



Licence Sciences et Techniques en Génie Industriel

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et
Techniques

Les contrôles non destructifs : Etude comparative

Lieu : FST/Fès

Référence :25/25-LST GI

Présenté par :

ES-SAMERI MOHAMED

Soutenu Le 05 Juillet 2022 devant le jury composé de :

- **Mr. RAMADANY**
- **Mme. RZINE**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A tous mes proches sans exception

A tous mes amis sans exception

A tous ceux qui je connais

Remerciements

Je remercie Dieu, le tout puissant pour m'avoir, donné santé, patience, volonté et surtout raison. Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadrant, Mr RAMADANY pour avoir d'abord proposer ce thème, et lui exprime ma gratitude, pour la disponibilité et la patience dont elle a fait preuve et dont les précieux conseils et les remarques pertinentes et pour son suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire dans les meilleures conditions.

Je remercie également les membres du jury Mr RAMADANY et Mme RZINE. Enfin un grand merci à mes enseignants et aux membres de département de génie industriel qui ont contribué à ma formation par ailleurs.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : les techniques de contrôle non destructif.....	
1.1. Principe de la détection d'un défaut.....	2
1.2. Techniques du CND.....	
1.2.1. Le contrôle visuel.....	3
1.2.2. La magnétoscopie.....	3
1.2.3. Le contrôle par ressuage.....	4
1.2.4. Le contrôle par Ultrasons.....	5
1.2.5. La radiographie.....	6
1.2.6. CND par courant de Foucault.....	7
Chapitre 2 : les applications industrielles du contrôle non destructif	
2.1. Applications industrielles avec ultrasons	
2.1.1. Le contrôle des assemblages boulonnés.....	9
2.1.2. La surveillance des corrosions.....	9
2.1.3. La caractérisation des polymères en cours de production	10
2.2. Applications industrielles avec courants de Foucault.....	11
2.3. Applications industrielles avec magnétoscopie.....	12
2.4. Application de la CND en nucléaire.....	12
Chapitre 3 : étude comparative entre les différentes techniques du contrôle non destructif	
3.1. Le contrôle visuel.....	14

3.2. La magnétoscopie.....	14
3.3. Le contrôle par ressuage.....	14
3.4. Le contrôle par Ultrasons.....	15
3.5. Le CND par courant de foucault.....	16
3.6. La radiographie.....	16
Conclusion générale.....	21

Liste des figures

Figure 1.1 : Principe du contrôle non destructif	2
Figure 1.2 : Principe de la magnétoscopie.	3
Figure 1.3 : Principe de contrôle par ressuage.	5
<i>Figure</i> 1.4 : Principe du contrôle par ultrasons.	6
Figure 1.5. Principe de la radiographie	7
Figure 1.6. Principe de la CND par courant de foucault.	8
Figure 2.1 : le contrôle des assemblages boulonnés.	9
Figure 2.2 : utilisation de la magnétoscopie sur un révélateur magnétique.	12
Figure 2.3 : le contrôle non destructif pour des centrales nucléaires.	13
Figure 3.1 : Inconvénient du contrôle par Ultrason	15

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des possibilités de détection des défauts plans et volumiques
.18

Tableau 2 : Résumé du contrôle non destructif
.19

Introduction générale

Le contrôle non destructif (CND) est l'ensemble des techniques aptes à fournir des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure industrielle sans les endommager, celui-ci correspond à la détection et la caractérisation des différents défauts et imperfections qui menacent la sécurité de fonctionnement des systèmes soumis à des contraintes mécaniques, thermiques, ou chimiques.

Les phénomènes physiques et les techniques sont multiples : procédés optiques, ressuage, flux de fuites magnétiques, rayonnement ionisant, vibrations mécaniques, contrôle d'étanchéité, procédés électromagnétiques, et les applications sont variées [1].

On parle aussi d'essais non destructifs ou d'examen non destructifs (END), ce qui évoque plutôt les examens en laboratoire que la qualité industrielle.

En ce sens, le CND apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité et de la santé des produits. Il se différencie de l'instrumentation de laboratoire et industrielle puisque l'objet est la détection et la mise en évidence des hétérogénéités, anomalies et défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et, plus généralement, la conformité d'un produit à l'usage auquel il est destiné, plutôt que de mesurer des paramètres physiques tels que le poids ou les cotes d'une pièce [2].

Les principales techniques du CND sont le ressuage, la magnétoscopie, les ultrasons, le contrôle par rayons X, la thermographie stimulée et les courants de Foucault. Ces méthodes exploitent des phénomènes différents et sont le plus souvent complémentaires. Le choix d'une méthode dépend de la pièce à contrôler (nature du matériau, forme, ...), du type de contrôle à effectuer (recherche de défauts, mesure d'épaisseur...) et des conditions d'inspection.

Pour bien présenter ce travail de fin d'études, nous l'avons organisé autour de trois principaux chapitres, en effet :

Le premier chapitre est dédié à l'étude bibliographique qui a pour but d'expliquer le CND à partir des différentes techniques mises en œuvre, mettant en avant les principes physiques qui les régissent. D'autre part, le deuxième chapitre est réservé aux applications industrielles de CND. Quant au troisième chapitre, il présente une étude comparative entre les différentes techniques de CND.

*Chapitre 1 : les techniques de
contrôle non destructif*

1.1. Principe de la détection d'un défaut

Les méthodes du CND sont fondées sur la déformation du champ d'une grandeur physique par une discontinuité. On exploite donc un phénomène physique pour détecter la présence d'une hétérogénéité dans un matériau (à l'exception des procédés visuels directs qui échappent à cette règle). Les principes physiques comme l'atténuation, réflexion ou diffraction des ultrasons, atténuation ou diffraction des rayons X ou γ , perturbation des courants de Foucault...sont à la base des END, ils peuvent servir à caractériser les matériaux (gros grain, anisotropie, dureté, état de contraintes, fissures surfaciques ou en profondeur...).

