

1. Le contrôle non destructif (CND)

1.1 C'est quoi le CND

C'est un ensemble des 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, soit dans le cadre de maintenances. On parle aussi d' « Essais non destructifs » (E.N.D) ou d' « Examens non destructifs ». [1]

1.2 Utilisations

Ces méthodes sont très utilisées dans :

- l'industrie automobile (contrôle des blocs moteurs)
- l'industrie pétrolière (pipelines, tubes, barres, soudures, réservoirs)
- l'industrie navale (contrôle des coques)
- l'aéronautique (poutres, ailes d'avion, nombreuses pièces moteurs, trains d'atterrissage, etc.).
- l'industrie de l'énergie (réacteurs, chaudières,etc.)
- l'inspection alimentaire.
- l'archéologie.

2. Les objectifs du CND

Le contrôle non destructif a pour objectif, comme son nom l'indique, de contrôler l'état des pièces industrielles sans pour autant que les examens correspondants ne puissent nuire à leur utilisation future. Ceci peut correspondre à deux types de contrôles : l'estimation d'un paramètre constitutif de la pièce comme par exemple l'épaisseur d'une paroi, la distance à un objet, les propriétés électromagnétiques constitutives du matériau ; la recherche d'une rupture de ces paramètres. Dans le deuxième cas, il s'agit en général de défauts, qui peuvent être par exemple des fissures, des inclusions, des porosités, des effets de la corrosion ou de la fatigue mécanique. Cette procédure de contrôle se produit souvent plusieurs fois au cours de la vie d'une pièce et doit satisfaire au mieux les critères suivants :

❖ la rapidité d'exécution

Il faut que le contrôle soit rapide pour qu'il ne soit pas trop pénalisant à la fois en termes d'immobilisation physique de chaque pièce, mais aussi au niveau des coûts que sont le

temps de travail de la main-d'œuvre ou les frais de fonctionnement de l'usine.

❖ **le coût**

Le contrôle qualité représente sur les pièces complexes un coût non négligeable et qui doit être minimisé dans la mesure du possible.

❖ **la reproductibilité**

La mesure ne doit pas souffrir des circonstances extérieures : une même pièce contrôlée plusieurs fois doit toujours donner le même résultat.

❖ **la fiabilité**

Le contrôle doit remplir son cahier des charges, et par exemple détecter tous les défauts qu'il est censé être capable de détecter, indépendamment des conditions d'inspection.

❖ **la sensibilité**

La sensibilité est le rapport des variations de la mesure et du mesurande. Plus la sensibilité est grande, plus les petites variations du mesurande sont détectables, comme par exemple les défauts de faibles dimensions.

❖ **la résolution**

La résolution est la plus petite variation de signal pouvant être détecté, par exemple la dimension du plus petit défaut. Usuellement est défini le pouvoir de résolution, ici la dimension du plus petit défaut visible. Le pouvoir de résolution est fort si cette dimension est petite.

Parmi ces six critères, il est naturel de penser que la rapidité, la reproductibilité et la sensibilité sont respectivement fortement liées au coût, à la fiabilité et à la résolution. Il est très souvent nécessaire de consentir à des compromis entre les trois groupes ainsi définis.

3. Historique de CND

Entre 1816 et 1848, sur les bateaux à vapeur du Mississippi, 1443 personnes perdirent la vie par suite de l'éclatement de la chaudière. En 1865, une seule explosion tua 1547 personnes. La vapeur était, à cette époque, une énergie nouvelle. De nos jours, les chaudières des centrales

(thermiques ou nucléaires) n'éclatent plus : la probabilité d'explosion d'une chaudière sous pression est inférieure à 10^{-6} . Cette différence s'explique par les progrès réalisés dans le domaine de l'élaboration des matériaux et dans le domaine de la conception et de la réalisation des ensembles mécanique. Elle s'explique également par le développement des CND.

Les contrôles radiologiques ont eu une expansion rapide à partir de 1930. Il a fallu attendre 1960 pour observer un développement semblable dans le domaine des contrôles par ultrasons. La mise en œuvre des CND dans diverses branches de l'industrie a coïncidé avec d'importants progrès des CND eux-mêmes. Ces progrès portent sur trois aspects :

- la technique : amélioration de la finesse de détection des défauts.
- l'interprétation des contrôles : il n'est pas possible de fabriquer des ensembles exempts de défauts ! Il faut alors s'entendre pour accepter les défauts les moins dangereux et réparer les autres (ou rebuter les pièces entière).

On établit, de nos jours, des codes d'acceptations des défauts de plus en plus précis.

