

## II.1. Introduction

Le Contrôle Non Destructif (C.N.D.) est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux sans les dégrader; soit au cours de la production; soit en cours d'utilisation et même dans le cadre de maintenances. On parle aussi d'Essais ou d'Examen Non Destructifs (E.N.D.) de tous tests effectués dans le but d'obtenir une analyse sur l'état de santé de toutes structures.

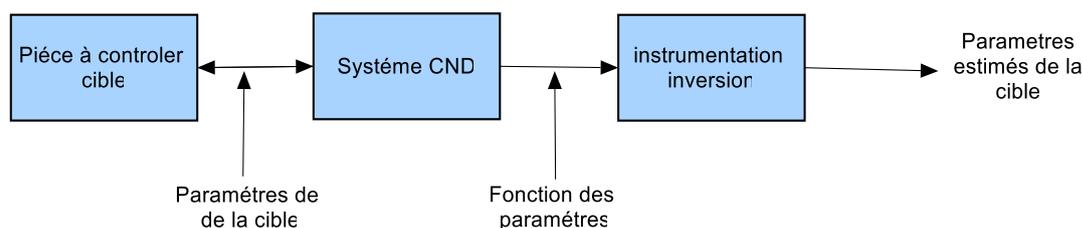
## II.2. Généralités

### II.2.1. Définition:

Le Contrôle Non Destructif est une méthodes de diagnostic des produits, afin de détecter, localiser, dimensionner et caractériser d'éventuels défauts dans leurs structures. A cet effet, on utilise des capteurs dont le fonctionnement est basé sur les principes de la physique, tels-que: l'électromagnétisme, les rayonnements, la propagation, le champ électrique, ...

### II.2.2. Principes du CND :

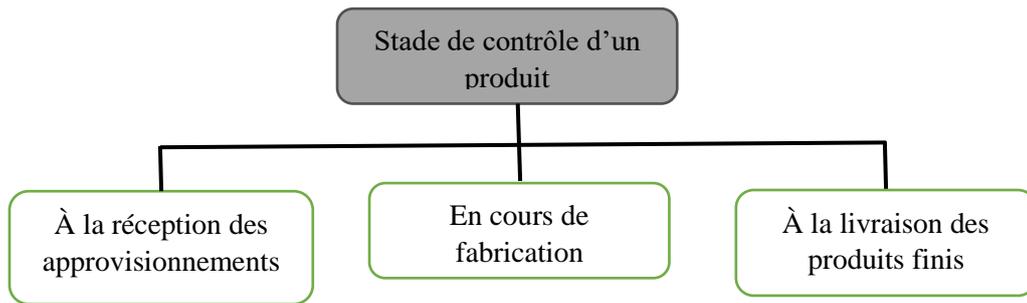
La cible à analyser se caractérise par un ensemble de paramètres que l'on va chercher à estimer afin de former un diagnostic d'intégrité. La mise en œuvre d'un système CND adéquat va permettre de produire un certain nombre de signaux qui sont fonction des paramètres recherchés. Une étape d'inversion, plus ou moins compliquée, est bien souvent nécessaire afin de retrouver les paramètres initiaux de la pièce.



**Figure II.1:** synoptiques schématise l'analyse par CND.

### II.2.3. Utilisation:[3]

On peut considérer que le contrôle non destructif d'un produit ou d'un objet peut être effectué à trois stades différents de sa vie :



**Figure II.2:** Niveaux d'utilisation de l'analyse par CND.

- 1) **Le contrôle de réception:** Le contrôle de réception d'un lot de pièces ou d'une installation d'un ouvrage, au moment de la livraison, a pour but de respecter de conformité à des spécifications de qualité définies auparavant.
- 2) **Le contrôle en cours de fabrication:** Le contrôle en cours de fabrication est un 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.
- 3) **Le contrôle de produit fini:** Ce contrôle s'effectue sur pièces ou produits finis après achèvement de toutes opérations de mise en forme.

### II.3. Domaines d'applications

Ces méthodes sont très utilisées dans différents domaines :

- L'industrie automobile, par exemple le contrôle des blocs moteurs;
- L'industrie pétrolière, tel-que: les pipelines, soudures, réservoirs;
- L'industrie navale;
- L'aéronautique et l'aérospatiale, pour le contrôle des ailes d'avion, trains d'atterrissage, ...;
- domaine de l'armement, dont la totalité des programmes sont confidentiels ou classés dans secret défense;
- L'industrie de l'énergie, par exemple: les réacteurs, les chaudières, la tuyauterie, les turbines, ... ;

- Le ferroviaire en fabrication et en maintenance, notamment pour les organes de sécurité.
- Pour d'autres domaines, tels-que les ouvrages d'art, ....
- Et en règle générale dans tous les secteurs produisant :
  - ✓ Des pièces à coût de production élevé en quantité faible : pétrochimique, ....
  - ✓ Des pièces dont la fiabilité de fonctionnement est critique : nucléaire, ....

## **II.4. Différents types du Contrôles Non Destructifs**

Dans ce qui suit, on va essayer de donner un aperçu sur les différents types de contrôle non destructif, surtout les plus utilisés dans le domaine industriel ; à savoir :

- L'examen visuel ;
- Le ressuage ;
- La magnétoscopie ;
- Le courant de Foucault;
- La radiographie ;
- L'ultrason ;
- La thermographie.

### **II.4.1. L'examen visuel :[3]**

#### **1. Définition:**

Le contrôle visuel est une technique de base essentielle de contrôle non destructif. L'état extérieur d'une pièce peut donner des informations essentielles sur l'état de celle-ci :

- ✓ Des défauts évidents, comme: des cassures, de la corrosion, les fissures, ....
- ✓ Des défauts cachés sous-jacents présentant une irrégularité sur la surface extérieure peuvent être une indication de défaut plus grave à l'intérieur.