Les techniques de CND se différencient par l'énergie employée, énergie mécanique (ultrasons, ressuage), électromagnétique (radioscopie, observation dans le visible, flux magnétique...) ... [2].

Dans tout CND, on peut détecter les cinq étapes suivantes :

- La mise en œuvre d'un processus physique.
- L'altération de ce processus par le défaut.
- La révélation de cette variation par un détecteur approprié.
- Un émetteur de flux.
- Un récepteur ou détecteur.

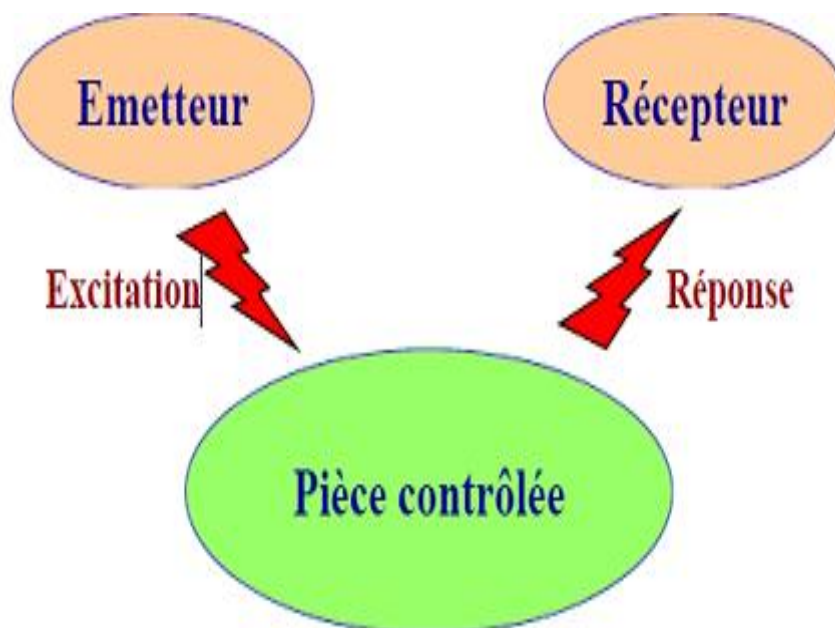


Figure 1.1 : Principe du contrôle non destructif

1.2. Techniques du CND

La diversité des pièces à inspecter, leurs géométries, leurs matériaux et des conditions d'inspection, interdit à une méthode de CND d'être universelle. Un certain nombre de techniques existe et chacune présente certains avantages et inconvénients. Il ne s'agit pas ici d'établir une liste exhaustive des techniques utilisées dans le domaine du CND, mais de donner un aperçu global des techniques les plus répandues industriellement. Plusieurs méthodes sont utilisées dans l'industrie et leurs champs d'utilisation s'étend à plusieurs applications. Chacune a son domaine d'action privilégié [3]. On distingue :

1.2.1. Le contrôle visuel

L'examen visuel est le premier des procédés de contrôle, le plus simple et le plus général puisque c'est aussi le point final de la majorité des autres procédés non destructif. L'examen visuel direct des pièces peut constituer un contrôle suffisant pour la détection des défauts débouchant en surface et surtout des hétérogénéités locales et superficielles (taches de différentes natures) constituant des défauts d'aspect rédhitoires pour des produits plats du types tôles, tissus, verre, ...etc. Toutefois l'examen purement visuel présente des limitations de différentes natures que nous allons examiner et qui justifient l'éclosion de toute une gamme de procédés de contrôle optique [4].

1.2.2. La magnétoscopie

Cette technique est utilisée pour les pièces ferromagnétiques (fer, fonte, ...), où elle ne s'applique qu'à des alliages susceptibles d'être aimantés. Elle est destinée à la détection des défauts superficiels, débouchant en surface ou sous-jacents (très proches de la surface de la pièce). Le contrôle par la magnétoscopie consiste à soumettre la pièce à un champ magnétique. Une poudre magnétique va être utilisée pour définir la répartition du champ magnétique. Dans le cas de la présence d'un défaut sur le chemin du champ magnétique, la densité de la poudre augmente en surface, ce qui se traduit par une variation du champ magnétique (création d'un flux de fuite) [5].

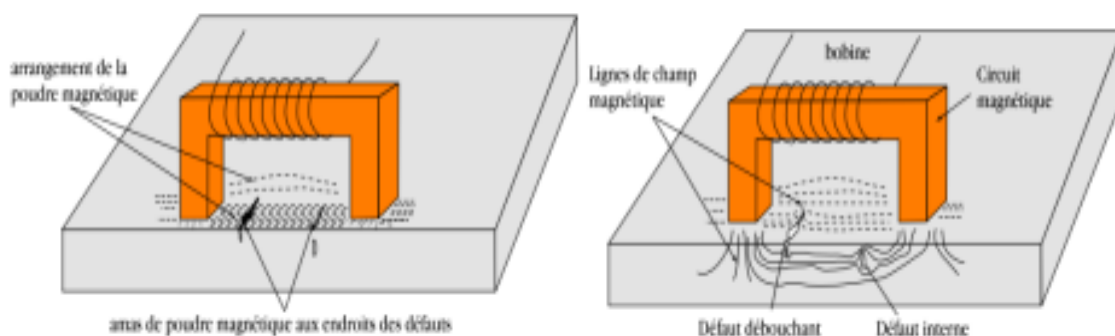


Figure 1.2 : Principe de la magnétoscopie

Cette technique est très efficace pour les petits défauts surfaciques et possède une très bonne sensibilité de détection des défauts plans. Néanmoins, elle ne permet pas de détecter les défauts profonds et sa mise en œuvre nécessite souvent la démagnétisation des matériaux [6].

