**I.1. Introduction**

Le contrôle non destructif est devenu un outil indispensable en contrôle de la qualité des produits. Ces techniques permettent de détecter les hétérogénéités et anomalies d’une pièce, sans altérer leur utilisation future. L’objectif des méthodes d’examen et de contrôle est de faire la distinction entre les méthodes d’essais destructifs et non destructifs et de décrire différentes méthodes d’essais non destructifs pour identifiés les défauts. Les méthodes d’examens non destructifs incluent les méthodes d’examen ainsi que les méthodes de contrôle. Le contrôle non destructif (CND) permet de vérifier la qualité du matériau (repérer les discontinuités dans une pièce) 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. En pratique, les défauts de petites tailles sont peu nombreux et n’affectent pas les performances de l’assemblage soudé.

Les méthodes utilisées pour les essais non destructifs (END) sont :

- Le contrôle visuel.

- Le contrôle par ressuage

- Le contrôle par magnétoscopie

- Le contrôle par radiographie : rayons X (RX) et gammagraphie (γ)

- Le contrôle par courant de Foucault

- Le contrôle par ultrasons (US)

- La détection par spectromètre de masse

- Les essais d’étanchéité à l’air ou au gaz

- La tomographie et neutrographie Certains classent la thermographie et l’holographie parmi les techniques CND.

Dans ce qui suit on traitera les premiers contrôles et on insistera sur le contrôle ultrasons.

**I.2. Contrôle non destructif : applications et tendances :**

**I.2.1. Champ d’application :**

À travers son objectif, on aura compris que le contrôle non destructif est essentiel pour la bonne marche des industries qui fabriquent, mettent en oeuvre ou utilisent les matériaux, les produits, les structures de toutes natures. À l’heure où la qualité est devenue un impératif difficilement contournable, le champ d’application des CND ne cesse de s’étendre au-delà de son domaine d’emploi traditionnel constitué par les industries métallurgiques et les activités où la sécurité est primordiale, telles que le nucléaire et l’aéronautique. Après le contrôle des biens d’équipements, vient celui des biens de consommation. La nature des défauts que l’on cherche à détecter se diversifie du même coup; on recherche les défauts technologiques ponctuels graves, comme ceux inhérents à la fabrication et à l’utilisation des métaux (fissure de fatigue), mais aussi désormais des défauts d’aspect (taches sur une surface propre) et des corps étrangers nuisibles (éclats de verre dans un emballage alimentaire).

On peut, par ailleurs, considérer que le contrôle non destructif d’un produit ou d’un objet peut être effectué à trois stades différents de sa vie, conduisant à trois types d’application se différenciant à la fois par le contexte industriel et par la nature du contrôle lui-même.

* 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, malgré tout, 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. Quand le détecteur de défauts ne peut pas être installé en ligne de fabrication, on utilise dans l’industrie des bancs de contrôle correspondant bien souvent à des équipements importants en taille et en coût d’investissement.
* Le contrôle en recette 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 bien souvent d’en définir la nature et les dimensions.
* 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 du matériel. On en attend une très grande fiabilité, eu égard à l’importance des risques encourus par la non-détection d’un défaut grave. 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.

**I.2.2. Tendance et application :**

Globalement, en tant qu’outil majeur de la politique qualité d’une entreprise, les techniques de CND continueront à élargir leur champ d’application vers de nouveaux secteurs d’activité économique. On constate aussi que l’objectif du contrôle non destructif évolue en rapprochant ce domaine de celui de l’instrumentation ; il ne suffit plus aujourd’hui de détecter un défaut, il faut aussi le caractériser et le dimensionner ; il faut aussi imaginer des techniques et procédés non destructifs aptes à mettre en évidence des hétérogénéités physiques complexes ou des irrégularités de propriétés telles que, par exemple, des variations de microstructure dans un métal, des variations de texture ou de rugosité sur une surface, des variations de propriétés électromagnétiques sur une bande. Ces objectifs sont souvent difficiles à atteindre, car les lois de la physique sont ce qu’elles sont et ainsi, dans ce domaine, les progrès sont lents.