L'organisation des services de CND Grandes entreprises :

Ces services, en relation avec le client, prennent la décision d'acceptation, de réparation ou de rebut .ces décisions peuvent être prises au niveau d'un lot de pièces dans le cas d'une fabrication en série. Dans le cas d'une fabrication en petit nombre, de telles décisions sont parfois prises au niveau d'une pièce ou même d'un défaut particulier. [2]

4. Choix d'une méthode de contrôle

Afin de mettre au point une méthode de CND. pour une pièce, il convient de définir :

- a) L'utilisation que l'on veut faire de la pièce, particulier le type de sollicitations en service (contraintes, vibration, température, cavitation ...)
- b) Le type et la dimension des défauts que l'on tolérera. Le type de défaut cherché permettra de choisir une (ou plusieurs) technique de contrôle (radiologie, ultrasons, etc.). la dimension des défauts tolérés déterminera la finesse du contrôle, au sein de chaque technique. [3]

Le point a) conduit à la définition de la qualité de la pièce :

Qualité Q1, qualité Q2. La qualité Q1 correspond à sollicitations sévères ainsi qu'à des dommages importants en cas de rupture accidentelle. Elle correspond à des pièces très fiables

pour lesquelles le coût du contrôle est du même ordre de grandeur que le coût de fabrication.

Par exemple, sur une pièce de qualité Q2, certaines parties sont contrôlées en classe 1, d'autres en classe 2, ou 3. Le contrôle peut être à 100 % ou bien partiel (statistique).

La définition précise du point b) constitue l'étape capitale : En étant trop tolérant, on ôte au contrôle toute valeur, mais en étant trop sévère, on rend le contrôle absurde. En effet :

- . Le prix du contrôle augmente très vite avec la finesse de la détection.
- . Le prix des réparations augmente si l'on abaisse le seuil des défauts acceptables
- . À l'accroissement du prix des réparations vient s'ajouter l'augmentation des délais et l'immobilisation des matériels de production : n'oublions pas qu'après réparation il faut contrôler à nouveau.
- . Une réparation (à l'arc) est une opération délicate. Un mauvais pré ou post-chauffage engendrera des défauts fins (fissures) qui risquent d'être plus difficiles à détecter que les défauts d'origine, tout en étant plus dangereux pour la pièce.

5. Limites des CND

Si l'on y tente de répertorier les principales causes de rupture, on constate que la durée et le coût du CND peuvent être fortement abaissés par une meilleure conception de la pièce.

Ruptures fragiles : elles sont, en fait, peut fréquentes. Dans le cas du récipient, un essai sous pression permet d'éliminer les pièces défectueuses. Le choix d'un métal plus ductile diminue fortement le risque de rupture et dispense de un contrôle trop poussé.

Ruptures par fatigue : elles ne correspondent pas toujours à des défauts macroscopiques. La multiplication et le raffinement des contrôles. [4]

6. Présentation de différent type de contrôle non destructif

6.1. Contrôle radiologique

Le contrôle par radiographie consiste à faire traverser le matériau par un rayonnement ionisant (rayon X ou γ) et à recueillir le signal atténué sur un récepteur (films photographique ou capteur électronique) qui convertit ce rayonnement en une image visible d'où

ces images seront interpréter par un expert du domaine pour la détection des défauts.[5]



FIGURE 2-1 : MACHINE DE RADIOGRAPHIE.

6.1.1. Rayons X

Les rayons X en contrôle non destructif sont principalement utilisés pour réalisés des radiographies X .l'avantage de cette technique est de information est de fournir des informations directement exploitables sur l'intérieur des objets ou des matériaux. L'étape d'inversion peut être assez réduite et la résolution spatiale suffisamment bonne. toutefois , l'interprétation des images demande un fort niveau d'expertise de la d'opérateur et demande des conditions de sécurité pour l'opérateur et l'environnement .dans l'industrie lourde , le contrôle à l'aide des rayons X est utilisé notamment pour les soudures dans les centrales nucléaires et les chantiers navals et pétroliers, la corrosion des tuyaux, la structure des matériaux composites ou les fissures dans les pièces mécanique complexe.

6.1.2. Gammagraphie

Cette technique de radiographie industrielle utilise une source de rayonnements Gamma.

Elle consiste à placer la pièce à radiographier entre là la source de rayonnement et un film photographique contenu dans une cassette souple ou rigide .après un temps d'exposition dépendant de la nature et de l'épaisseur du matériau radiographié, le film est développé et révèle les défauts existant éventuellement à l'intérieur de la pièce. Les domaines d'utilisation sont nombreux (chaudronnerie, fonderie, industrie du pétrole, construction navale et aéronautique).[9]

6.2. Magnétoscopie

La magnétoscopie est une technique de contrôle non destructif qui consiste à créer un flux magnétique intense à l'intérieur d'un matériau ferromagnétique.

Lors de la présence d'un défaut sur son chemin, flux magnétique est dévié crée une fuite qui, en attirant les particules (colorées ou fluorescentes) d'un produit révélateur, fournit une signature particulière caractéristique du défaut. [10]

6.3. Contrôle par ressuage

C'est une méthode destinée à révéler la présence de discontinuités ouvertes en surface de pièces métalliques, essentiellement, mais aussi en céramique.