1.2.3. Le contrôle par ressuage

La technique est très ancienne et réside dans la simplicité de sa mise en œuvre. C'est une méthode globale qui autorise un examen de la totalité de la surface de la pièce. Elle permet de bien apprécier la longueur des défauts indépendamment de leur orientation. On peut mettre en évidence des discontinuités débouchâtes de quelques dizaines de micromètres. Le contrôle par ressuage comporte trois étapes.

La phase initiale consiste à nettoyer la surface de la pièce et d'appliquer un liquide pénétrant, soit par immersion, soit par pulvérisation. La durée d'application est variable selon le type de pénétrant, mais se situe en général entre 15 et 30 minutes. Le choix du liquide dépend essentiellement de la rugosité de la surface à contrôler. Le pénétrant peut être un produit coloré (faible sensibilité), un produit pré-émulsionné (sensibilité moyenne) ou un produit fluorescent (sensibilité élevée). Le pénétrant appliqué s'infiltré dans les petits interstices débouchant en surface, un certain temps est nécessaire pour laisser « poser » le pénétrant.

La deuxième étape consiste à rincer la surface de la pièce pour enlever l'excès de pénétrant. Cette opération est délicate parce qu'un rinçage excessif ou insuffisant permet de fausser le résultat final.

Dans la troisième étape on applique un révélateur, liquide ou sous forme de poudre, sur la surface rincée, puis séchée. Le liquide (pénétrant) qui s'est introduit dans les fissures « ressort » à la surface dans le révélateur et s'élargit au niveau du défaut. Il devient nettement visible par un éclairage approprié qui dépend du pénétrant utilisé. La méthode ne donne aucune indication sur le volume et donc de l'importance des défauts [7].

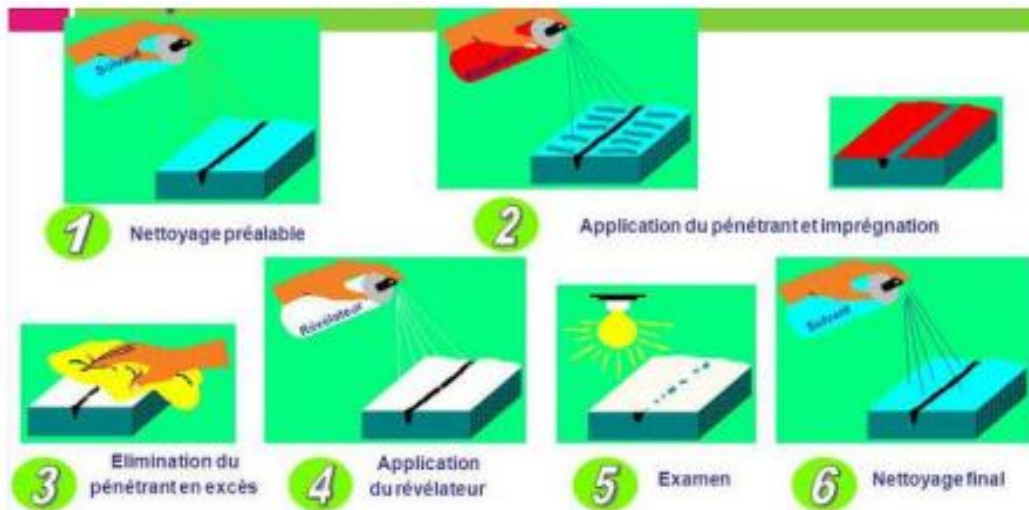


Figure 1.3 : Principe de contrôle par ressuage

1.2.4. Le contrôle par Ultrasons

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit dans le fond de la pièce et sur les défauts puis revient vers le transducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur). L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut. Cette méthode présente une résolution spatiale élevée et la possibilité de trouver des défauts en profondeur. L'étape d'inversion est simple, du moins pour les pièces géométriquement et matériellement simples. Par contre, c'est une méthode lente car il faut faire un balayage mécanique exhaustif de la pièce. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler plusieurs surfaces de la pièce pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts.

Une onde ultrasons est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact (le palpeur est en contact avec la pièce) ou par immersion (la pièce et le palpeur sont immergés dans de l'eau). Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion. Les ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho ». Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller-retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut. D'un point de vue pratique, on utilise un écran d'oscilloscope. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran

(figure 1.4) [8].

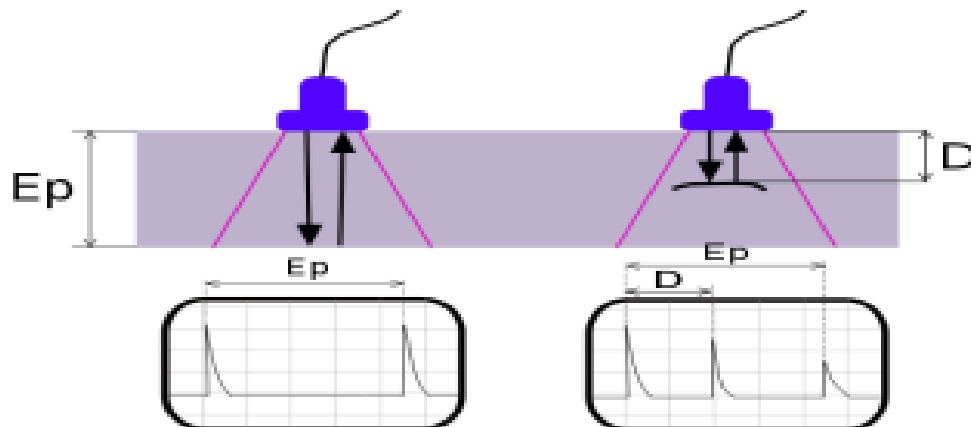


Figure 1.4 : Principe du contrôle par ultrasons

1.2.5. La radiographie

La radiographie est une technique couramment utilisée pour le contrôle interne des pièces. La mise en œuvre d'un contrôle radiographique découle du schéma de principe de la (figure 1.5). Le principe de cette méthode est basé sur l'attaque de la matière à examiner par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, où l'énergie des photons de ce rayonnement est partiellement absorbée par la matière rencontrée selon sa densité. Un capteur (écran, film, ...) est placé derrière la pièce et fournit un radiogramme de la zone traversée. Des variations locales de l'intensité apparaissent dans cette image qui interprète la présence du défaut.

