

# PRINCIPALES LIMITES DES TECHNIQUES D'EXAMEN NON DESTRUCTIF

## NOTE A L'ATTENTION DES DONNEURS D'ORDRES

Ed. MAI 2013

### PREAMBULE

Tout examen a des limites et revêt notamment un caractère probabiliste reconnu : aucun procédé même appliqué conformément à une norme ou à une procédure particulière éprouvée, ne peut garantir 100% de détection des défauts, ni statuer de manière systématique sur leur nature et dimensions. Pour être détectable, un défaut doit être "ouvert" et présenter une longueur et une hauteur suffisantes.

Les limites des contrôles non destructifs dépendent des procédés, des conditions opératoires, des matériaux, de la géométrie de la zone concernée par l'examen, des caractéristiques des défauts, et du facteur humain.

Les méthodes et/ou techniques CND/END ne déterminent pas les caractéristiques des défauts physiques, elles statuent sur des indications qui ne sont que les traces du défaut réel résultant de l'interaction d'un phénomène physique avec ce dernier. La plupart des méthodes et techniques CND/END mises en œuvre selon les normes ou codes, ne prennent en compte lors de leur application que les indications dépassant des seuils de notation et d'acceptation prédéterminés. Il résulte que certains défauts peuvent se traduire par des indications en dessous du seuil de notation et en conséquence ne pas être mentionnés dans les rapports.

Les résultats des contrôles reflètent l'état des liaisons soudées et des matériaux à un stade d'avancement donné d'une construction et pour les conditions effectives d'examen (accès, état de surface, position, étendue du contrôle, champ de contraintes résiduelles ...) au jour de l'intervention. Toute modification d'origine mécanique (redressage, usinage, transport ou sur-sollicitation d'épreuve par exemple), thermique (TTAS ou redressage par chaudes de retrait par exemple) ou chimique (décapage ou traitement de surface par exemple) imposée ultérieurement à la structure peut générer des modifications d'état métallurgique ou des champs de contraintes internes, susceptibles :

- de modifier la détectabilité et la caractérisation de défauts existants,
- de propager des défauts existants,
- voire de créer de nouveaux défauts ...

Toute intervention ultérieure sur la construction peut être de nature à modifier le résultat du contrôle initial. De fait, des indications initialement en dessous du niveau d'enregistrement peuvent ainsi le franchir et des indications dans les critères d'acceptation peuvent devenir non conformes. Seul, la réalisation d'un nouveau contrôle prenant en compte le nouvel état de la construction permettra d'en quantifier les éventuels effets.

La fissuration à froid dans les soudures, comme les mécanismes liés à la dégradation par l'hydrogène, correspond à un processus lent de fissuration différée. De nombreux paramètres sont susceptibles d'intervenir. Certaines fissures peuvent n'être détectables que plusieurs jours, voire une semaine ou plus après la fin du soudage. Il est de la responsabilité du donneur d'ordres de fixer le délai à partir duquel le contrôle doit être effectué pour prévenir le risque.

En tout état de cause, les résultats des contrôles sont valables à la seule date à laquelle ils ont été effectués et, le domaine d'application **général** des principaux procédés de CND/END ainsi que leurs principales limites à température ambiante sont rappelés dans le présent document.

\*\*\* \*\*

### 1. EXAMEN VISUEL

C'est le plus simple des essais non destructifs qui peut permettre de vérifier la présence, les dimensions, les formes et la position des soudures ou de tout autre élément de la construction. Cet examen peut aussi être un contrôle préalable pour guider le donneur d'ordres vers le choix d'un autre procédé de contrôle non destructif. Il peut être requis dans de nombreux cas :

- vérifier la conformité d'une pièce ou d'un ensemble avec le plan de réalisation (relevé dimensionnel, positionnement, préparation de soudage...),
- détecter des anomalies de fonctionnement : usures, corrosions, fissures suffisamment ouvertes, ruptures...

C'est un examen de surface limité aux parties accessibles des pièces et des soudures, qui permet de déceler des défauts de fabrication et dommages débouchants. Il est généralement assuré à l'œil nu (contrôle visuel direct) à une distance de 0,60m au plus et dans des conditions d'éclairage qui doivent être satisfaisantes. Les dimensions générales sont relevées à l'aide de mètre à ruban, règle graduée, gabarit ... La vue de l'opérateur doit faire l'objet de tests visuels réguliers. Si requis par le cahier des charges, le contrôle visuel peut impliquer l'utilisation de jauge, loupe, caméra vidéo, ou encore des moyens particuliers permettant un contrôle visuel indirect (endoscopie...).

