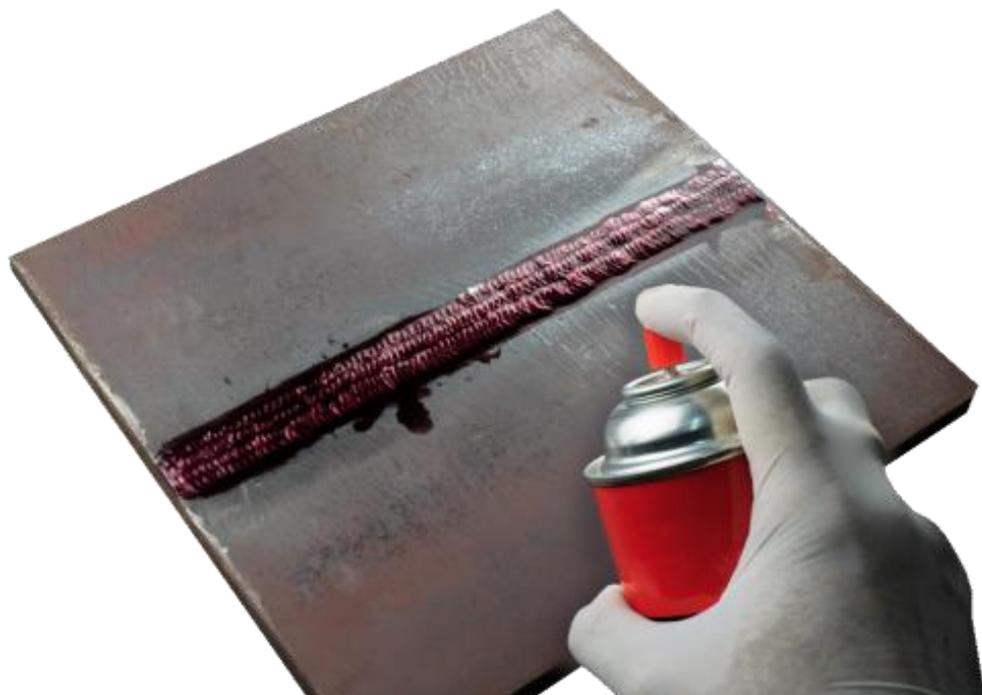


CND

RESSOURCE : RESSUAGE

Métrologie et contrôle avancés



PPN IUT GMP 2^{ème} année

UE32	INDUSTRIALISER ET GERER : MISE EN ŒUVRE	METROLOGIE
M3203C	Méetrologie et contrôle avancés	Semestre 3
Objectifs du module : En fonction de l'environnement industriel local, développer les différents enseignements de métrologie ou de contrôle correspondant aux compétences visées.		
Compétences visées : Préparer les contrôles à réaliser à partir de dossiers, gammes, commandes, consignes. Contrôler la conformité de fabrication de produits, pièces, sous-ensembles, ensembles. Réaliser des contrôles destructifs et non destructifs. Approfondir les méthodes de mesure et de contrôle des surfaces canoniques et les étendre aux surfaces complexes. Connaître les principes des autres technologies de mesure et participer à leur mise en œuvre. Réaliser la métrologie des moyens de production.		
Prérequis : Outils mathématiques de résolution de systèmes d'équations.		
Contenus : Mise en œuvre de procédures de contrôle. Analyse des spécifications des surfaces canoniques (approfondissement) et complexes. Mise en œuvre du processus de mesure avec ou sans contact. Mettre en œuvre des techniques de contrôle non destructif. Choix et utilisation d'une méthode d'investigation en fonction du défaut recherché. Mesure des défauts géométriques des moyens de production et évaluation de leur influence sur la pièce		

I – Introduction

Le contrôle par ressuage est une méthode largement répandue qui permet la détection des discontinuités ouvertes, débouchant en surface sur tous matériaux métalliques, de nombreux matériaux minéraux (verre, céramiques) et, après essai satisfaisant de compatibilité, certains matériaux organiques.

L'intérêt de cette méthode de contrôle non destructif réside dans le fait que tous ces défauts peuvent être détectés, avec une totale fiabilité, quels que soient :

- Leur orientation.
- Leur emplacement sur pièce.
- La dimension et la complexité de géométrie de la pièce à contrôler.

Le ressuage peut être employé quasiment n'importe où, sauf sous l'eau, avec des moyens simples.