L'inconvénient de cette méthode est sa mise en œuvre qui coûte du matériel spécialisé. En outre, elle nécessite le respect de règles de sécurité très strictes pour le contrôleur. La méthode est également influencée par l'orientation de la surface du défaut par rapport à la direction principale du rayonnement émis par la source [5].

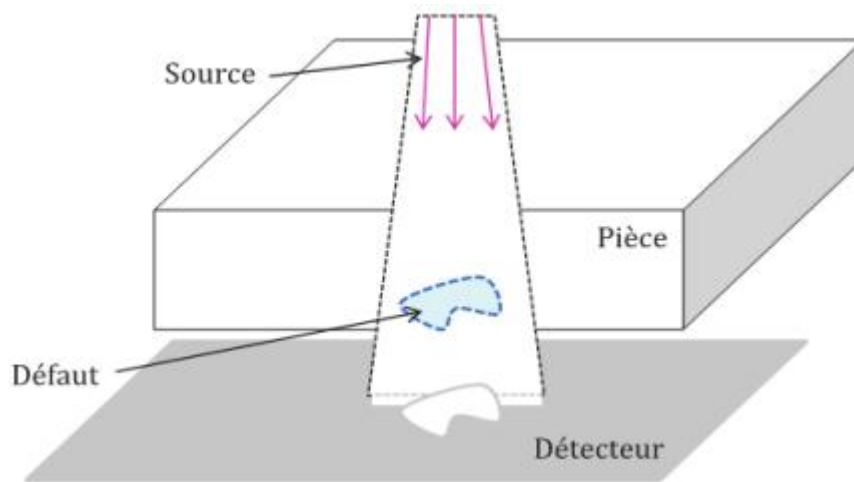


Figure 1.5. Principe de la radiographie

1.2.6. Le CND par courant de Foucault

Le phénomène de courants de Foucault (CF) a été découvert par le physicien français Léon Foucault en 1851. Il est défini comme suit : lorsqu'on applique un champ magnétique variable dans le temps sur un objet conducteur ou on déplace un objet dans un champ magnétique constant, il apparaît des courants induits qui s'appellent les CF. Leur distribution et leur répartition dépendent du champ magnétique d'excitation, de la géométrie et des caractéristiques de la structure examinée (σ , μ) [5].

La technique de CND par CF, repose sur l'utilisation d'une bobine parcourue par un courant d'excitation variable dans le temps, et placée au voisinage de la pièce conductrice testée (appelée cible). Des courants induits se créent dans la pièce en formant des boucles avec la même fréquence que le courant d'excitation. Ces courants à leur tour créent un champ magnétique induit qui s'ajoute au champ émetteur. La présence d'un défaut dans la pièce perturbera la circulation des CF, autre mot la déviation de la circulation des CF proche du défaut, modifiera donc le champ magnétique résultant. Cette modification entraîne une variation de l'impédance de la bobine. La figure 1.6 illustre le principe du CND par CF [5].

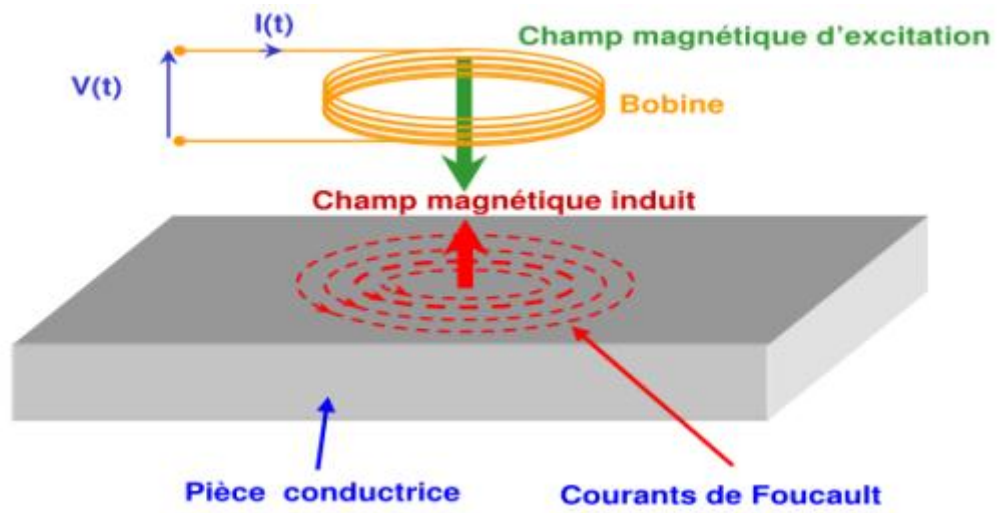


Figure I.6. Principe du CND par courants de Foucault

*Chapitre 2 : les applications
industrielles du contrôle non
destructif*

2.1. Applications industrielles avec Ultrasons

2.1.1. Le contrôle des assemblages boulonnés

S'il est possible de recourir à la clé dynamométrique pour vérifier le couple de serrage des vis et des écrous, la méthode par ultrason offre des résultats plus précis en tant que méthode de contrôle non destructif. Elle se mesure par le temps de parcours de l'onde ultrasonore qui va transmettre les données, aboutissant au diagnostic. À noter que cette méthode nécessite tout de même une opération de calibrage au préalable, effectuée sur un boulon desserré afin de disposer d'une mesure de référence [9].

