

## Chapitre III : Contrôle Non Destructif

### Introduction

Le contrôle non destructif (CND) permet de vérifier la qualité du matériau (repérer les défauts dans une pièce) sans l'endommager, soit au cours de la production, soit au cours de la maintenance. Dans la pratique, les spécialistes en contrôle non destructif chargés de l'inspection sont davantage confrontés à des problèmes d'interprétation des résultats de contrôle par rapport à des critères établis en liaison avec le concepteur de la pièce. Dans cet esprit, la définition suivante de Contrôle Non Destructif apparaît plus proche de la réalité industrielle : il s'agit de « qualifier, sans nécessairement quantifier, l'état d'un produit, sans altération de ses caractéristiques par rapport à des normes de recette ».

En ce sens, le contrôle non destructif (CND) apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité des produits. Il se différencie de l'instrumentation de laboratoire et industrielle puisque l'objet est de détecter des hétérogénéités et anomalies plutôt que de mesurer des paramètres physiques tels que le poids ou les cotes d'une pièce.

#### Quand utiliser le CND :

- En fabrication de produit (détection de défauts d'élaboration) ;
- Pendant la fonction du produit (détection de défauts de fonctionnement)

### III.1 Stades de contrôle

Le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut être effectué à trois stades différents :

- 1) **Contrôle en cours de fabrication** : Le contrôle en cours de fabrication procède de la philosophie de l'instrumentation industrielle en tant qu'outil de contrôle d'un procédé souvent automatisé et impliquant alors un appareillage installé à demeure en ligne de fabrication présentant une grande robustesse, une réaction rapide, un coût d'exploitation faible et une bonne fiabilité. Les défauts recherchés sont ici généralement bien identifiés, le fonctionnement est automatique aboutissant à un **repérage** ou un **tri des produits défectueux**.
- 2) **Contrôle de réception** : Le contrôle de réception d'un lot de pièces, d'une installation, d'un ouvrage au moment de la livraison procède d'une philosophie de respect de conformité à des spécifications de qualité définies auparavant. Si l'aspect coût et productivité peut avoir encore une certaine importance à ce stade de contrôle, c'est surtout l'aspect procédure de la démarche qui devient primordial, qu'il s'agisse du choix du procédé, du choix des paramètres de réglage, de l'étalonnage, de la présentation et de l'archivage des résultats obtenus. À ce stade, il s'agit de détecter des défauts mais aussi souvent d'en définir la nature et les dimensions.

3) **Contrôle en service** : Le contrôle en service s'effectue sur pièces ou structures lors d'opérations de maintenance ou à la suite de détection d'anomalies de comportement. On en attend une très grande fiabilité car les risques de non-détection d'un défaut sont graves. Pour ce type de contrôle, il convient de pouvoir estimer le mieux possible la nature et les dimensions des défauts pour pouvoir en apprécier la nocivité ; il faut disposer aussi d'une grande reproductibilité de l'examen non destructif, de façon à pouvoir suivre l'évolution du dommage au cours du temps.

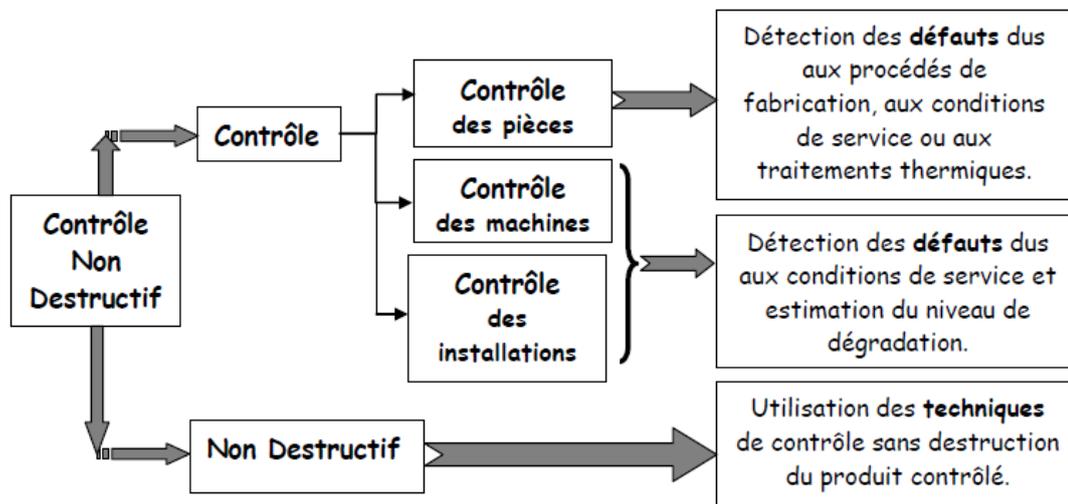


Figure III.1 : Champ d'application du CND.