Il permet aussi d'effectuer le contrôle, en chaînes automatiques pilotées par automates programmables, de grandes séries de pièces telles que : aubes, éléments de suspension, etc. Et cela à moindre coût. Le ressuage reste et demeure, la première méthode (après l'examen visuel, cependant) qui précède toutes les autres méthodes de Contrôle Non Destructif.

II - Mise en œuvre de la méthode

1) Différents types de produits utilisés

a - Pénétrants

Les pénétrants s'appellent aussi liquides d'imprégnation. Il existe trois familles principales de pénétrants :

- **Les pénétrants colorés**, qui sont généralement de coloration rouge/violette, pour lesquels l'observation se fait en lumière blanche :

- Plus grande portabilité (n'exige pas d'espace sombre et de lumière ultraviolette)
- Peu sensible aux défauts contaminés
- Bonne sensibilité, mais indications difficilement observables pour les petits défauts

- **Les pénétrants fluorescents** : la lumière noire ou lumière de Wood (du nom de l'inventeur Robert William Wood), est une lumière composée de violet (avec un léger pic autour de 405 nm de longueur d'onde mais peu éclairant) et d'ultraviolet (principale composante autour de 365 nm) dans une bande spectrale quasi continue. Les pigments fluorescents transforment la lumière noire en lumière visible jaune verte.

- Nécessité de disposer d'une lumière UV
- Plus sensibles car il faut moins de pénétrant retenu pour créer une indication visible
- L'examen doit être réalisé dans un local obscur

- **Les pénétrants colorés et fluorescents**

- Peuvent être utilisés indifféremment avec ou sans lumière ultraviolette

Parallèlement, dans chaque famille, on peut rencontrer trois cas possibles d'utilisation:

- Le pénétrant est pré-émulsifié (pré-émulsionne) auquel cas il est directement rinçable à l'eau.
- Le pénétrant est à post-émulsification (post-émulsion) auquel cas l'excès de pénétrant pour être éliminé, doit être soumis à l'action d'un émulsifiant intermédiaire.
- Les pénétrants sont éliminables à l'aide d'un solvant approprié. Les solvants permettent d'éliminer les pénétrants mais leur action est très brutale. L'immersion est donc à proscrire. L'enlèvement se fait préférentiellement avec des chiffons imbibés.

Caractéristiques d'un pénétrant :

- Densité : < 1
- Volatilité (aptitude à s'évaporer) : Pénétrant peu volatile
- Pénétrabilité : aptitude à s'insinuer dans des fissures étroites
- Mouillabilité : aptitude à mouiller la surface d'un corps solide en contact avec le liquide ou à s'épandre sur le solide
- Angle de contact : l'angle de contact décrit la mouillabilité d'un liquide ; si cet angle est petit, le liquide est mouillant.
- Capillarité : aptitude de liquides à remonter dans espaces étroits au-dessus de leur niveau (voir pénétrabilité).
- Viscosité : résistance au mouvement des particules d'un liquide
- Stabilité : aptitude du pénétrant à conserver ses propriétés au cours du temps par exemple, sa visibilité lors d'expositions prolongées à la lumière.
- Toxicité et action corrosive
- Point Eclair : température au-dessus de laquelle des vapeurs inflammables existent au-dessus du liquide.
- Tension superficielle : Caractéristique la plus importante d'un pénétrant. La tension superficielle est égale à l'énergie à fournir au liquide pour augmenter sa surface libre d'une unité. Elle s'exprime en joules/m². (Faible pour les produits de ressuage).

Propriétés résumées d'un pénétrant :

- Volatilité, angle de contact, viscosité, toxicité et action corrosive, tension superficielle : FAIBLES
- Capillarité, mouillabilité : FORTE

Pénétrants spécifiques :

Pénétrant pour ressuage à chaud : les pénétrants habituels s'utilisent entre 15 et 40°C ; au-dessous, ils perdent leur mouillabilité ; au-dessus, ils s'évaporent. Mais il existe des pénétrants spécifiques usages à chaud, jusqu'à 200°C, employés en particulier, pour le contrôle des soudures.