#### **2. Compétences nécessaires:**

L'examen visuel permet d'aider le contrôleur à choisir la technique la plus adaptée en CND pour des examens approfondis, pour cela:

- ✓ La formation et l'expérience du contrôleur sont très importantes.

- ✓ La connaissance des méthodes de fabrication et d'assemblage et leurs possibles défauts : défauts de coulée ou de forge, de cintrage, défauts de soudure, ....
- ✓ La connaissance des contraintes apparaissant en service: corrosion, fatigue, fluage, ....
- ✓ La connaissance d'autres techniques de CND pour des contrôles plus profonds en addition du contrôle visuel: détection des défauts cachés et les dimensionné (d'un point de vue qualité et quantité).
- ✓ La formation doit être adaptée au secteur: aéronautique, centrale thermique, domaine du nucléaire, de la maintenance industrie, ...

### **3. Restrictions:**

Mais le visuel trouve certaines limites, telles-que:

- ✓ Technique limitée aux surfaces visibles.
- ✓ La surface doit être propre.
- ✓ Besoin de formation des opérateurs.
- ✓ La caractérisation des défauts est limitée.
- ✓ Pas d'enregistrement (sauf par vidéo ou photo).

## **II.4.2. Le Ressuage**

### **1. Définition:**

Comme l'examen visuel, le contrôle par ressuage est utilisé pour déceler les défauts qui débouchent à la surface d'une pièce ou d'un assemblage. Issue surtout par soudage, brasage, moulage, ... . Mais ce procédé est un peu difficile à appliquer pour les produits de grand volume.

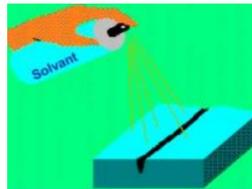
Le ressuage est un terme qui désigne l'extraction d'un fluide d'une discontinuité dans laquelle ils était préalablement accumulé au cours d'une opération d'imprégnation.

L'imprégnation d'une fissure par un liquide tirant profit de ses propriétés tensio-superficielles, conduit par l'intermédiaire d'un ressuage avant l'observation visuelle, à un moyen de recherche de défauts de surface qui est parmi les plus anciens, le plus simple et le plus utilisé de nos jours.

## 2. Principe de ressuage: [3]

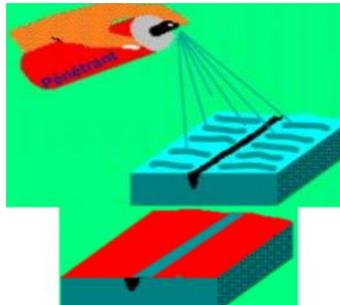
Le ressuage comporte 6 étapes:

- 1) ***Le nettoyage de la surface à contrôler*** : La méthode consiste à appliquer un solvant sur la surface de la pièce pour la nettoyer, on peut aussi utilisé des technique, comme : le meulage; le brossage ou le dégraissage soit chimique soit en phase vapeur.



**Figure II.3:** Nettoyage par pulvérisation d'un solvant.

- 2) ***L'application du pénétrant sur la surface à contrôler*** : Après nettoyage on applique un pénétrant de faible tension superficielle (de bonne capillarité) sur la surface de la pièce. On laisse au pénétrant un certain temps de sorte qu'il puisse s'introduire dans les discontinuités aboutissantes à la surface.



**Figure II.4:** Application du pénétrant à la surface à examiner.

- 3) ***L'élimination de l'excès de pénétrant*** : On élimine ensuite le pénétrant sur la surface mais cette opération laisse cependant en place la partie qui a réussie à s'infiltrer dans les discontinuités. On utilise dans cette opération :
  - ✓ Un chiffon sec et propre et non pelucheux;
  - ✓ L'eau suivi ou non d'un séchage;
  - ✓ Un solvant.



**Figure II.5:** Enlèvement de l'excès du pénétrant de la surface.

- 4) **Application du révélateur** : Un révélateur, produit opaque et absorbant est appliqué sur la surface. Le pouvoir absorbant du révélateur fait que le pénétrant qui a réussi à s'infiltrer dans les discontinuités est alors aspiré vers la surface et y laisse une trace. Cette trace à cause de la diffusion du pénétrant dans le révélateur, est toujours plus importante que la discontinuité.

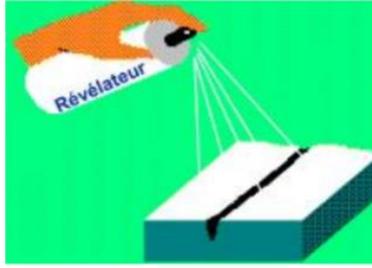


Figure II.6: Application du révélateur.

- 5) **Interprétation des résultats** : L'efficacité de cette méthode de contrôle repose sur la possibilité de détecter les indications de discontinuité.

Afin d'améliorer cette détectabilité, le pénétrant contient en général, soit :

- ✓ un produit coloré visible à la lumière blanche (lumière du jour).
- ✓ un produit fluorescent visible à la lumière noire (ultraviolet).

Une estimation grossière de la fissure peut être faite grâce à la largeur de l'étalement du pénétrant sur le révélateur.



Figure II.7: Exposition de la surface à examiner à la lumière blanche.

- 6) **Nettoyage final** : Un nettoyage final est préconisé pour certains matériaux (alliages d'aluminium, alliage de magnésium) pour lesquels la présence des produits utilisés peut entraîner des corrosions.

### 3. Les produits utilisés en ressuage:

Il existe trois (3) types de produit en ressuage de fonction différente, qui sont:

- 1) *Les nettoyeurs*: Permettent de nettoyer les surfaces à contrôler.
- 2) *Les pénétrants*: Peuvent être de deux (2) types : Coloré ou fluorescent.
- 3) *Les révélateurs*: Permettent d'attirer le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts.

### 4. Les avantages et les inconvénients:

Cette technique a les avantages suivants:

- ✓ Facile de mise en application.
- ✓ Rapide et sensible.
- ✓ Coût d'application faible.
- ✓ Ne nécessite pas une grande expérience.