Il n’en va pas de même pour l’automatisation des CND qui bénéficie pleinement des progrès de l’informatique ; il en résulte l’arrivée sur le marché, d’année en année, d’appareillages plus performants, plus fiables et surtout plus faciles à utiliser dans le cadre du respect de procédures de contrôles très strictes. L’évolution des CND doit prendre toutefois en compte l’aspect coût, ce dernier pouvant freiner l’essor de nouvelles techniques très performantes, comme c’est le cas actuellement pour la tomographie X.

**I.3. Principes de détection des défauts :**

**I.3.1. Hétérogénéités et défauts :**

Le terme défaut est ambigu, relatif et peu précis, mais sa connotation négative évoque bien le rôle que joue le contrôle non destructif dans la recherche de la qualité. En fait, détecter un défaut dans une pièce, c’est physiquement, mettre en évidence une hétérogénéité de matière, une variation locale de propriété physique ou chimique préjudiciable au bon emploi de celle-ci. Cela dit, on a l’habitude de classer les défauts en deux grandes catégories liées à leur emplacement : les défauts de surface, les défauts internes.

* Les défauts de surface, accessibles à l’observation directe mais par toujours visibles à l’oeil nu, peuvent se classer en deux catégories distinctes : les défauts ponctuels et les défauts d’aspect.

La première catégorie (défauts ponctuels) correspond aux défauts les plus nocifs sur le plan technologique, puisqu’il s’agit des criques, piqûres, fissures, craquelures, généralement aptes à provoquer à terme la rupture de la pièce, en initiant par exemple des fissures de fatigue. Dans les pièces métalliques, l’épaisseur de ces fissures est souvent infime (quelques μm) et elles peuvent être nocives dès que leur profondeur dépasse quelques dixièmes de millimètre, ce qui implique l’emploi pour leur détection de méthodes non destructives sensibles, telles que le ressuage, la magnétoscopie, les courants de Foucault, les ultrasons.

La seconde catégorie correspond aux défauts d’aspect, c’est-à-dire à des plages dans lesquelles une variation de paramètres géométriques ou physiques (rugosité, surépaisseur, taches diverses) attire le regard et rend le produit inutilisable. Ici, le contrôle visuel est possible, mais on cherche à le remplacer par des contrôles optiques automatiques.

* Les défauts internes sont des hétérogénéités de natures, de formes, de dimensions extrêmement variées, localisées dans le volume du corps à contrôler. Leur nomenclature est très étoffée et spécifique à chaque branche d’activité technologique et industrielle. Dans les industries des métaux, il s’agira de criques internes, de porosités, de soufflures, d’inclusions diverses susceptibles d’affecter la santé des pièces moulées, forgées, laminées, soudées. Dans d’autres cas, il s’agira simplement de la présence d’un corps étranger au sein d’une enceinte ou d’un produit emballé. Ici le contrôle visuel est généralement exclu d’office et l’on utilisera donc l’un ou l’autre des grands procédés du CND que sont la radiographie, le sondage ultrasonore, ou encore des techniques mieux adaptées à certains cas comme l’émission acoustique, l’holographie, l’imagerie infrarouge, la neutronographie.

**I.3.2. La détection d’u défaut :**

Le principe de la détection d’un défaut consiste à exciter celui-ci et à recueillir sa réponse. Schématiquement, on peut généralement distinguer les étapes suivantes, quelle que soit la méthode employée :

\* mise en oeuvre d’un processus physique énergétique ;

\* modulation ou altération de ce processus par les défauts ;

\* détection de ces modifications par un capteur approprié ;

\* traitement des signaux et interprétation de l’information délivrée.

Différents types d’énergie sont employés en pratique : énergie mécanique (ultrasons, ressuage), électromagnétique (radioscopie, observation dans le visible, flux magnétique...). On peut schématiquement distinguer deux groupes de méthodes de détection :

* Les méthodes de flux, avec une excitation et une détection de même nature et pour lesquelles le défaut introduit une perturbation de flux qui peut être relevée soit directement dans le flux transmis (radiographie) ou le flux rediffusé (ultrasons), soit par un effet de proximité (bobine de sonde à courants de Foucault, flux de fuite magnétique); la grande majorité des procédés du contrôle non destructif se réfère à ce groupe de méthodes ;
* Les méthodes pour lesquelles l’excitation et la détection sont de natures différentes, chacune mettant en jeu un processus original et spécifique ; l’excitation la plus employée est la sollicitation mécanique ; elle conduit aux techniques d’analyse de vibrations mécaniques ou de microdéformations (interférométrie holographique) ou encore à une technique d’émission provoquée dont la plus connue est l’émission acoustique.

