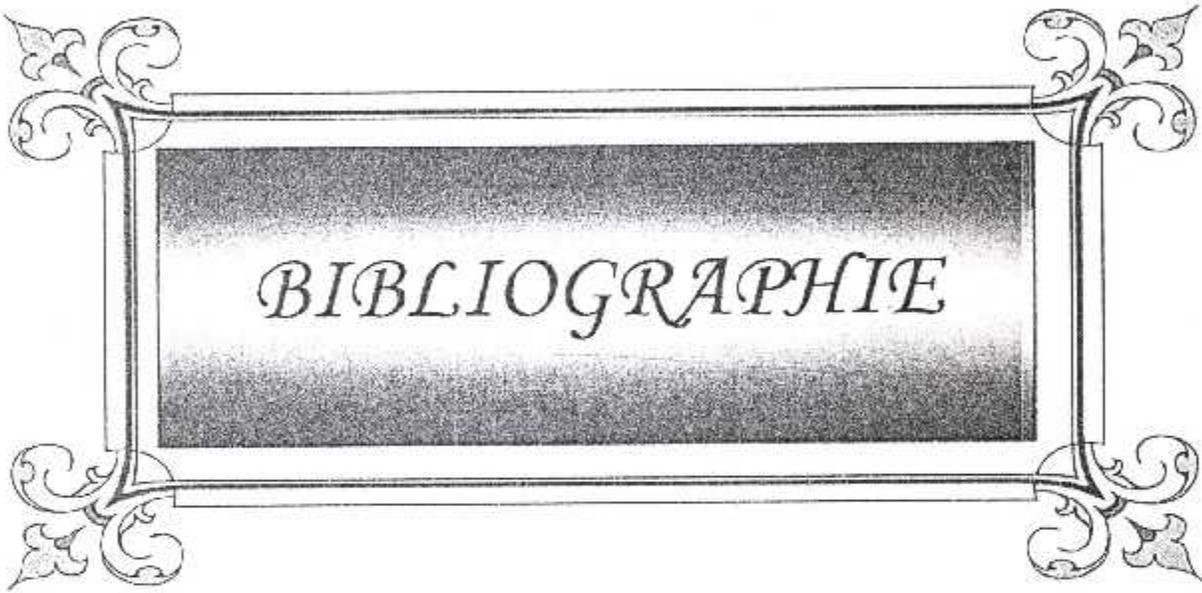
**ANNEXE 2 : CONTROLE NON DESTRUCTIF TESTING**

DOMAINES	Méthodes de contrôle utilisables	Ressuage	Magnétoscopie	Radiographie	Ultrasons courants de foucault	Optique
<b>Fontes</b>	Types de défauts					
	Porosité	XX		XX		
	Discontinuité apparente à la surface se produisant si deux flots liquides se rencontrent	XX	XX	XX	XX	
	Vides			XX	XX	XX
<b>Forages</b>	Impuretes non métalliques			XX	XX	
	Couture a la surface, venant d'un pliage des pointes fines et aiguës, forgé ensuite dans la surface du métal chaud					XX
	Inclusions			XX	XX	
	Eclatement			XX	XX	
	Fissures	XX	XX	XX	XX	
	Fissures venant d'un pliage d'un métal à la surface	XX	XX		XX	
<b>Produits laminés</b>	Marques de laminage	XX	XX		XX	
	Inclusions	XX	XX		XX	
	Séparations ou défauts internes, en général du métal, alignés en parallèle à la surface laminée.	XX	XX		XX	
	Mauvaise extrusion, due à une surface oxydée, de la billette	XX	XX		XX	
<b>Soudures</b>	Fusion incomplète		XX	XX	XX	
	Pénétration en profondeur incomplète		XX	XX	XX	
	Fissures	XX	XX	XX	XX	
	Impuretes non métalliques	XX		XX	XX	
	Porosité	XX		XX	XX	
<b>Produits finis</b>	Usures venant des déformations excessives d'un usinage	XX	XX		XX	XX
	Fissures venant d'un traitement thermique	XX	XX	XX	XX	XX
	Fissures superficielles venant d'une rectification avec échauffement du métal trop important	XX	XX			XX
	Fissures venant de la réduction de la ductilité d'un métal, due à un traitement physique (déformation à froid) ou chimique	XX	XX			XX
	Fissures du revêtement métallique	XX	XX	XX		XX
<b>Usures en serv</b>	Fissures de fatigue	XX	XX	XX	XX	XX
	Préventives aux endroits d'une concentration de contraintes	XX	XX	XX		XX
	Corrosion				XX	XX
<b>Structures composées</b>	Fissures et inclusions			XX		
	Décollage des surfaces métalliques				XX	
	Epaisseurs des couches non ferromagnétiques sur des supports ferromagnétiques					XX
	Epaisseurs des couches non conductrices électriquement sur des supports non ferromagnétiques					XX

**ANNEXE 3 : RELATION ENTRE VALEUR LUE ET VALEUR CRETE  
FACTEUR CORRECTIF A APPLIQUER**

CONTENU		$I_{\text{eff.}} = I_{\text{moy.}} = I_c$	1
ALTERNATIF SINUSOIDAL		$I_{\text{eff.}} = 0,707 \cdot I_c$ $I_{\text{moy. red.}} = 0,637 \cdot I_c$	1,4 1,6
MANOPHASE REDRESSE UNE ALTERNANCE (PULSE)		$I_{\text{eff.}} = 0,500 \cdot I_c$ $I_{\text{moy.}} = 0,318 \cdot I_c$ $2 \cdot I_{\text{moy.}} = 0,637 \cdot I_c$	2 3,1 1,6
MANOPHASE REDRESSE DEUX ALTERNANCES (PULSE)		$I_{\text{eff.}} = 0,707 \cdot I_c$ $I_{\text{moy.}} = 0,637 \cdot I_c$	1,4 1,6
TRIPHASE REDRESSE UNE ALTERNANCE		$I_{\text{eff.}} = 0,841 \cdot I_c$ $I_{\text{moy.}} = 0,327 \cdot I_c$	1,2 1,2
TRIPHASE REDRESSE DEUX ALTERNANCES		$I_{\text{eff.}} = 0,956 \cdot I_c$ $I_{\text{moy.}} = 0,955 \cdot I_c$	1 1

\* certains appareils indiquent la valeur de 2 fois l'intensité moyenne



*BIBLIOGRAPHIE*

## BIBLIOGRAPHIE

1- *Electrotechnique à l'usage des ingénieurs T(1)*

A. FOUILLE, Paris 1981.

2- *Principles of magnetic particle testing*

CARL E. BETZ. February 1, 1967 .

3- *N.D.T EXPERI' BOOK*

magnetoscopie 2001 .

4- *Contrôle non destructif du matériel tubulaire*

M . J . PELLE TIER 1975 .