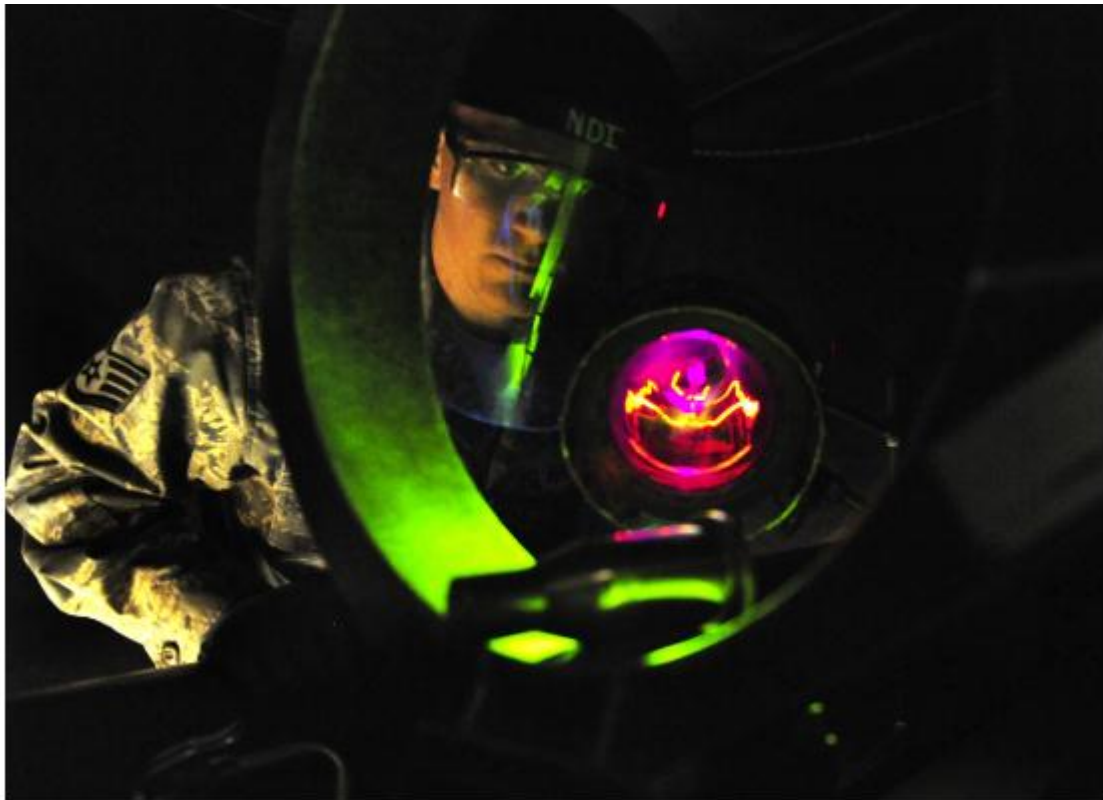


Figure 2.1 : le contrôle des assemblages boulonnés

2.1.2. La surveillance des corrosions

Dans le cadre d'une surveillance de la corrosion, la méthode de contrôle ultrasonore est à privilégier pour contrôler la qualité : extrêmement précise, elle permet de révéler les défauts aussi bien dans le volume de la matière que dans la surface. Avec l'imagerie TOFD (Time Of Flight Diffraction), on peut visualiser une coupe longitudinale de l'épaisseur sur un mètre de

longueur. Conjugée à un outillage de type « chariot », il est ainsi possible de cartographier l'état de la corrosion sur une plus grande distance [9].

2.1.3. La caractérisation des polymères en cours de production

Pour contrôler la caractérisation des polymères en cours de production, la méthode privilégiée consiste à utiliser les ondes ultrasonores à basse énergie. En se propageant, elles acquièrent les caractéristiques reflétant les propriétés du matériau. Elles fournissent ainsi un grand nombre d'informations précieuses telles que la viscosité, la composition des alliages, la dispersion des additifs ou encore la masse moléculaire [9].

2.2. Applications industrielles avec courant de Foucault

La technique de détection des défauts par courants de Foucault à l'aide de bobines encerclantes se trouve très bien adaptée au contrôle industriel à grande cadence de tous les produits longs métalliques. Elle très utilisée dans les industries métallurgiques des ferreux et des non - ferreux, où l'on détecte ainsi des défauts superficiels de nature variée sur des fils, des barres et des tubes de petits diamètres (inférieurs à quelques centimètres). Une telle technique peut mettre en évidence, sur ces produits, non seulement des défauts de santé superficiels tels que les criques, les piqures et les petites pailles, mais aussi des défauts de géométrie tels que des variations brusques de diamètre ou d'épaisseur de paroi, des hétérogénéités de structure telles que des zones à gros grains, etc.

Le contrôle en ligne de fabrication est possible et est couramment utilisé en sidérurgie, par exemple, directement en sortie de laminoirs à chaud, le fil machine passant à plus de 100 km/h et à plus de 600 °C dans une bobine protégée en conséquence. La technique de la projection de phase permet en général de bien à laminer, dans ces contrôles, l'influence néfaste que produisent les vibrations du fil sur le signal utile.

Le procédé à sonde encerclant devient toutefois insuffisamment sensible lorsque l'on veut contrôler des produits longs de gros diamètre ou lorsqu'on recherche de très petits défauts sur des produits bien calibrés et présentant un bon état de surface tels que les étirés et les tréfilés.

On préfère dans ce cas utiliser les procédés dits à sondes tournantes, basés sur l'auscultation de la surface selon des pistes hélicoïdales ; 2 ou 4 sondes Pick - up tournent à grande vitesse autour du produit lui - même en défilement lent à l'intérieur du rotor de la machine.