Pénétrants thixotropiques : ils ont la propriété de se rendre fluides si on les agite et de redevenir visqueux au repos : on les emploie sur les surfaces lisses verticales où un produit classique pourrait rapidement s'égoutter.

b - Emulsifiants

L'émulsifiant n'est utilisé que dans le cas d'un produit pénétrant à post-émulsification pour l'enlèvement de l'excès de pénétrant en surface de la pièce : l'émulsifiant, appliqué sur la surface de la pièce, diffuse dans le pénétrant pour former une émulsion rinçable à l'eau.

Deux types d'émulsifiants peuvent être utilisés :

- Les émulsifiants lipophiles (ou lipophiliques) utilisés à l'état pur, solubles dans le pénétrant, miscibles dans l'huile, à base organique utilisés en général tels quels avec une durée d'émulsification très courte.
- Les émulsifiants hydrophiles (ou hydrophiliques) à base organique ou avec détergents, s'utilisent dilués généralement à 5 ou 10 % dans l'eau, mais peu solubles dans le pénétrant : leur action, localisée en surface, se caractérise par une modification de la mouillabilité du pénétrant qui se déplace plus facilement sous l'action mécanique de l'eau. La durée d'émulsification est de quelques minutes.

c – Révélateurs

Propriétés des révélateurs : aptitude à aspirer le pénétrant restant dans les fissures et à colorer ce pénétrant. Pas d'action chimique nocive sur le pénétrant et pas d'action corrosive sur la pièce.

Il existe essentiellement deux types de révélateurs, pouvant être utilisés avec les diverses familles de pénétrants et d'émulsifiants :

- **Les révélateurs secs** se présentant sous forme de poudre : ce type est utilisable seulement avec les pénétrants fluorescents, et :

- Pour surfaces rugueuses (pour empêcher les accumulations dans les creux et garantir une couche fine homogène)
- Pour pièces de forme complexe : filetage, rainure, trou
- Pour pièces de grande dimension

- **Les révélateurs humides** constitués d'une poudre en suspension ou en solution dans un liquide. Sous cette forme deux types de révélateurs peuvent être rencontrés :

- Le liquide support est un produit organique volatil (solvant par exemple alcool isopropylique) : ce type de révélateur est universel et peut s'employer indifféremment avec les pénétrants colorés ou fluorescents
- Le liquide support est de l'eau : ce type de révélateur conduisant à des manques de reproductibilité sur le plan technique tend à disparaître. Ce type de révélateur est utilisable pour :
 - Surface polie et lisse.
 - Grand nombre de petites pièces.
 - Quand on cherche des discontinuités larges et peu profondes.

Compatibilité entre pénétrants, émulsifiants et révélateur : choisir pour une gamme le même fournisseur. Il peut exister des produits incompatibles entre diverses marques.

Ne jamais faire deux ressuages successifs avec des produits différents, sans nettoyer convenablement la pièce : par exemple, un pénétrant rouge peut détruire la fluorescence d'un pénétrant fluorescent.

2) Technique opératoire

a - Préparation des surfaces à contrôler

- **But et nécessité :**

- Obtenir le meilleur état de surface possible pour utiliser un pénétrant sensible.
- Ouvrir les défauts superficiels, donc éliminer la peinture, les calamines, oxydes, croûtes métalliques, résidus de combustion, au-dessus et dans le défaut.
- Nettoyer la surface de toute contamination d'ordre chimique risquant d'altérer les propriétés des produits : huile de coupe, graisse.
- Éliminer tout produit étranger qui pourrait absorber le pénétrant et créer de fausses indications.

- **Modes de préparation :**

- **Mécanique :**

- Usinage : Enlèvement de copeaux à l'outil. L'état de surface obtenu reste variable. On le mesure par la rugosité.
- Meulage : Élimination à la meule de la couche superficielle dénaturée par les opérations à chaud et les calamines.
- Sablage et grenailage : Opérations déconseillées avant ressuage car elles rebouchent les fissures.
- Surface peinte : Éliminer la peinture.

