**5- Ressuage**

**5.1 Principe**

Le **ressuage** est un terme qui désigne l’extraction d’un fluide d’une discontinuité dans laquelle il s’était préalablement accumulé au cours d’une opération d’imprégnation. L’imprégnation d’une fissure par un liquide, tirant profit de ses propriétés tension-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, les plus simples et les plus largement utilisés de nos jours. Le mécanisme de révélation des défauts par ressuage correspond aux trois phases illustrées sur la figure **2** : application du pénétrant suivie d’un temps imprégnation, élimination de l’excès du pénétrant sur la surface de la pièce, ressuage du pénétrant par disposition d’une couche de « révélateur » sur la surface. À la suite de quoi, l’image des défauts apparaîtra à l’observateur dans la mesure où l’étalement du pénétrant sur le révélateur conduit à une nette variation

de couleur ou de luminance.

**5.2 Principaux procédés de ressuage**

Partant du mécanisme *imprégnation, nettoyage de surface, ressuage*, décrit ci-dessus, différents procédés d’inspection peuvent être mis en œuvre, résultant de la combinaison des différentes options faites dans le choix du traceur optique donc de la nature du pénétrant, de l’utilisation ou non d’un émulsifiant dans la phase de l’élimination de l’excès de liquide, dans le choix du révélateur de ressuage qui peut être poudreux ou liquide.



**Figure 2 – Principe de la méthode de ressuage**

Il faut retenir que, dans tous les cas, les opérations sont relativement lentes, prenant chacune plusieurs minutes, de 3 à 30 minutes en ce qui concerne l’imprégnation des fissures par le pénétrant. Ces différentes variantes sont codifiées dans les normes internationales et la norme NF A 09-120. La figure **8** illustre la succession des opérations dans chacun des procédés, sachant que le contrôle proprement dit doit être précédé et suivi d’une opération de nettoyage de la pièce extrêmement soigneuse. On utilise essentiellement deux techniques de traçage du pénétrant en ressuage : le **traçage coloré ou le traçage fluorescent** ; le premier implique d’utiliser un révélateur à fond blanc sur lequel on visualisera des empreintes de défauts généralement colorés en rouge ; le second implique un examen fait en lumière noire, dans l’obscurité, au cours duquel les défauts seront révélés par une fluorescence excitée par un projecteur de rayons ultraviolets (UV).

Ce deuxième type de procédé conduit presque toujours à de meilleures performances de détection que celles obtenues avec l’utilisation des traceurs colorés, au prix toutefois de conditions d’examen optique plus contraignantes.

**5.3 Mise en œuvre du contrôle par ressuage :**

**\*\* Contrôle sur site :**

Le contrôle par ressuage peut être effectué **sur site** et de façon souvent aisée, grâce à l’emploi de produits en bombes aérosols et d’un lavage par solvant lorsqu’on ne dispose pas d’eau.

**\* Contrôle à poste fixe :**

Le contrôle **à poste fixe** (figure 3) correspond souvent au contrôle en série d’un grand nombre de pièces et se fait sur des chaînes manuelles ou automatiques composées des postes correspondant aux opérations successives d’un contrôle par ressuage :

— le **dégraissage**

— la **déposition du pénétrant** dans une cuve adaptée à la taille des pièces ou des paniers de

— l’**élimination de l’excès de pénétrant** correspondant à un

— le **séchage intermédiaire** s’effectue en étuve à circulation d’air

— l’**application du révélateur** se fait dans une enceinte appropriée

— le **poste d’inspection visuelle** doit être conçu pour répondre aux meilleures conditions d’observation en lumière blanche ou en fluorescence UV.



**Figure 3 – Séquences des différents procédés d’inspection par pénétrant liquide**

**5.4 Fiabilité**

La **vérification** de la fiabilité du contrôle par ressuage est en particulier indispensable lorsqu’il s’agit d’une chaîne manuelle ou automatique. Indépendamment des procédés d’assurance qualité concernant l’installation et les produits de ressuage mis en œuvre, on effectue des tarages périodiques basés sur l’utilisation de **pièces de référence** que l’on soumet au contrôle par ressuage. Il en existe plusieurs types : le test bloc en alliage d’aluminium (code ASME) est assez peu sélectif et peu réutilisable.