### III.2 Techniques de contrôle non destructif

L'objectif des techniques d'examen et de contrôle est de faire la distinction entre les techniques d'essais destructifs et non destructifs et de décrire différentes méthodes d'essais non destructifs pour identifier les défauts. Les techniques d'examen non destructifs incluent les méthodes d'examen ainsi que les méthodes de contrôle. Le contrôle non destructif permet de vérifier la qualité du matériau sans l'endommager, soit au cours de la production, soit au cours de la maintenance. Toutes les soudures présentent des défauts. Les défauts ou les discontinuités dont la taille est trop importante sont appelés défauts inacceptables, les défauts de petites tailles sont peu nombreux et n'affectent pas les performances de l'assemblage soudé. Les techniques utilisées pour les essais non destructifs (END) sont :

- Le contrôle visuel ;
- Le contrôle par ressuage ;
- Le contrôle par magnétoscopie ;
- Le contrôle par courant de Foucault ;
- Le contrôle par ultrasons (US) ;
- Le contrôle par radiographie ;
- rayons X (RX) et gammagraphie ( $\gamma$ ) ;
- La détection par spectromètre de masse.

Dans ce qui suit on traitera les quatre premiers contrôles.

### III.2.1 Contrôle visuel

Le contrôle visuel est une technique essentielle qui donne un aperçu de l'état extérieur d'une pièce. Il est destiné à déceler les défauts tels que les fissures, les inclusions, et le manque de pénétration dans la soudure. Il implique l'utilisation de gabarits et de calibres. Pour le cas de la soudure on utilise des loupes, des caméras vidéo, des calibres et des règles graduées.

Il faut toutefois rappeler que les outils naturels de cette technique (l'œil et le cerveau) sont très sensibles à différents facteurs difficiles à chiffrer et à répertorier comme ceux d'ordre psychique ou physiologiques. La qualité d'observation de l'œil se dégrade avec l'âge, elle est très sensible à l'état d'esprit et à l'expérience de l'observateur, elle reste limitée en termes de dimension du défaut et rend problématique le contrôle des objets en mouvement.

L'utilisation de moyens d'aide optique à la vision tels qu'une loupe binoculaire, un microscope, un endoscope, un microscope, la télévision..., donne au contrôle visuel une nouvelle dimension. Ces techniques, bénéficient actuellement des moyens numériques d'acquisition et de traitement d'images, qui leurs donnent beaucoup plus de rapidité, d'efficacité et de fiabilité. Ces techniques exploitent pleinement les moyens modernes de l'informatique et de l'intelligence artificielle.

### III.2.2 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 débouchantes de quelques dizaines de micromètres. Le contrôle par ressuage se déroule en plusieurs étapes qui sont :

- La première consiste à bien nettoyer la surface de la pièce à contrôler ;
- Un liquide coloré ou fluorescent dit « pénétrant » est ensuite appliqué sur la surface à contrôler. il va s'infiltrer à l'intérieur des anomalies (fissures, porosités...), un certain temps est nécessaire pour laisser « poser » le pénétrant ;
- La troisième 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 cette étape on applique un révélateur, liquide ou sous forme de poudre, sur la surface rincée puis séchée. Le révélateur absorbe le pénétrant contenu dans les anomalies et donne une tache colorée en surface plus large que l'anomalie, permettant ainsi de la localiser. On dit alors que le révélateur fait « ressuier » le pénétrant ;

- Le révélateur s'élargit au niveau du défaut et il devient nettement visible par un éclairage approprié qui dépend du pénétrant utilisé. Ces indications sont alors visibles à l'œil nu. Dans certaines industries, on utilise un pénétrant fluorescent qui est révélé par un éclairage Ultraviolet ;
- La phase finale consiste à nettoyer la surface de la pièce par un lavage adapté.