Mais elle connaît aussi certains inconvénients:

- ✓ Impossible de détecter les défauts non débouchant (défauts volumétrique).
- ✓ Nécessite des surfaces propres et bien dégraissées : ne pas travailler sur des produits bruts de laminage par exemple.
- ✓ Cette méthode ne permette de détecter que des défauts présentant un certain volume. Ainsi les fissures refermées par des contraintes de compression peuvent échapper au contrôle par cette méthode.
- ✓ Les produits utilisés peuvent être toxiques ou polluants (produits inflammables et souvent volatils); donc il faut prendre des mesures de sécurité.

### 5. Exemples de pièces contrôlées par ressuage:

La figure (8) représente quelques exemples de contrôle par ressuage sur différentes structures.

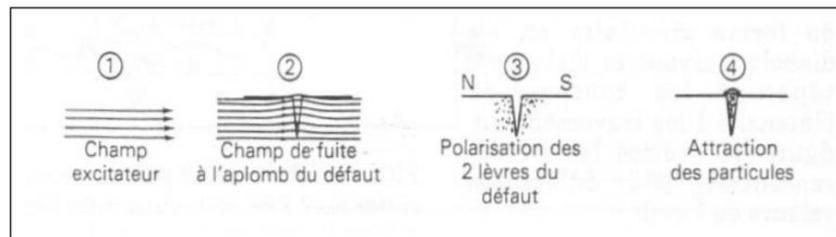


**Figure II.8:** Exemples d'examinations par ressuage à la lumière blanche et à la lumière noire.

### II.4.3. La magnétoscopie:[4]

#### 1. Principe et description de la méthode :

La méthode ne s'applique qu'aux pièces ferromagnétiques. On retrouvera dans les schémas ci-après les trois phases évoquées précédemment dans le premier chapitre relatif à la description du principe de fonctionnement de chacune des méthodes. Une analyse plus détaillée de chaque phase va nous permettre d'isoler les paramètres dont dépend la bonne exécution du processus.



**Figure II.9:** principe de fonctionnement.

#### 2. Phase d'excitation :

C'est la phase initiale qui consiste à soumettre la pièce à l'action du champ magnétique. Trois paramètres importants sont à prendre en considération dans cette phase :

1) **La nature du champ magnétique:** On peut rencontrer, suivant les installations utilisées, les formes d'ondes suivantes :

- ✓ monophasée sinusoïdale;
- ✓ monophasée redressée simple ou double alternances;
- ✓ triphasée redressée simple ou double alternances.

La forme d'onde utilisée réagit essentiellement sur la pénétration des lignes d'induction dans la section de la pièce, se qui agit sur la précision de la détection des défauts.

2) **L'intensité du champ magnétique:** Ce paramètre influe sur les conditions d'aimantation du matériau. Une valeur trop élevée provoque la saturation de l'induction dans le matériau, ce qui n'est pas souhaitable.

3) **La direction du champ magnétique:** La sensibilité est optimale lorsque la direction est perpendiculaire à la direction présumée du défaut. C'est pourquoi on réalise généralement un contrôle suivant deux directions de champ orthogonales.

### 3. Phase de perturbation :

C'est la phase la plus complexe car elle traduit l'interaction entre le matériau, le défaut et le champ excitateur. Les paramètres à prendre en considération dans cette phase sont les suivants :

- 1) **Nature ferromagnétique du matériau** : La courbe d'évolution de la perméabilité magnétique relative en fonction du champ magnétique est une caractéristique propre du matériau, présentant un maximum pour une valeur précise du champ excitateur. C'est pour cette valeur maximale que l'efficacité de la méthode est la plus grande. Dans la pratique, un compromis est adopté autour de cette valeur.
- 2) **Géométrie de la pièce** : La carte des lignes d'induction dans la pièce, ou son voisinage immédiat, est influencée par le profil de la pièce.
- 3) **Géométrie et position du défaut** : La perturbation des lignes d'induction, localement à l'aplomb de défaut conduit à un gradient d'induction dont l'intensité est fonction de la largeur du défaut, de sa profondeur et de sa position sous la surface.



**Figure II.10:** Influence de la nature et la géométrie du défauts sur le gradient d'induction.

### 4. Phase de révélation :

Le mécanisme mis en jeu dans cette phase résulte d'un équilibre des forces auxquelles sont soumises les particules de révélateur :

- Force due à la pesanteur;
- force due à l'action mécanique de projection;
- force magnétique due au gradient local d'induction.

Cette dernière force dépend du volume de la particule et de son aimantation. En d'autres termes, les paramètres influençant la formation du spectre sont les suivants:

- Nature ferromagnétique des particules;
- volume et géométrie des particules;
- valeur locale de l'induction à l'aplomb du défaut.

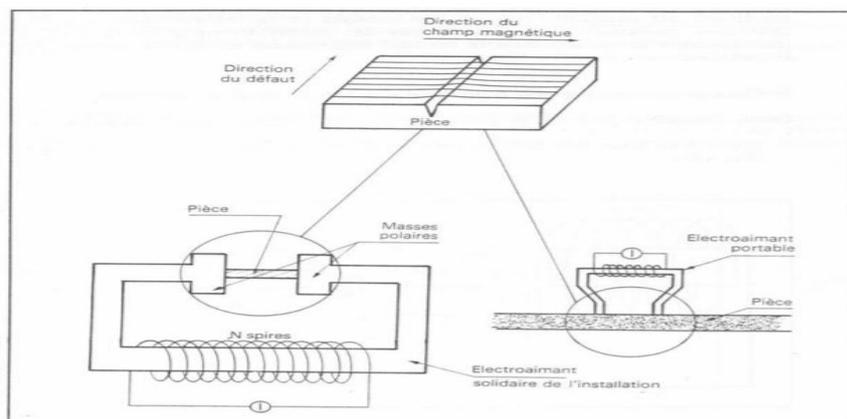
L'efficacité globale de la méthode est étroitement liée à la maîtrise des paramètres évoqués dans ces trois phases et du jugement apporté par l'opérateur qui se trouve confronté à l'interprétation des spectres obtenus :

- Seule l'appréciation de la longueur du défaut est possible;
- un doute subsiste dans certains cas critiques sur la distinction entre les défauts.