- **Chimiques :**

Une étape de préparation chimique est fortement conseillée après les opérations mécaniques. Son but est d'enlever :

- La couche de calamine superficielle s'il y en a (décapage)
- Une pellicule métallique de quelques microns, écrouie formée par l'usinage et le meulage
- Les impuretés (oxydes) contenues dans les fissures pour les ouvrir et les rendre révélables

- **Nettoyage et dégraissage :**

Une surface sale ou grasse :

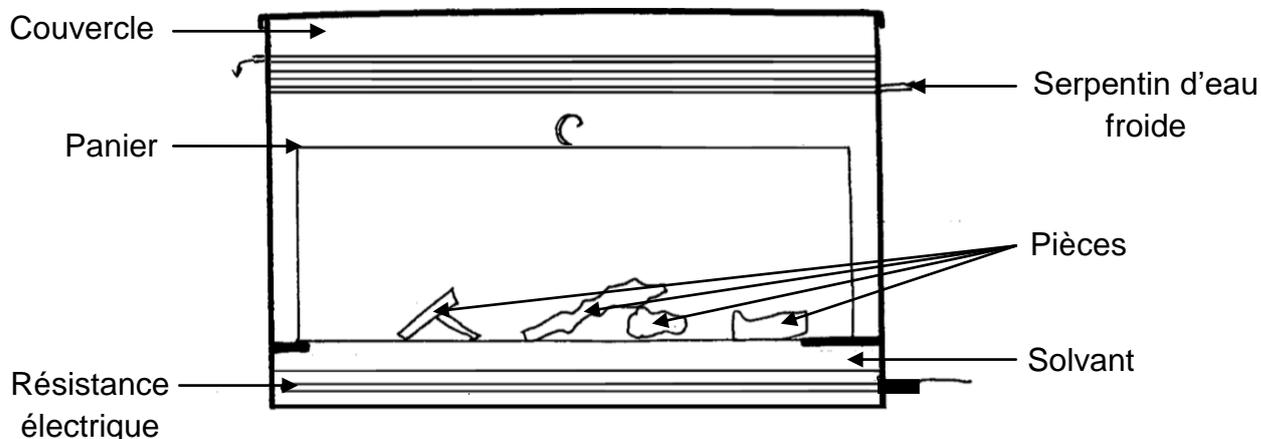
- Empêche l'étalement du pénétrant (mouillabilité)
- Empêche une élimination correcte du pénétrant
- Cause des agglomérats de révélateur
- Contamine les produits.

Dégraissage liquide par solvant : Solvant = nettoyant, mais attention à la nature et aux propriétés des solvants utilisés : Pas d'action nocive sur la pièce, en particulier pas de chlore sur les inox et les alliages de titane.

- Acétone
- Alcools éthylique et isopropylique
- ...

Par immersion ou par contact en frottant avec un chiffon propre. Ce procédé est répandu sur le site ou sur chantier ou pour grosses pièces. Dans les deux cas, bien laisser s'évaporer le solvant répandu, l'étuvage est inutile.

Dégraissage par vapeur de solvant : C'est la vapeur du solvant qui nettoie les pièces à sa température d'ébullition.



Dégraissage alcalin : L'agent nettoyant est un détergent dilué dans de l'eau chaude. Deux procédés existent : par immersion ou par pulvérisation. Ensuite il faut rincer la pièce, la sécher (et étuver si demandé : l'étuvage évapore l'eau restant éventuellement dans les fissures).

b - Application du pénétrant

Les pièces doivent être dégraissées fraîchement. Il faut s'assurer que la pièce est sèche et réaliser un étuvage si nécessaire : en présence d'eau ou après lavage aqueux.

Contrôler que la pièce est froide : les pénétrants courants doivent être appliqués entre 15 et 40° (après étuvage, on vérifie qu'on peut maintenir la main dessus sans sensation de brûlure).

L'application du pénétrant liquide sur les pièces préalablement nettoyées est pratiquée :

- **Enduction au pinceau (ou à la brosse)** : on enduit en excès la pièce. Cette méthode est efficace pour de petites surfaces mais laborieuse si elles sont grandes.
- **Pulvérisation au pistolet** : La pulvérisation se réalise au pistolet en limitant les pressions afin de ne pas éclabousser à distance. On utilise aussi des seaux pulvérisateurs autonomes.
- **Pulvérisation à la bombe aérosol** : Cette variante est utilisée pour des surfaces limitées ou sur chantier dans des conditions difficiles.
- **Pulvérisation électrostatique** : Les pistolets électrostatiques permettent de créer un champ électrique entre la buse et la pièce qui impose leur trajectoire aux gouttelettes. Cette méthode est la plus économique en produit.
- **Par immersion** : La pièce est immergée dans une cuve pendant quelques minutes avant d'être mise à égoutter. Cette méthode ne s'applique pas aux grosses pièces, car la capacité des cuves implique alors des quantités de pénétrant conduisant à des coûts prohibitifs.