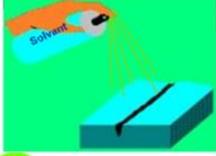
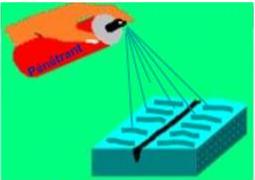
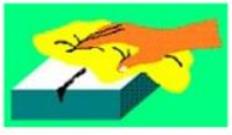
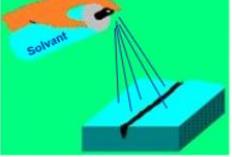
 <p><b>1</b> Nettoyage préalable</p>	<p>Nettoyage de la surface à examiner à l'aide d'un dégraissant (acétone et solvant).</p>
 <p><b>2</b> Application du pénétrant</p>	<p>Application d'un pénétrant coloré qui entre par capillarité dans les discontinuités ouvertes à la surface de la pièce à contrôler.</p>
 <p><b>3</b> Elimination du pénétrant en excès</p>	<p>Élimination du pénétrant résiduelle (avec de l'eau ou à l'aide d'un chiffon humidifié de solvant).</p>
 <p><b>4</b> Application du révélateur</p>	<p>Application d'un développeur.</p>
 <p><b>5</b> Examen</p>	<p>Le développeur absorbe le pénétrant resté dans les discontinuités et forme une image par contraste de couleur.</p>
 <p><b>6</b> Nettoyage final</p>	<p>nettoyage des surfaces contrôlées à l'acétone ou au solvant.</p>

Figure III.2 : Les étapes du contrôle par ressuage.

### III.2.3 Contrôle par magnétoscopie

C'est une méthode applicable seulement aux matériaux magnétiques pour la détection des défauts débouchant en surface ou proche à la surface. À l'instar du ressuage, la magnétoscopie complète l'examen visuel. On a recours à la magnétoscopie lorsque le ressuage est insuffisant (les imperfections de surface restent peu visibles malgré tout le soin apporté). La pièce est aimantée localement ou totalement à une valeur proche de la saturation magnétique. En l'absence de défaut, les fuites dans l'air sont insignifiantes (la perméabilité du matériau étant beaucoup plus grande que celle de l'air). Toute discontinuité du matériau provoquera une diminution de la section de passage et donc une augmentation du champ d'induction magnétique (conservation du flux). Cette augmentation provoquera une fuite magnétique à la surface de la pièce. Des particules ferromagnétiques contenues dans un révélateur s'accroissent au droit du défaut. On observe le spectre résultant sous un éclairage adapté. L'avantage réside dans la simplicité de sa mise en oeuvre. On peut apprécier la longueur des défauts de surface et ceux légèrement sous-jacents ; il est possible d'automatiser le contrôle. Dans la pratique, on procède à l'aimantation des pièces suivant deux techniques principales : magnétisation par courant d'injection et par électro-aimant mobile. Les particules du produit révélateur doivent être suffisamment fines et légères pour circuler dans toute la pièce. Ainsi elles sont facilement attirées par les fuites magnétiques. Des poudres à base de produits fluorescents sont utilisées pour améliorer le contraste. Après examen le magnétisme résiduel peut causer des problèmes ultérieurs (soudage, usinage) ; il est recommandé de procéder à la démagnétisation de la pièce en la soumettant à un champ magnétique dont on diminue progressivement l'intensité et inversant à chaque fois son sens.

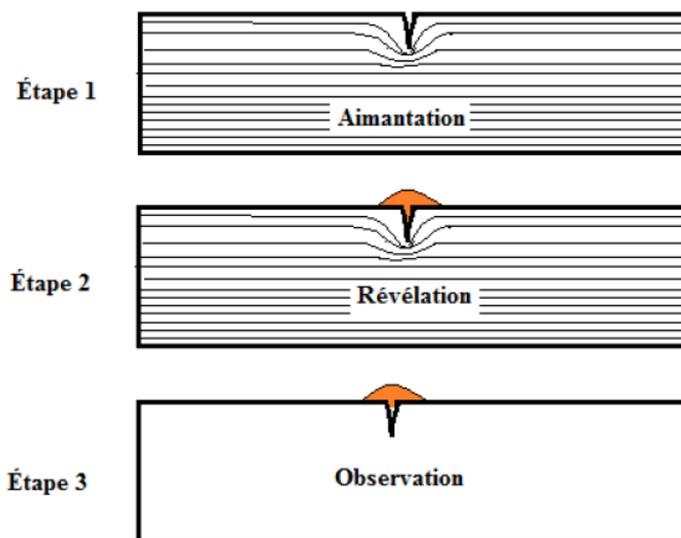


Figure III.3 : Les étapes du contrôle par magnétoscopie.