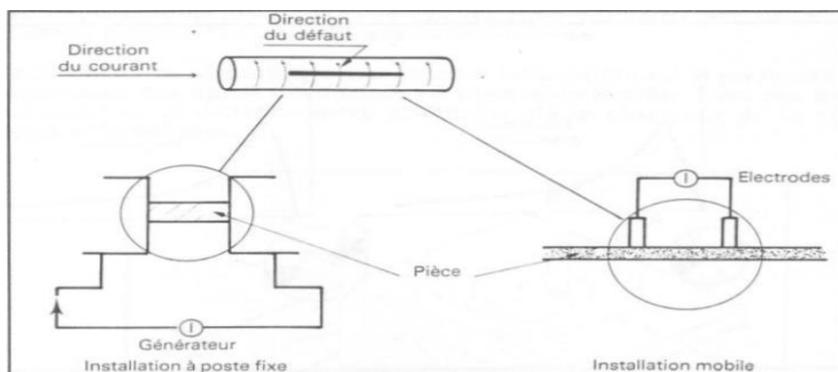
### 5. Méthode d'aimantation :

Dans la pratique, on procède à l'aimantation des pièces suivant deux techniques principales:

- 1) La pièce est aimantée totalement ou localement par l'intermédiaire d'un électroaimant.
- 2) La pièce est aimantée par l'intermédiaire d'un courant la traversant totalement ou localement.



**Figure II.11:** Représentation schématique des méthodes d'aimantation directes par passage de courant dans la pièce.



**Figure II.12:** Méthode indirecte. Aimantation par électro-aimants.

## 6. Eléments nécessaires au contrôle d'une pièce :

Pour une bonne exécution des contrôles par magnétoscopie, on a besoin de certains éléments nécessaires; qui font l'objet d'une instruction de travail précisant en particulier les points suivants :

### 1) *Conditions de préparation de la pièce :*

- ✓ Nettoyage (nature du produit utilisé);
- ✓ enlèvement de la protection ou conditionnement particulier en surface.

### 2) *Conditions d'aimantation:*

- ✓ Matériel utilisé;
- ✓ mode transversal et / ou longitudinal;
- ✓ nombre de positions de la pièce à satisfaire et leurs représentations schématiques par rapport au système d'aimantation;
- ✓ réglage d'intensité d'aimantation et temps de maintien de ce réglage;
- ✓ vérification du réglage d'aimantation;
- ✓ nécessité d'une désaimantation intermédiaire entre chaque opération.

### 3) *Conditions d'application du révélateur*

- ✓ Nature du révélateur employé (liquide ou poudre);
- ✓ vérification des performances du révélateur (déplacement facile sur la surface);
- ✓ conditions de révélation:
  - Nature du rayonnement utilisé;
  - distance et intensité du rayonnement;
  - nature de l'aide optique utilisée.

### 4) *Conditionnement des pièces après contrôle:*

- ✓ Désaimantation;
- ✓ vérification de la désaimantation;
- ✓ nettoyage après contrôle;
- ✓ protection des pièces.

## 7. Domaine d'application :

La magnétoscopie, est ainsi une méthode largement utilisée particulièrement dans :

- Le transport: Aéronautique; automobile; ferroviaire; ....
- L'énergie: Pétrole; thermique; hydraulique; nucléaire; ....

- Chaudronnerie.
- Métallurgie: Fonderie; forge; ....
- Mécanique.
- Agroalimentaire.
- Cimenterie; etc. ...

Elle permet de contrôler des pièces en alliages ferreux tant en fabrication qu'en maintenance: Forgés, soudés, des tôles, des tubes, .... Bref toutes sortes de pièce de géométrie simple ou complexe, pourvue que le matériau qui les constitue soit de nature ferromagnétique.

### **8. Avantages et inconvénients :**

Cette technique a les avantages suivants:

- Méthode globale.
- Détection de tous les défauts débouchants.
- Contrôle de pièces de quelques millimètres à plusieurs mètres de long.
- Inspections relativement rapides et peu coûteuses.
- Résolution importante.

Mais elle connaît aussi certains inconvénients:

- Contrôle limité aux pièces ferromagnétiques;
- détection de défauts internes parfois difficile (suivant leurs tailles, leurs profondeurs, etc.);
- nécessite l'emploi de produits chimiques (révélateurs parfois toxiques).

### **II.4.4 Courant de Foucault:**

#### **1. Principe: [12]**

Les courants de Foucault permettent l'examen non destructif des matériaux conducteurs de l'électricité. Leur utilisation ne nécessite pas d'agent de couplage et peut être menée à travers un léger dépôt. Cette méthode procure un excellent rapport sensibilité sur la vitesse de contrôle.

## 2. Méthode opératoire: [3]

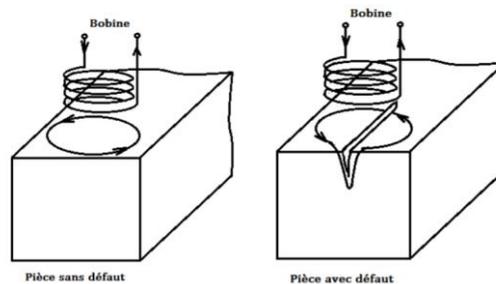
Lorsque l'on place un corps conducteur dans un champ magnétique variable dans le temps ou dans l'espace, des courants induits se développent à l'intérieur du matériau en circuit fermé.

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 II.13:** Modification du trajet des courants de Foucault.