Les sondes sont constituées de petites bobines qui effleurent la surface du produit et présentent ainsi une grande sensibilité aux fins défauts longitudinaux tels que les longues criques appelées lignes dont la profondeur peut être inférieure à 100 mm.

La bonne tenue des sondes tournantes implique un bon guidage et un bon centrage du produit dans le rotor de la machine qui constitue généralement le cœur d'un banc de contrôle " barre par barre " ; celui - ci comporte en outre un bobinage de saturation magnétique et un bobinage de démagnétisation lorsqu'il s'agit de contrôles des produits en acier ferromagnétique, ainsi qu'un système de marquage des défauts ou d'aiguillage pour à laminier les barres ou tubes défectueux.

Le contrôle des tubes en service est une application importante du contrôle par courants de Foucault, étant donné l'importance de la maintenance des chaudières, des échangeurs et surtout des générateurs de vapeur des centrales nucléaires. On sonde ici les tubes par l'intérieur en utilisant un " furet " poussé et tiré par un câble et constitué par une ou des bobines longitudinales et concentriques au tube [11].

2.3. Applications industrielles avec la magnétoscopie

La magnétoscopie est ainsi une méthode largement utilisée dans le domaine des END et plus particulièrement dans des secteurs tels que : transport (aéronautique, automobile, ferroviaire, marine, remontées mécaniques), énergie (pétrole, thermique, hydraulique, nucléaire), chaudronnerie, métallurgie (fonderie, forge), mécanique, agro-alimentaire (sucreries, etc.), cimenteries, complexes chimiques, Défense, manèges à sensations, etc., tant en fabrication qu'en maintenance.

Elle permet de contrôler des pièces en fer, en fonte, des aciers forgés, des soudures, des tôles, des tubes... bref, toutes sortes de pièces de géométrie simple ou complexe, pourvu que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique.

La méthode est complémentaire de celle des ultrasons ou des courants de Foucault. Là où les ultrasons détectent les discontinuités sous-jacentes peu profondes, la magnétoscopie met en évidence toutes les discontinuités débouchant en surface (ayant jusqu'à quelques micromètres de largeur), et certaines discontinuités sous-jacentes peu profondes. Contrairement aux courants de Foucault, elle est peu sensible aux effets de géométrie ; elle ne se limite pas à un contrôle local.

La magnétoscopie fait en effet partie des méthodes dites "globales", qui autorisent l'inspection de l'ensemble d'une pièce en une seule opération. Les contrôles, relativement rapides, s'effectuent aussi bien sur des vis de dix millimètres de long que sur des vilebrequins de locomotive Diesel électrique ou encore sur des trains d'atterrissage d'avions [12].



Figure 2.2 : utilisation de la magnétoscopie sur un révélateur magnétique

2.4. Applications du CND en nucléaire

Ajoutés aux nouveaux dispositifs mis en place après la catastrophe de Fukushima et alors que la durée de vie des centrales est prolongée de vingt ans, les contrôles non destructifs contribuent à garantir la sûreté des installations nucléaires. A la suite de la catastrophe de Fukushima en mars 2011, de nouveaux scénarios ont été intégrés par les autorités dans leurs préconisations en matière de sûreté nucléaire.

Ils notamment donné lieu à des obligations d'équipements supplémentaires (centres de crises locaux, groupes électrogènes diesel d'ultime secours, refroidissement ultime...).

En France, ces nouveaux dispositifs de sûreté s'ajoutent au programme de grand carénage d'EDF, qui permet de prolonger l'exploitation des centrales nucléaires de vingt ans, et ainsi de porter leur durée de vie à 60 ans.

Ce programme renforce les opérations de vérification et de maintenance, un processus amélioré dans lequel le contrôle non destructif joue un rôle important.[13]



Figure 2.3 : le contrôle non destructif pour des centrales nucléaires

Chapitre 3 : étude comparative entre les différentes techniques du contrôle non destructif

3.1. Le contrôle visuel

- Avantages

- examen simple, rapide moins coûteux,
- souplesse d'inspection.

- Inconvénients

- pas de dimensionnement des défauts,
- la surface doit être propre,
- pas d'interruption des parcours optiques entre l'œil et la pièce examinée,
- résolution et sensibilité limitées

3.2. La magnétoscopie

- Avantages

La méthode est relativement simple de mise en œuvre. Elle permet une localisation précise des défauts de surface ou légèrement sous-jacentes et une appréciation de leur longueur. Les différentes séquences de la mise en œuvre se prêtent bien à l'automatisation.

- Inconvénients

La méthode ne s'applique que sur les matériaux ferromagnétiques et la sensibilité est dépendante de l'orientation du défaut par rapport à la direction générale des lignes d'induction. Elle ne permet pas une appréciation de la profondeur et l'interprétation dans la phase de révélation reste parfois très délicate : l'automatisation de cette dernière phase n'a pas encore vraiment débouché industriellement. Une désaimantation des pièces après contrôle est nécessaire pour les pièces exposées à un environnement sévère [14].

3.3. Le contrôle par ressuage

- Avantages

- facilité de mise en œuvre et relativement sensible aux fissures débouchant et rapide,
- résolution spatiale élevée,
- appliqué sur les matériaux diélectriques et non ferromagnétique.

- Inconvénients

- limite de l'application sur les matériaux non poreux (bruit de fond trop important)
- il est impossible de déterminer les dimensions exactes des défauts,
- danger des solvants toxiques, corrosifs et inflammable.

3.4. Le contrôle par Ultrasons

- Avantages

- La méthode se prête bien à la détection des défauts localisés dans le volume de la pièce et elle présente une grande sensibilité, notamment pour la recherche de défauts plans.
- Contrôle sur métaux, plastiques, matériaux divers.
- Epaisseurs contrôlables trop importantes.
- Elle peut être utilisée indifféremment sur chantier ou en atelier et se prête bien à l'automatisation.