**6. Radiographie et techniques :**

L’examen de la structure ou de la santé interne d’un objet par radiographie consiste à le faire traverser par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d’onde (rayons X ou γ ) 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, comme l’illustre la figure **23**. Selon le même principe, on peut obtenir des images en utilisant d’autres particules que les photons et ainsi mettre en œuvre des techniques comme la **neutronographie** qui seront aussi évoquées dans ce paragraphe.

**6.1 Bases physiques du contrôle radiographique :**

**Nature des rayonnements ionisants**

Rayonnements de même nature mais d’origine différente, les rayons X et γ sont des ondes électromagnétiques de très courtes longueurs d’ondes (comprises entre environ 0,1 pm et 1 000 pm). On caractérise couramment ces rayonnements par l’énergie unitaire *E* des photons associés, exprimée en électronvolts (eV). Si l’on exprime *E* en MeV et la longueur d’onde λ en pm, on tire de la relation du photon

*E* = *h* ν

Où *h* est la constante de Planck,

ν la fréquence de l’onde,

**7. Ultrasons**

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz) présentant une certaine élasticité. En continuation de la gamme sonore, les ultrasons correspondent à des fréquences oscillatoires supérieures à la limite d’audibilité humaine et s’étendant dans une large gamme allant de 15 kilohertz (nettoyage) à plus de 100 MHz (microscopie acoustique, application électronique). La gamme 1 à 10 MHz couvre la grande majorité des applications des ultrasons en contrôle non destructif industriel. Cela n’est pas un hasard car ces fréquences correspondent, pour les matériaux courants, à des longueurs d’onde ultrasonore de l’ordre du **millimètre**, valeur réalisant un bon compromis entre directivité, absorption, détectabilité des petits défauts, facilité de réalisation d’appareillages

électroniques et de transducteurs fiables et économiques.

**7.1 Différents types d’ondes** (figure 4)

Les ondes ultrasonores, vibrations élastiques de la matière, ont des propriétés liées aux caractéristiques élastiques du support matériel. Ainsi, dans les **liquides et les gaz**, qui sont des milieux n’offrant aucune résistance au cisaillement, les ondes ultrasonores sont essentiellement des **vibrations longitudinales**, les particules matérielles se déplaçant, par rapport à leur position d’équilibre, parallèlement à la direction de propagation de l’onde, engendrant des fronts de compression-décompression, eux-mêmes perpendiculaires

à cette direction. Ce type d’onde se retrouve dans les **solides** et est d’ailleurs le plus utilisé en pratique.

Toutefois, un autre mode, utilisant le cisaillement, peut exister : mode d’**onde transversale** pour lequel les vibrations des particules s’exercent perpendiculairement à la direction de propagation.



**Figure 4 – Types d’ondes et modes de propagation des ultrasons**

**dans un solide**

**7.2 Méthodes de contrôle ultrasonore :**

**\* Échographie ultrasonore**

Connue désormais de tout un chacun par son utilisation médicale, l’échographie est aussi la méthode de loin la plus employée dans le contrôle non destructif industriel. Son principe, très simple, est celui du radar : on envoie, dans la zone à inspecter, de brèves impulsions ultrasonores et l’on recueille en retour des **échos**

renvoyés par les diverses hétérogénéités susceptibles de créer des ruptures d’impédance acoustique (voir figure 5).



**Figure 5 – Contrôle ultrasonore par échographie**

**(Ondes longitudinales)**



**Figure 6 – Contrôle des soudures par la méthode tandem**

**(Ondes transversales)**

**8. Champ d’application**

Le champ d’application du contrôle ultrasonore concerne principalement, outre bien entendu le domaine médical, l’examen des **pièces métalliques** et de leurs assemblages en fabrication et en service, donc l’ensemble des industries métallurgiques, mécaniques, nucléaires et aéronautiques. Ce champ s’élargit de plus en plus au contrôle des matériaux et assemblages non métalliques, céramiques, polymères, matériaux composites, béton ; cela s’effectue lentement, eu égard aux difficultés pratiques rencontrées et dues à

la nature même de ces produits à structure peu homogène et anisotrope.

Il faut rappeler aussi que les ultrasons sont très employés pour les mesures d’épaisseur et, plus récemment, dans l’évaluation de certains paramètres métallurgiques comme les grosseurs de grains, les textures, les profondeurs de traitements thermochimiques superficiels sur les aciers, et enfin l’estimation des contraintes mécaniques.