## 3. Matériel utilisé [10]

généralement en utilise:

- Un générateur de courants de Foucault multifréquence numérique avec fréquences multiplexées ou non, ajustables de 1KHz à 4MHz;
- enregistreur graphique thermique multivoies assurant la visualisation des signaux CF;
- stockage des signaux CF sur disque magnéto-optique numérique;
- dispositif tireur-pousseur de sonde à vitesse réglable;

- capteurs de divers type: Sondes axiales; sonde tournante; bobine encerclant, avec ou sans dispositif de saturation. Chacune des spécificités étant adaptée en fonction de la géométrie et de la nature du matériau contrôlé.



Figure II.14: Appareil de recherche de défauts par courants de Foucault.

#### 4. Domaine d'application[9]

Cette méthode de CND est souvent utilisée pour détecter des défauts superficiels, car les courants de Foucault ont tendance à se rassembler à la surface des corps conducteurs (effet de peau). Elle est donc appliquée au contrôles de tous types de formes (tôles, barres). Mais elle s'avère très performante pour le contrôle de structures cylindriques (tubes).

Les courants de Foucault permettent également de déceler les variations de composition d'un alliage et même de mesurer des épaisseurs de revêtements. Il s'agit ainsi d'une méthode présente dans l'ensemble des industries mais en particulier dans celles de la fabrication de tubes et de la maintenance.

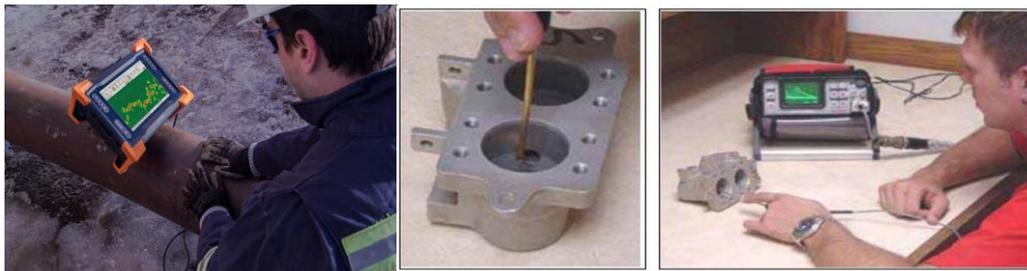


Figure II.15: Exemples de contrôle par courant de Foucault.

#### 5. Avantages et inconvénients

Cette technique a les avantages suivants:

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

Mais elle connaît aussi certains inconvénients

- Méthode limitée aux contrôles de matériaux conducteurs.
- Faible pénétration dans la matière: Quelques mm seulement.
- Sensible aux phénomènes perturbateurs: L'écrouissage; dépôts superficiels; ....
- Nécessité un étalonnage propre à chaque contrôle.

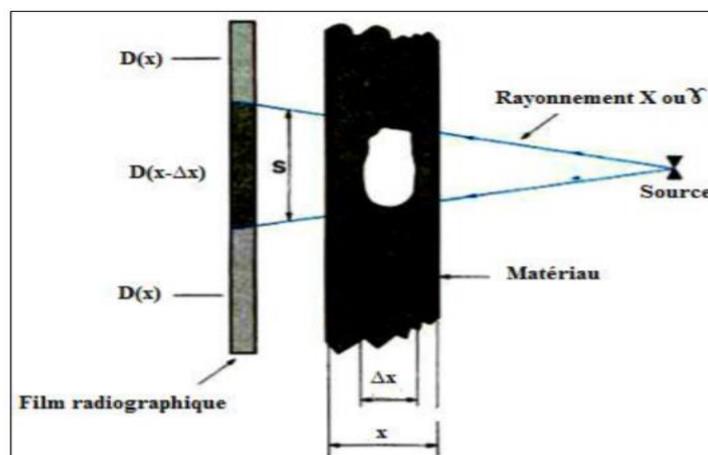
## II.4.5. La radiographie

### 1. Définition:

L'examen de la structure interne d'un objet par radiographie consiste à le faire traverser par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde (*rayons X ou  $\gamma$* ) et à recueillir les modulations d'intensité du faisceau sous forme d'une image sur un récepteur approprié (un film dans la plupart des cas).

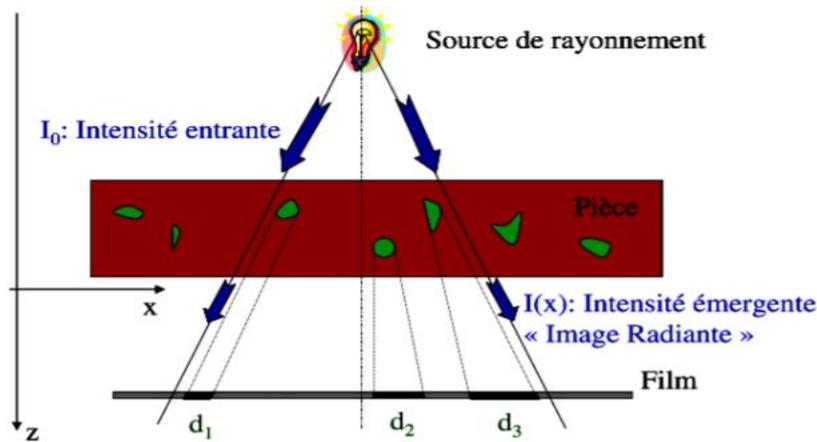
### 2. Principe:[5]

La radiographie enregistre l'image formée par des *rayons X* qui sont plus ou moins absorbés lorsqu'ils traversent un objet. On obtient ainsi à la fois une représentation de la constitution interne (structure, armatures, assemblages, ...).



**Figure II.16:** Schématisation du principe du contrôle par rayons X ou  $\gamma$ .

Lors de la traversée de la matière par les rayons, les éventuels défauts contenus dans celle-ci constituent des obstacles qui absorbent plus ou moins le rayonnement. Les différences d'absorption peuvent être: Soit visualisées sur un écran fluorescent (Exemple de la radiographie utilisée dans le domaine médical); soit enregistrées sur un film spécial (cas de radiographie industrielle).