#### Exemples de limitation :

*Les conditions d'accès ou d'environnement peuvent compromettre la performance de l'examen, de même que l'impossibilité d'éclairer suffisamment la surface à contrôler. L'examen visuel est limité à la détection de défauts débouchants.*

*Les défauts fins ou matés par meulage ou grenailage peuvent ne pas être détectés tout comme les fissures de fatigue ou de corrosion.*

*Un état de surface irrégulier perturbe la détection. Les traces d'un ancien revêtement, un reliquat de dépôt, la présence d'une couche de graisse, d'huile, de peinture, d'oxyde, etc..., peut masquer la présence d'anomalies graves (piqûres de corrosion, fissures ...).*

*Les performances de l'examen sont également liées au pouvoir de résolution qui dépend de la vue de l'opérateur (variable d'un individu à l'autre même si elle jugée conforme à l'issue d'un test) et des accessoires optiques lorsque utilisés.*

### 2. RESSUAGE

C'est un contrôle de surface adapté à la détection de discontinuités suffisamment ouvertes, non obturées et non remplies qui débouchent sur la ou les surfaces contrôlées.

#### Exemples de limitation :

*Les défauts très fins ou matés par meulage ou grenailage peuvent ne pas être détectés, tout comme les fissures de corrosion sous contrainte ou de fatigue. Ces défauts peuvent aussi n'être détectés que partiellement ou encore sous-dimensionnés.*

*Un état de surface irrégulier perturbe la détection. La méthode ne s'applique pas sur les surfaces revêtues, poreuses ou peintes.*

### 3. MAGNETOSCOPIE

C'est un contrôle de surface dont la mise en œuvre suppose que le matériau soit ferromagnétique. Il permet de détecter des défauts orientés favorablement par rapport au champ appliqué, suffisamment ouverts, débouchants ou sous-jacents, sur des surfaces brutes ou avec une épaisseur de revêtement limitée dont les caractéristiques ont été préalablement communiquées par le demandeur.

#### Exemples de limitation :

*Les défauts fins ou peu profonds, désorientés par rapport au champ magnétique, les fissures de corrosion sous contrainte et de fatigue peuvent ne pas être détectés, ou n'être détectés que partiellement ou encore sous-dimensionnés.*

### 4. RADIOGRAPHIE

C'est un contrôle volumique du matériau, dont la mise en œuvre permet de déceler les défauts volumiques ou plans favorablement orientés par rapport à la direction du faisceau de rayonnement. La sensibilité du procédé dépend d'un grand nombre de facteurs : technique mise en œuvre, épaisseur traversée, type et nature du rayonnement, dimensions et orientation du défaut, classe de système de film, densité du radiogramme ...

#### Exemples de limitation :

*Les défauts fins, les réseaux de microfissures, les fissures et manques de pénétration comprimés, les manques de fusion sur chanfrein ouvert peuvent ne pas être détectés.*

### 5. ULTRASONS MANUELS CONVENTIONNELS APPLIQUES AU CONTROLE DE COMPACITE

C'est un examen volumique du matériau autorisant la détection de réflecteurs volumiques de dimensions significatives, de réflecteurs plans de dimensions et d'ouverture suffisante favorablement orientés par rapport à la direction du faisceau ultrasonore. La mise en œuvre conventionnelle conformément aux codes et normes de cette technique ne permet pas de définir la nature du réflecteur détecté, elle n'autorise qu'une classification Plan/Volumique des indications détectées.

Cette méthode est généralement utilisée pour l'examen volumique de matériaux homogènes isotropes à structure cristalline fine. Elle peut être utilisée pour le contrôle de matériaux à structure cristalline grossière tels que les alliages austénitiques ou les fontes moyennant la mise en œuvre d'une procédure particulière rédigée en fonction des résultats d'une étude de faisabilité préalable réalisée sur une maquette de la pièce à contrôler dont il appartient au donneur d'ordres de s'assurer de la représentativité (géométrie, matériau, mode opératoire de soudage...).

Un agent de couplage est nécessaire, et la surface d'exploration doit être exempte de peinture, de calamine non adhérente, et tout autre produit et irrégularité de surface susceptible, soit, de nuire à la transmission des ultrasons dans la pièce, soit, de gêner le libre mouvement des traducteurs.

Les performances de détection du procédé dépendent de nombreux facteurs tels que : géométrie du composant, structure cristalline du matériau, nature et orientation des réflecteurs ...

#### Exemples de limitation :

*Les défauts de faibles dimensions, les défauts refermés par compression, les inclusions de silicate, les fissures de fatigue d'ouverture insuffisante, les fissures de corrosion sous contrainte peuvent ne pas être détectés ou être sous dimensionnés. De par la présence d'une indication de géométrie systématique, l'examen des zones localisées aux abords de singularités géométriques tels que bourrelets de soudure interne et externe, défauts d'alignement, débardages..., peut être délicat et source de mauvaises interprétations.*

*Les pièces de géométrie complexe, et/ou comportant des défauts acceptables dans le métal de base peuvent conduire à la non détection d'indications dans la zone contrôlée.*

### 6. MESURAGE D'ÉPAISSEUR PAR ULTRASONS

C'est un contrôle local ultrasonore autorisant la détermination de l'épaisseur du matériau au droit de la zone contrôlée.