- Inconvénients

- La sensibilité de la méthode est fortement influencée par l'orientation de la surface du défaut vis-à-vis de la direction principale du faisceau acoustique.

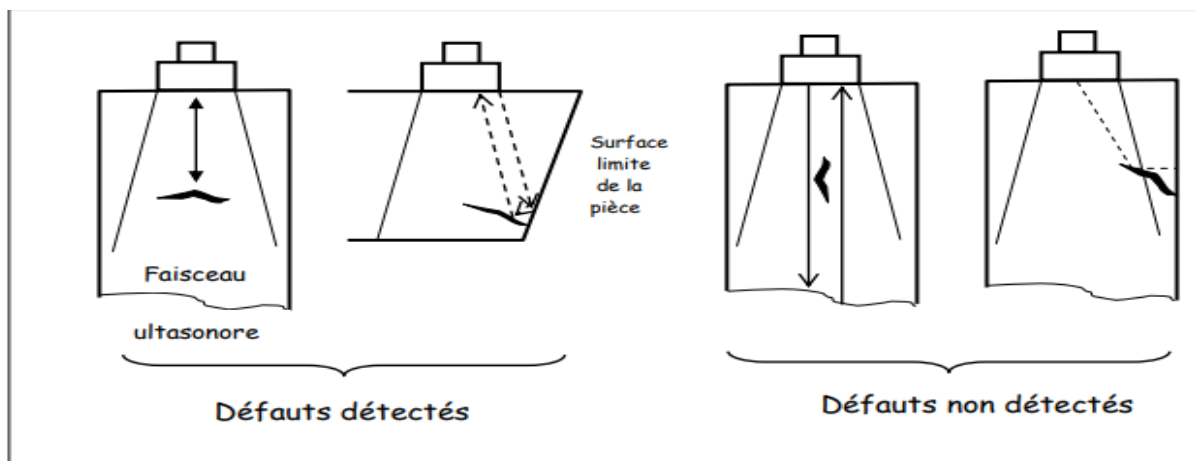


Figure 3.1 : Inconvénient du contrôle par Ultrasons

- Il est nécessaire d'interposer un milieu de couplage intermédiaire « couplant » entre le transducteur et la pièce pour assurer la continuité de la propagation.
- L'interprétation de la nature des défauts et de leur dimension nécessite du personnel qualifié ayant une grande expérience.
- La mise en œuvre est difficile sur certains matériaux [14].

3.5. CND par courant de foucault

- Avantages

- Grande sensibilité de détection ;
- Contrôle rapide ;
- Sonde adaptable au produit à contrôler ;
- Enregistrement de résultats (suivi dans le temps).

- Inconvénients

- Méthode limitée aux contrôles de matériaux conducteurs ;
- Faible pénétration dans la matière (quelques mm) ;
- Sensible aux phénomènes perturbateurs (écrouissage, dépôts superficiels) : nécessité d'un étalon propre à chaque contrôle.

3.6. La radiologie

- Avantages

- Détection des défauts de surface ou volumique dans tous les matériaux ;
- Energies X disponibles : de quelques Kev jusqu'à 15 Mev ;

- Possibilité de radiographier des formes complexes et des épaisseurs d'acier variant de quelques micromètres à 600 mm ;
- Dimensionnement et identification possible des défauts ;
- Sensibilité de détection des défauts très élevée pour certaines techniques ;
- Sensibilité de détection de l'ordre de quelques μm avec grossissement ;
- Examen possible en temps réel (radioscopie) ;
- Pas de zone morte sous la surface ;
- Conservation possible des radiogrammes plusieurs dizaines d'années ;
- Transportabilité (générateurs de rayons X de faibles énergies, appareils de radiographie gamma portatifs d'environ 20 Kg).

- Inconvénients

- La sensibilité de détection des défauts dépend des dimensions de la source et de son énergie, de la position et de l'orientation des défauts dans la pièce, de l'épaisseur de la pièce, de la sensibilité du film...
- Difficulté de localiser les défauts en profondeur ;
- Coûts de fonctionnement élevés (sources de rayonnement, entretien du matériel, films radiographiques, contrôles obligatoires, radioprotection...) ;
- L'interprétation des radiogrammes est souvent délicate et nécessite une formation des opérateurs de niveau élevé ainsi qu'une grande expérience
- Les rayonnements utilisés sont dangereux et peuvent provoquer des maladies professionnelles graves ;
- Les opérateurs sont classés travailleurs de catégorie A et portent un dosimètre individuel ;
- La réglementation est souvent très contraignante (transport et stockage des sources radioactives, déclarations, autorisations, travail des femmes...) [14].

3.7. Comparaison des possibilités de détection des défauts plans et volumiques

Comparaison des possibilités de détection des défauts plans et volumiques selon la méthode de contrôle				
	Contrôle de surface	Contrôle de surface	Contrôle de volume	Contrôle de volume
Méthodes de contrôles	Ressuage	Magnétoscopie	Radiographie	Ultrasons
Défauts volumiques	****	**	****	***
Défauts plans bien orientés	****	****	****	****
Défauts plans mal orientés	****	**	*	****

Tableau 1 : Comparaison des possibilités de détection des défauts plans et volumiques