Cette méthode est très simple à mettre en œuvre elle est sensible aux discontinuités ouvertes. On peut mettre en évidence des discontinuités de 1µm d'ouverture, 100fois plus fine qu'un cheveu. Par contre, elle n'est pas automatisable et les résultats restant à l'appréciation de l'opérateur. De plus, nécessite l'utilisation de produit non récupérables, voire contaminés après utilisation (ex : centrale nucléaire : on essaie de réduire le volume des déchets), mais cette méthode est irremplaçable pour la mise en évidence de discontinuités débouchâtes, quel que soit leur emplacement, quelle que soit leur orientation.[6]

6.4. Contrôle par ultrasons



FIGURE 2-2 : MACHINE D'ANALYSE 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 le défaut puis revient vers le transducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur). L'interprétation des signaux permet de positionner les défauts en profondeur. L'étape d'inversion est simple, 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 représenter tridimensionnellement les défauts.[7]

6.5. 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 en circuit fermé à l'intérieur de celui-ci, ce sont les courants de Foucault.

Ainsi, une bobine parcourue par un courant variable, alternatif par exemple, génère de tels courants induits qui, créant eux-mêmes un flux magnétique qui s'oppose au flux générateur, modifient par là-même l'impédance de cette bobine. C'est l'analyse de cette variation d'impédance qui fournira les indications exploitables pour un contrôle; en effet, le trajet, le répartition et l'intensité des courants de Foucault dépendent des caractéristiques physiques et géométriques du corps considéré, ainsi bien entendu que des conditions d'excitation (paramètres électriques et géométrique du bobinage).[8]

On conçoit dès lors qu'un défaut, constituant une discontinuité électrique venant perturber la circulation des courants, une discontinuité électrique venant perturber la circulation des courants de Foucault, puisse engendrer une variation d'impédance décelable au niveau de la bobine d'excitation (ou de tout autre bobinage situé dans le champ).

Ce principe simple est surtout utilisé pour détecter des défauts superficiels, dans la mesure où les courants de Foucault ont tendance à se rassembler à la surface des corps conducteurs (effet de peau).

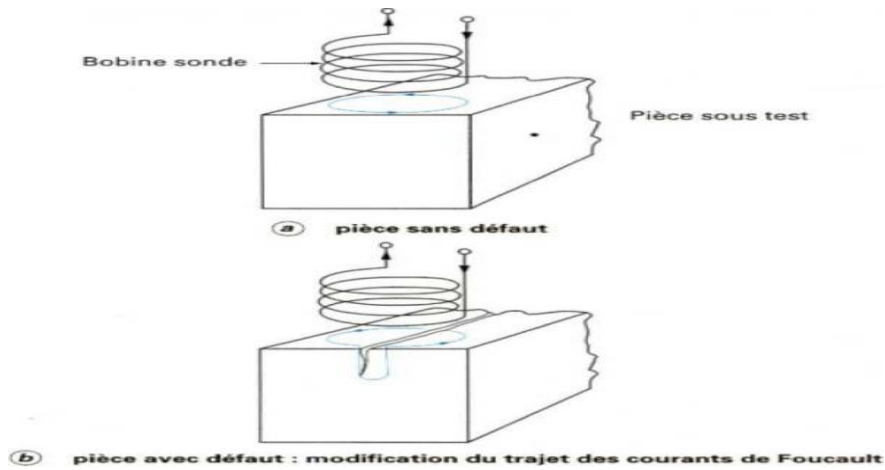


FIGURE 2-3 : PRINCIPE DE DETECTION PAR COURANTE DE FOUCAULT

7. conclusion

À travers son objectif, on aura compris que le contrôle non destructif est essentiel pour la bonne marche des industries qui fabriquent, mettent en œuvre ou utilisent les matériaux, les produits, les structures de toutes natures.

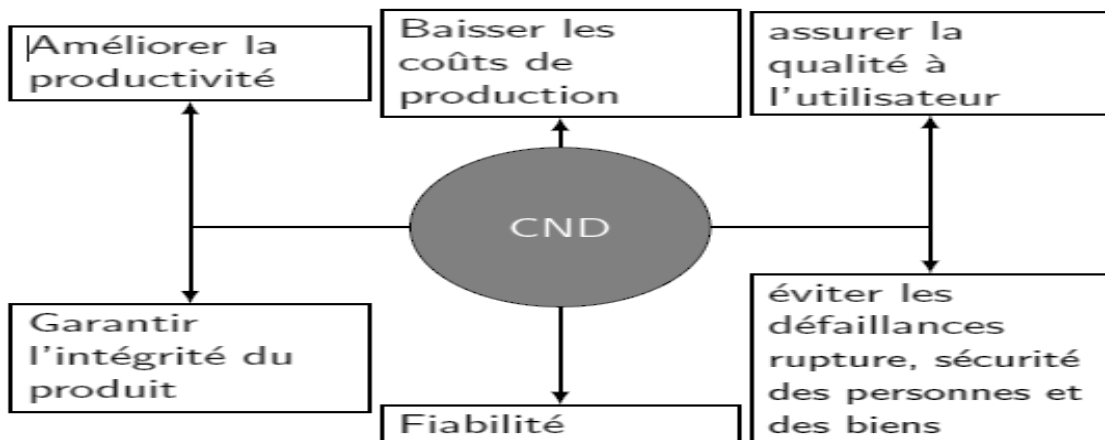


FIGURE 2-4 : ORGANIGRAMME DE CND