### III.2.4 Contrôle par courants de Foucault

Lorsque l'on place un corps conducteur dans un champ magnétique variable dans le temps ou dans l'espace, des courants induits se développent à l'intérieur du matériau en circuit fermé. Une bobine parcourue par un courant alternatif, génère des courants induits qui créent eux-mêmes un flux magnétique. Ce flux magnétique, en s'opposant au flux générateur, modifie l'impédance de la bobine. La présence d'un défaut perturbe la circulation et la répartition des courants de Foucault. La variation de l'impédance décelable au niveau de la bobine d'excitation est utilisée pour détecter des défauts superficiels. En général, On utilise une méthode comparative qui consiste à mesurer la différence entre l'impédance  $Z$  de la bobine sur la pièce à étudier et l'impédance  $Z_0$  d'une pièce de référence ne comportant pas de défaut. Cette procédure a donc recours à un étalonnage préalable. C'est ainsi que les courants de Foucault sont couramment utilisés pour la recherche de fissures de fatigue au cours de la maintenance en aéronautique des trous à l'emplacement des rivets.

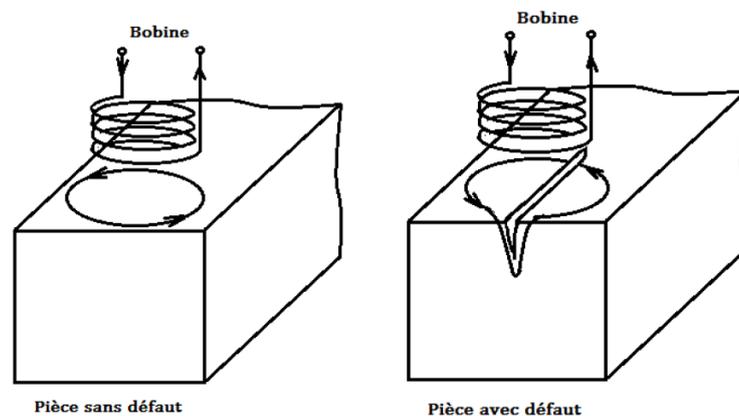
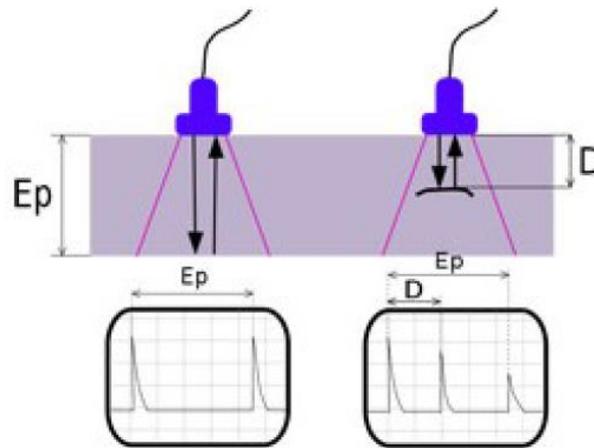


Figure III.4 : Modification du trajet des courants de Foucault.

### III.2.5 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 ou sur les défauts puis revient vers le transducteur. Cette méthode présente une résolution spatiale élevée et la possibilité de trouver des défauts en profondeur. 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. Pour comprendre le principe du contrôle par ultrasons on va considérer un exemple du contrôle d'une tôle (figure III.5) :



**Figure III.5** : Schéma de principe de mise en oeuvre de CND-US.

- L'écran de l'oscilloscope montre un pic d'entrée à gauche et un pic de sortie à droite. La distance entre les deux pics correspond à 2 fois l'épaisseur de la tôle (aller-retour).
- Le palpeur émet au-dessus d'un défaut, il y a apparition d'un pic correspondant au défaut. La position relative du pic créé par le défaut permet de connaître sa profondeur.