	Principe	Type de pièces et domaines d'application	Types de défauts	Types de capteurs
Courant de foucault	<p>Une bobine placée à proximité ou en contact</p> <p>D'une pièce conductrice de l'électricité génère Des courants de Foucault dans la pièce par induction électromagnétique</p>	Pièce conductrice de L'électricité	Défauts à une profondeur nominale maximale de 6mm	Sondes à courants de Foucault doivent être perpendiculaire aux défauts adapte la dimension du capteur aux dimensions de la pièce et du défaut
Magnétoscopie	<p>Soumet la pièce à un champ d'intensité</p> <p>Importante, les défauts entraînent des fuites de flux qui va dévier les particules du révélateur (colorés ou fluorescents)</p>	Pièce ferromagnétique	Défaut sous-jacent et débouchant	La plus grande dimension du défaut doit être perpendiculaire aux lignes de force du champ magnétique
Radiographie	Interaction matière-rayonnement (X et électromagnétique)	Industrie métallurgie (soudage métallique, fonderie) mise en évidence de porosité, soufflures, inclusions, criques...	Défauts de tout type Dimensionnement D'hétérogénéités à l'intérieur de structures.	Contraste à optimiser (contraste en épaisseur, contraste en composition) flou géométrique (les sources utilisées ont un certain

				largueur, flou géométrique.
Ressuage	Un liquide pénétrant coloré ou fluorescent est infiltré dans les défauts, puis ensuite mis en valeur par un produit révélateur	La plupart des matériaux (métaux, verres, céramiques, plastiques)	Défaut débouchant en surface	Pénétrant (coloré ou fluorescent) Révélateur (révélateur sec ou révélateur liquide)

Tableau 2 : Résumé du contrôle non destructif

Conclusion générale

Les exigences croissantes en termes de sûreté de fonctionnement d'un produit industriel ainsi que la volonté d'optimisation de la durée de vie des pièces qui le constituent, conduisent à mettre en place des contrôles de qualité. L'utilisation du contrôle non destructif avec ses différents techniques permet d'évoluer le secteur industriel depuis plusieurs décennies.[15]

Les travaux présentés dans ce mémoire traitent les différentes techniques de contrôle non destructif comme la radiographie, la magnétoscopie et d'autres. En plus nous avons présenté les différents domaines d'application du contrôle non destructif débutant du secteur industriel, puis la médecine et terminant par le domaine de sûreté nucléaire. Par la suite, nous avons fait une étude comparative avec les différentes techniques de contrôle non destructif en présentant les avantages et les inconvénients de chaque technique.

Pour, chaque méthode de contrôle non destructif, nous proposons des paramètres à prendre en compte. Il est important de noter le type de discontinuité que vous recherchez, le matériau sur lequel vous recherchez cette discontinuité, ainsi que les contraintes de l'entreprise.

Chaque technique dispose de ses propres points forts qui la rendent parfois évidente pour effectuer un contrôle non destructif. C'est au contrôleur de décider de quelle technique il a besoin et de sa mise en œuvre. Il est ainsi important de faire le bilan afin de déterminer s'il n'y a pas une meilleure manière de procéder pour gagner en précision en temps et en argent. [16]

En guise de perspectives, nous proposons de faire une étude plus approfondie de ces techniques, ainsi que l'élaboration de méthodes de maintenance basées sur les contrôles non destructifs.

Référence

- [1] Bilal Hannouf, Ammar Zeddou, « Utilisation des techniques du soft computing dans un procédé de contrôle non destructif », mémoire de mastère, Université de Jijel, Juin 2018.
- [2] Abdelhak Abdou, « Contrôle non destructif par courant de Foucault étude et réalisation d'un capteur inductif », mémoire de magistère en électrotechniques, université el hadj lakhda Batna, septembre 2006.
- [3] Titouah Lounis, ZianeAbdeslam, « Caractérisation Non Destructive par Courants de Foucault Pulsés d'une rainure par inversion associé à méthode des circuits électriques couplés », mémoire de mastère, université a. mira-bejaia, 2014.
- [4] Rabhi Mouldi : cours, contrôle non destructif CND, 2017, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Gafsa.
- [5] Mohamed chelabi, « utilisation des machines à vecteurs de supports pour le contrôle non destructif par méthode électromagnétiques ».
- [6] Houda Zaidi, « Méthodologies pour la modélisation des couches fines et du déplacement en contrôle non destructif par courants de Foucault : application aux capteurs souples », thèse de doctorat, université Paris Sud,2012.
- [7] Aliraid : cours, contrôle non destructif ressuage, magnétoscopie, radiographie, courant de Foucault et ultrasons, 2018, université Med Boudiaf d'oran.
- [8] Maillou.h : cours, « contrôle non destructif », 12 Octobre 2013, Lycée pierre Mendés France.
- [14] Rabhi Mouldi : CONTROLE NON DESTRUCTIF (CND),2016/2017, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de GAFSA.
- [15] El Ghoul Islam Nacereddine, « Réalisation D'un Banc D'essais Pour L'inversion Des Signaux En Contrôle Non Destructif Par Courants De Foucault », Doctorat LMD en : Génie électrique, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [16] Nehal Ouassila, « Etude et modélisation des paliers planaires », mémoire de magistère, Université Mentouri de contantine,2009.

Webographie

- [9] <https://www.sous-traiter.fr/les-champs-dapplication-du-controle-non-destructif/>
- [10] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/rehabilitation-et-remise-aux-normes-des-batiments-42827210/evaluation-et-controle-non-destructifs-en-genie-civil-r1410/>
- [11] <https://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/controle/Chapitre-5/Section-1-3.html>
- [12] https://www.cofrend.com/jcms/mdc_110679/fr/magnetoscopie-mt#:~:text=Elle%20permet%20de%20contr%C3%B4ler%20des,constitue%20soit%20de%20nature%20ferromagn%C3%A9tique
- [13] <https://www.lemondedelenergie.com/controles-non-destructifs-centrales-nucleaires-surete/2018/05/03/#:~:text=Les%20contr%C3%B4les%20non%20destructifs%2C%20pour%20des%20centrales%20nucl%C3%A9aires%20plus%20s%C3%BBres,-Actualit%C3%A9s%20D%C3%A9cryptage%20%C3%89lectricit%C3%A9&text=Ajout%C3%A9s%20aux%20nouveaux%20dispositifs%20mis,la%20s%C3%BBret%C3%A9%20des%20installations%20nucl%C3%A9aires.>