Après enduction, le pénétrant s'égoutte. Si l'égouttage est trop rapide, par exemple après pulvérisation de pièces à faces verticales polies, il faut procéder à une seconde enduction (ou utiliser un pénétrant thixotropique).

Le liquide égoutté n'est en général pas réutilisé, sauf pour des installations à immersion. Ce recyclage impose un contrôle régulier du pénétrant.

c - Temps d'imprégnation

Il intègre le temps de contact entre pénétrant et pièce : il se situe généralement dans l'intervalle 20 à 60 mn. On peut le prolonger pour la détection de fissures fines, avec des réapplications périodiques.

d- Elimination de l'excès de pénétrant

Suivant la nature du liquide pénétrant la technique d'élimination sera différente, nous distinguons trois types de produits :

- Pénétrants lavables par un solvant spécial
- Pénétrants pré-émulsionnés directement lavables à l'eau
- Pénétrants à post-émulsion lavables à l'eau après application d'un émulsifiant

Dans tous les cas, attention d'éviter le « sur-lavage ».

Il est important de vérifier après rinçage à l'eau, l'absence de pénétrant en surface. Deux cas peuvent se présenter suivant la nature du pénétrant :

- La vérification se fait en lumière blanche (naturelle ou artificielle) dans le cas d'un pénétrant coloré
- La vérification se fait en lumière ultraviolette dans le cas d'un pénétrant fluorescent

Cette étape est importante, car une mauvaise préparation de la surface de la pièce peut fausser l'examen, avec l'apparition de défauts qui n'existent pas en réalité.

Si après vérification, une coloration anormale subsiste, on renouvelle l'opération de rinçage à l'eau. Dans certains cas on peut être amené à recommencer complètement la procédure d'élimination d'excès de pénétrant.

e- Séchage

L'opération de séchage est effectuée de trois manières possibles :

- Par exposition des pièces à l'air chaud (ne dépasse pas 80 °C) d'une étuve pour éviter la décomposition des produits utilisés
- Par soufflage à l'air comprimé sec et déshuilé à une pression inférieure à 200 kPa afin d'éviter de chasser le pénétrant des défauts,
- Au chiffon sec, propre et non pelucheux.

La durée de l'opération doit être la plus courte possible afin d'éviter le séchage du pénétrant à l'intérieur des défauts.

f- Application du révélateur

L'opération de révélation favorise la remontée du pénétrant le long du défaut, jusqu'en surface extérieure : c'est le phénomène de ressuage ! En fonction de la nature des produits, on applique l'une des procédures suivantes :

- Pour les révélateurs secs l'application se fait par :
 - Pulvérisation au pistolet : la poudre en suspension dans un jet de gaz est envoyée sur la pièce
 - Pulvérisation électrostatique : la pulvérisation est réalisée au pistolet électrostatique
 - Création d'un brouillard de poudre dans une cabine étanche aménagée à cet effet
 - Immersion : dans une cuve pleine de poudre

Il est important que la couche soit très fine mais continue pour obtenir les meilleurs résultats.

- Pour les révélateurs liquides l'application se fait par :
 - Immersion (quelques secondes)
 - Pulvérisation mécanique ou électrostatique (pour les non aqueux).

Les révélateurs liquides doivent toujours être mélangés avant utilisation : agitation manuelle du pistolet ou de la bombe aérosol et agitation mécanique pour une cuve. Un révélateur mal mélangé peut donner une couche croûteuse qui se fissure. D'une manière générale la durée d'application du révélateur n'est pas critique sauf lorsqu'on procède par immersion dans le cas du révélateur liquide.

g- Observation des indications de défauts

Il est intéressant d'observer dès l'application du révélateur et à intervalles de temps réguliers, de manière à suivre l'évolution des indications, se sécuriser sur la présence d'un défaut et estimer son importance.

L'observation est pratiquée en lumière naturelle ou artificielle d'une intensité au égal à 350 lux pour les pénétrants colorés, et une densité énergétique de 8 W.m^{-2} mini (15 W.m^{-2} est souhaitable) en lumière ultraviolette pour les pénétrants fluorescents.

h- Nettoyage final

Un nettoyage final est préconisé pour certains matériaux, pour lesquels la présence des produits utilisés peut entraîner des corrosions par piqûres. La procédure de nettoyage final adoptée est généralement la même que celle pratiquée au stade initial pour la préparation de surface.