**Figure II.17:** Exemple d'analyse par rayons X ou  $\gamma$ . Présence de défauts dans la structure.

L'analyse se fait selon les conditions suivantes:

- La pièce est placée entre la source de radiation et le film.
- Plus le matériau traversé est dense, plus il absorbe le rayonnement.
- L'intensité de gris du film est proportionnelle à l'intensité du rayonnement.
- Impression sur le film radiographique de l'image du défaut.

### 3. Mise en œuvre de la radiographie par rayons X ou $\gamma$ : [6]

Il s'agit de choisir le matériel, la procédure et les conditions de mise en œuvre de façon à obtenir une bonne fiabilité du contrôle, c'est-à-dire, en fait une image nette et contrastée mettant bien en évidence pour les défauts recherchés. Cela suppose de prendre en compte un certain nombre de conditions; telles-que:

- 1) **Le rayonnement** : La source et son réglage dans le cas du tube X (c'est un tube en verre ou en céramique sous vide poussé, comportant une cathode émettrice d'électrons et une anticathode encastrée dans une anode refroidie et inclinée, portée à un potentiel élevé) doivent être choisis juste assez durs pour traverser la pièce sans dégrader le contraste lié au rayonnement diffusé.
- 2) **La prise de vue** : Elle doit être définie en terme de conditions géométriques (position et orientation) relative de: La source; l'objet et du film. Conduisant à un compromis satisfaisant entre: Flou géométrique; grandissement des défauts; rayonnement diffusé; éloignement: donc débit de dose et durée d'exposition de film.

- 3) **Lechoix du film** : Il résulte aussi de compromis entre rapidité et résolution, au regard du type de défaut recherché et aux conditions de prise de vue.
- 4) **La détermination du temps de pose** : Il se fait en pratique à l'aide d'abaques prenant en compte les paramètres de la source et les conditions de prise de vue.
- 5) **L'exploitation des clichés** : Elle se fait, après développement, fixage et lavage, par un examen du film par transparence sur des boîtes à lumières normalisées, les négatoscopes, conçus pour que la luminance émergeant du cliché soit de l'ordre de 100cd/m<sup>2</sup>, ce qui exige des appareils particuliers pour l'examen des clichés à haute densité optique (supérieure à 3,5).
- 6) **Le contrôle de la qualité des radiographies** : Il est indispensable pour pouvoir tirer des conclusions sur la qualité de la pièce elle-même, car il permet de savoir si le cliché a été pris dans de bonnes conditions, compatibles avec la sensibilité recherchée pour l'examen. Différents moyens peuvent être utilisés : Outre la référence à un cliché pris sur une pièce identique avec défauts naturels ou artificiels connus, on utilise très couramment la technique des **IQI** (Indicateurs de Qualité d'Image).
- 7) **La numérisation des radiographies** : Elle Permet d'accéder à du traitement d'image par ordinateur en vue d'accroître les performances de l'examen au regard des résultats obtenus par contrôle visuel des radiogrammes.

#### 4. Domaine d'application de la radiographie:[8]

Elle est appliquée pour:

- La recherche d'anomalies internes, à titre d'exemple pour :
  - ✓ Les pièces moulées: Retassures, criques, restes de noyaux, ....
  - ✓ Des soudures: Fissures, manques de fusion, manque de pénétration, soufflures, inclusions, ....
- La détection de défauts de formes, par dans :
  - ✓ Des tuyauterie: Corrosions ou érosions internes, dépôts internes, défauts de soudure, ....
  - ✓ Les parois en béton armé : cavité, fissures, armatures, ....
  - ✓ La position du clapet dans une vanne;
  - ✓ Contrôle de jeux dans un assemblage emboîté;

### 5. Avantage et Inconvénients:

Les avantages de la radiographie peuvent se résumer en :

- Les sources radioactives ne nécessitent aucun courant électrique, aucun système de refroidissement, ce qui facilite l'emploi sur chantiers.
- Possibilité du contrôle de pièces dont l'épaisseur est supérieure à 90cm (pas possible avec les rayons X).
- Peut être employé en grosse fonderie.
- Problèmes d'accessibilité résolus.
- Sphéricité de l'émission.
- Frais de fonctionnement et d'entretien réduit.
- Foyer d'émission de petites dimensions d'où possibilité de faible distance (foyer film). La *gammagraphie* est un contrôle agréé : épreuve film conservée à bon marché.

Les limites rencontrées peuvent se résumer aussi en :

- Les mesures de protection doivent être constamment prises.
- Le temps de pose est long (1/2 h – 20h). Il est possible de radiographier un grand nombre de pièces disposées autour de la source.

## II.4.6. Ultrason

### 1. Définition:

Le contrôle par ultrason est une technique du CND permettant la détection des défauts en profondeur; des manques ou des discontinuités de matière dans les produits à l'état d'ébauche ou fini et quelque soit le mode d'élaboration de ceux-ci.

La méthode du contrôle est basée sur la transmission et la réflexion d'onde de type ultrasonores à l'intérieur du matériau.

### 2. Principe du contrôle par ultrason:[7]

Le contrôle par ultrasons comprend trois étapes:

- 1) La vibration mécanique engendrée par le palpeur émetteur se propage dans la pièce en se réfléchissant sur les faces.

- 2) Une partie du faisceau est interceptée par le défaut et renvoyée vers le palpeur récepteur (Eventuellement le même que l'émetteur) qui convertit la vibration en signal électrique.
- 3) On observe sur l'écran de visualisation un écho caractéristique apparaissant à une distance donnée sur la base de temps.