**I.4. Procédure de contrôle non destructif :**

L’opération de contrôle non destructif d’un objet ne se borne généralement pas à la détection d’éventuels défauts. En effet, même si le choix du procédé, de la méthode et du matériel a été effectué au préalable, il faut envisager toute une procédure ayant les objectifs suivants : fiabilité de l’examen, reproductibilité, localisation des défauts, identification, caractérisation de ceux-ci, en particulier par leur taille, classement, présentation visuelle, décision concernant l’affectation de l’objet, enfin archivage des résultats et des conditions d’examen.

Ce sont des opérations d’étalonnage, de calibrage, de balayage de la sonde, de traitement des données qui permettent d’atteindre ces objectifs désormais dans de bonnes conditions, grâce à l’apport intensif de l’informatique en temps réel.

Les procédés de contrôle non destructif résultent de la mise en oeuvre des principes et techniques physiques précédents. Ils sont assez nombreux. Certains sont anciens, d’autres récents ; certains sont simples, d’autres complexes ; certains sont très employés, d’autres peu. On les classe habituellement en deux familles selon qu’ils favorisent la détection des défauts de surface ou des défauts internes. Le tableau 1 dresse la liste des procédés actuellement utilisés en contrôle industriel et résume leurs principes et leurs champs d’application spécifiques.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tableau I 1.** *LES PROCEDES DE CONTROLE NON DESTRUCTIF : méthodes de contrôle et domaines d’application.* | | | |
| **Type de procède** | **Méthode de contrôle** | **Types de defaults détectés** | **Domaine d’application** |
| **Optique** | Examen visuel | Défauts débouchants,  fissures, criques, trous | Contrôle manuel  de tous produits  à surface accessible |
| Contrôle laser | Contrôles automatiques  de bandes et tôles |
| Contrôle TV | Défauts d’aspect,  taches | Contrôle automatique  en fabrication des produits divers |
| Interférométrie  holographique | Délaminations,  décollements | Contrôle en atelier de parois non métalliques |
| Thermographie  infrarouge | Délaminations,  hétérogénéités  diverses | idem  Contrôle sur site |
| **Ressuage** | Ressuage | Défauts fins  débouchants | Contrôle manuel  de tous produits  à surface accessible |
| **Flux de fuite**  **magnétique** | Magnétoscopie | Défauts fins  débouchants  et sous-cutanés | Produits ferromagnétiques  (aciers) |
| Détection de flux  de fuite | Défauts fins  débouchants |
| **Électromagnétiques** | Courants de Foucault | Défauts fins  débouchants | Contrôle en ligne  et sur chantier de tous produits métalliques |
| Potentiel électrique | Mesure de profondeur  de défauts | Tous produits  Conducteurs |
| Hyperfréquences | Hétérogénéités diverses | Matériaux  peu conducteurs |
| **Rayonnements ionisants** | Radiographie X |  | Contrôle en atelier  et sur site de tous  matériaux |
| Radiographie γ | Contrôle en ligne |
| Radioscopie  en temps réel | Défauts internes |
| Tomographie X |  | Contrôle de structures  non métalliques |
| Neutronographie |  | Corps hydrogénés |
| Diffusion Compton | Délaminations | Contrôle des composites |
| **Vibrations**  **mécaniques** | Ultrasons | Défauts internes  Défauts  débouchants | Contrôle manuel  ou automatique de la majorité des matériaux |
| Émission acoustique | Criques  Fissures | Parois de gros  récipients  Structures diverses |
| Essais dynamiques | Contrôle de pièces  Moulées |
| **Tests d’étanchéité** | Essais hydrostatiques | Défauts débouchants  dans joints ou parois,  zone perméable | Tubes et enceintes en  tous matériaux |
| Tests avec gaz  traceurs (halogènes,  hélium) |
| Détection sonore |