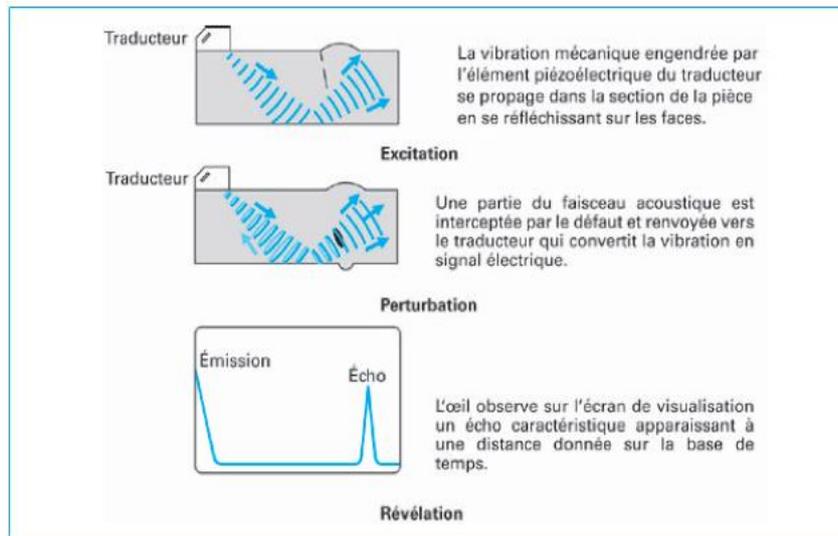


Figure II.18 : Principe du contrôle par ultrasons.

### 3. Les ondes ultrasonores:

Il existe trois types d'ondes:

- 1) **Ondes de volume :** Longitudinale et transversale permet la détection des défauts internes et débouchant.
- 2) **Ondes de surface ou de Rayleigh :** Permet la détection des défauts débouchant, fissures, criques, ....
- 3) **Ondes de plaque ou de Lamb :** Permet la délamination dans une plaque.

### 4. Méthodes de contrôles:[9]

- 1) **Par écho d'anomalie :** C'est la méthode la plus employée. Il s'agit de rechercher les signaux d'échos réfléchis par les anomalies ou défauts rencontrés lors de l'exposition de la pièce contrôlée.

L'écho est généralement recueilli par le même élément sensible (transducteur) mais, dans certains cas de contrôle, c'est un autre élément sensible du même transducteur.

La position des signaux d'écho sur l'écran de l'appareil de contrôle permet de déterminer la distance parcourue par l'onde ultrasonore et par conséquent la position du réflecteur qui est à l'origine de l'écho.

Il faut distinguer les échos provenant de la géométrie de la pièce des échos provenant des discontinuités.

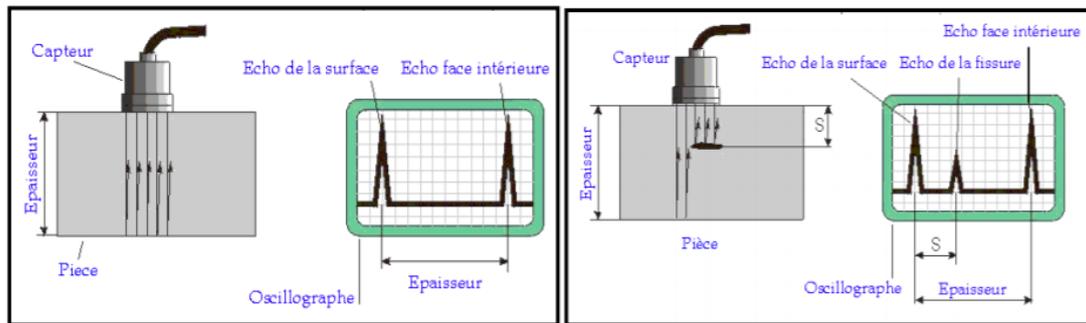


Figure II.19: Contrôle Par écho d'anomalie.

2) **Par transmission:** Les premières méthodes de contrôle étaient fondées sur la transmission d'ondes. La présence d'un défaut provoque une diminution de l'énergie ultrasonore transmise.

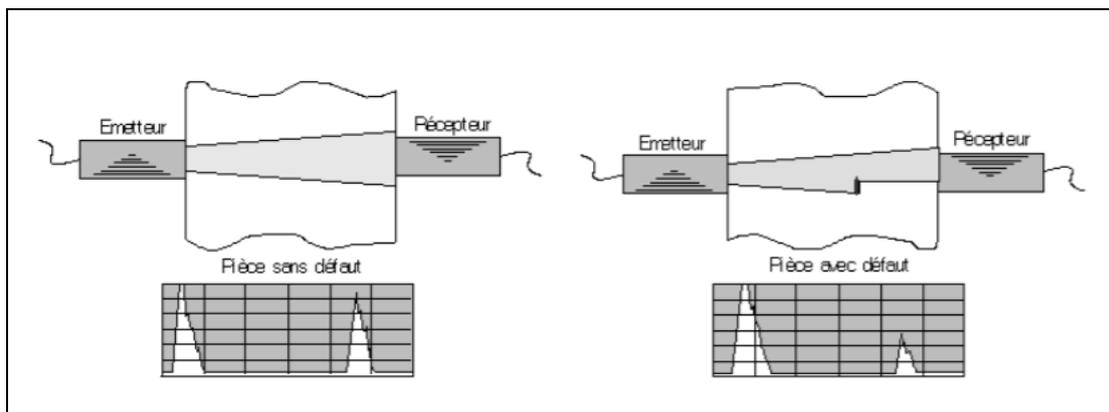


Figure II.20: Contrôle par transmission.

### 5. Domaine d'application du contrôle par ultrason: [8]

Le contrôle par ultrasons est applicable à de nombreux matériaux pourvu qu'ils ne présentent ni une trop forte atténuation ni une anisotropie importante. Les matériaux métalliques, thermoplastiques, composites, céramiques peuvent être contrôlés par ce procédé.

Les ultrasons permettent la détection de tous défauts engendrant une variation locale des propriétés ultrasonores de la pièce.

Le contrôle ultrasonore est aussi utilisé pour le contrôle:

- **Des pièces moulées:**
  - ✓ Vermiculures;
  - ✓ variations locales de structure;
  - ✓ ségrégations;
  - ✓ porosités...
- **Des pièces forgées:**
  - ✓ Criques;
  - ✓ repli de forge.
- **Des produits laminés et étirés**
  - ✓ Dédoublers;
  - ✓ ségrégations;
  - ✓ reliures.
- **En service :** Les défauts apparaissant en service, tels que: Les fissures ou piqures de corrosions peuvent être détectés par ultrasons. Cependant, les fissures de fatigue peuvent ne pas être décelées si elles sont trop resserrées (phase d'amorçage). Ainsi que, les fissures de corrosion sous contrainte, en raison des produits qu'elles contiennent.

## 6. Avantages Inconvénients:[7]

Parmi les avantages de cette technique de CND on site:

- Détection précise de la position des défauts dans le volume de la pièce.
- Grande sensibilité surtout pour les défauts plans correctement orientés.
- Souplesse d'utilisation (Utilisation sur chantier aussi bien qu'en contrôle automatiser).

Les inconvénients se résument en :

- Nécessité d'utiliser un milieu de couplage entre le palpeur et la pièce.
- Interprétation de la nature des défauts et de leur dimension délicate nécessitant un personnel qualifié.
- Mise en œuvre difficile sur certains matériaux.
- Sensibilité fortement fonction de l'orientation du défaut vis à vis de la direction.

## II.4.7. La thermographie

### 1. Définition:

La thermographie est une technique de mesure sans contact des températures. Elle permet d'explorer la surface d'un corps émettant un rayonnement infrarouge. La présence de défauts dans un corps entraîne des modifications de la carte thermique de ce dernier.

Ces modifications permettent la détection des défauts.

### 2. Principe de la thermographie:[7]

La thermographie est basée sur le principe schématisé sur la figure (II.21):

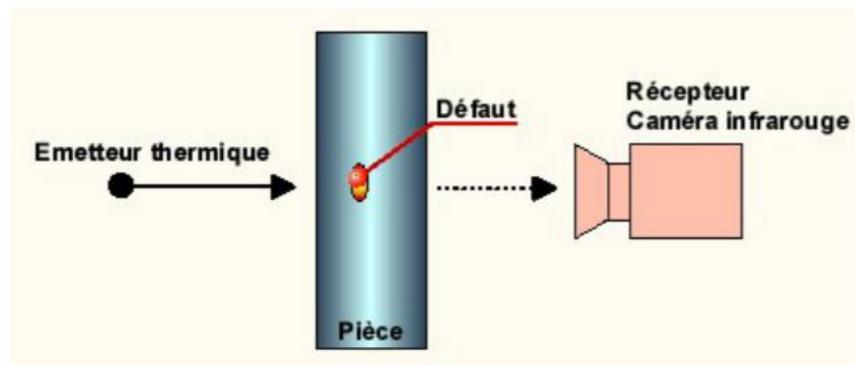


Figure II.21 : Principe de la thermographie.

En CND, on utilise l'inhomogénéité de propagation ou de diffusion d'une impulsion thermique liée aux discontinuités de la structure de la pièce à examiner. Une part très importante du succès de la méthode est liée à la manière dont le flux de chaleur est transmis à la pièce.

L'importance de la discontinuité de la propagation de la chaleur est fonction de :

- 1) La nature de la pièce.
- 2) La dimension, la nature et la position du défaut.

L'analyse se fait en régime transitoire, car à l'équilibre les différences de rayonnement induites par les éventuels défauts sont souvent imperceptibles. Pour de grandes pièces, il peut être difficile d'avoir un chauffage uniforme. Dans ce cas, on utilise une source à apport thermique local dont le déplacement sera lié à celui du système de détection.

**3. Matériel utiliser:**

Pour l'analyse thermique, on utilise:

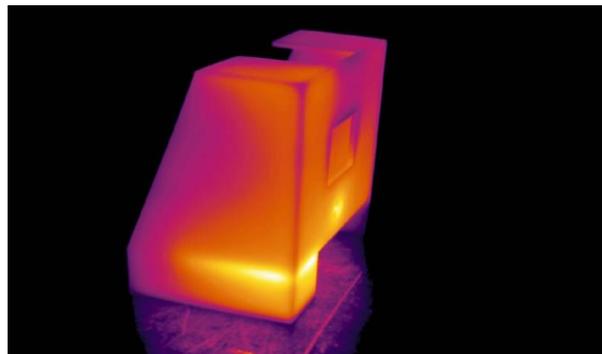
- Une caméra infrarouge.
- Une unité de traitement d'images.
- Un magnétoscope pour enregistrement sur site, et/ou un stockage numérique des données sur disquette, carte PCMCIA, ....
- Un ordinateur associé pour analyser les résultats en direct.
- Un ensemble portatif de mesures (température ambiante, vitesse du vent, ...).
- Un logiciel d'analyse laboratoire : (Thermagram , Thermonitor , TIC8000.)

Cet équipement est mobile, portable ou sur chariot et ne nécessite pas d'alimentation électrique externe.

L'ensemble du matériel infrarouge est obligatoirement étalonné annuellement dans le respect des normes.

**4. Domain d'application: [11]**

L'industrie de la métallurgie en est à ses essais de thermographie dans le domaine de la recherche. L'état métallurgique d'un métal et la qualité du produit final dépendent fortement des procédés de fabrication et des cycles de température auxquels sont soumis les matériaux (laminage à chaud ou à froid, trempe, hyper-trempe, recuit, traitements thermiques classiques, ...).



**Figure II.22:** Pièce contrôler par la thermographie.

**5. Avantages et Inconvénients[7]**

On cite quelques avantages de la thermographie:

- Grande sensibilité de l'analyse de l'image.
- Image instantanée.
- Méthode globale et rapide.
- Détection de défauts de surface et de défauts internes.
- Localisation facile des défauts.

Parmi les inconvénients, on a :

- Méthode coûteuse en investissement.
- Méthode limitée dans ses applications.
- Champ d'investigation limité.
- Nécessite une excitation externe.
- Profondeur de contrôle limitée (à quelques mm).