Sa mise en œuvre nécessite d'avoir une estimation satisfaisante de la vitesse de propagation ultrasonore dans l'élément examiné comme par exemple en effectuant un étalonnage sur un échantillon d'épaisseur connue de même nuance que l'élément examiné. Un agent de couplage est nécessaire, et la surface d'exploration doit être exempte de peinture, de calamine non adhérente, et tout autre produit et irrégularité de surface susceptible, soit, de nuire à la transmission des ultrasons dans la pièce, soit, de gêner le libre mouvement des traducteurs.

Le mesurage peut être affecté par de nombreux facteurs tels que : présence de défauts internes, géométrie des pièces et de la paroi examinée, état de contrainte, structure cristalline du matériau, température de la pièce, atténuation, méthodes d'étalonnage et de mesure...

#### Exemples de limitation :

*La mesure n'est possible qu'à la condition d'avoir accès directement à la surface à contrôler en respectant les conditions définies précédemment.*  
*La mesure d'épaisseur de pièces revêtues ou peintes, de pièces à parois non parallèles, de tôles affectées de défaut de type dédoublement peut conduire à une erreur de mesure significative.*  
*La détection et le dimensionnement en hauteur de piqûres de corrosion nécessitent la mise au point et l'emploi de procédures particulières.*

#### Exactitude de mesures :

L'exactitude de la mesure dépend principalement du mode de mesure utilisé et peut être très affectée :

- par les variations de l'épaisseur du film de couplant,
  - par la différence de vitesse de propagation ultrasonore dans la pièce à mesurer par rapport à celle du bloc de référence, la température, le parallélisme des faces, le type d'équipement utilisé (précision, linéarité...),
  - d'éventuel phénomène d'inversion de phase lié à la présence de corrosion.
- L'estimation de l'exactitude de mesure doit faire l'objet d'une demande spéciale lors de la commande.

## 7. ULTRASONS TOFD

C'est un examen volumique du matériau. Cette technique de contrôle ultrasonore particulière génère une image en déplaçant généralement une paire de traducteurs à une ou plusieurs distances fixes et suivant une seule direction de balayage. Comme les autres techniques ultrasonores, le défaut doit présenter une certaine ouverture pour être détecté et cette technique ne permet pas d'assurer l'identification du caractère physique de l'indication, ni sa classification volumique ou non volumique sans opérations complémentaires. Si cette classification est requise, elle doit être spécifiée à la commande.

Un agent de couplage est nécessaire, et les surfaces d'exploration doivent être exemptes de peinture, de calamine non adhérente, et tout autre produit et irrégularité de surface susceptible, soit, de nuire à la transmission des ultrasons dans la pièce, soit, de gêner le libre mouvement des traducteurs.

### Exemples de limitation :

*L'examen n'est envisageable que pour les matériaux homogènes, isotropes, à structure cristalline fine. L'examen d'un assemblage soudé n'est envisageable que lorsque les 2 tôles constituant l'assemblage sont situées sur des plans parallèles (Assemblages bout à bout ou Piquages à lèvres). La détection d'un réflecteur côté surface d'exploration n'est pas garantie lorsque son extension en profondeur est insuffisante.*

*La détection d'un réflecteur côté opposé à la surface d'exploration n'est pas garantie lorsque sa localisation est trop éloignée de l'axe du dispositif d'examen utilisé, et que son extension en hauteur est insuffisante.*

*La profondeur d'un réflecteur détecté peut être surestimée si sa localisation est trop éloignée de l'axe du dispositif d'examen utilisé.*

*La distance entre le réflecteur détecté et l'axe longitudinal de la soudure contrôlée ne peut être déterminée avec précision qu'après mise en œuvre d'un balayage TOFD parallèle complémentaire ou d'un examen ultrasonore conventionnel local.*

*Sauf emploi de balayages ou techniques complémentaires, le TOFD ne permet pas de garantir la détection de tous les défauts transversaux, ni de ceux situés près des faces (côté balayage et côté opposé au balayage). La détection de défauts transversaux doit être spécifiée à la commande. L'identification du côté du chanfrein de la soudure sur lequel se trouve l'indication n'est possible qu'à condition d'effectuer un balayage perpendiculairement à l'axe de la soudure.*

## 8. ULTRASONS MULTI-ELEMENTS

Examen ultrasonore pouvant constituer une alternative aux contrôles ultrasonores manuels conventionnels pour le contrôle de compacité sous réserve d'un accord entre les parties contractantes (cf. la norme NF EN ISO 13588).

Cette technologie permet l'utilisation d'une grande diversité de sondes et de faisceaux ultrasonores (même avec des sondes standards). Les numérisations, stockage et archivage des signaux fiabilisent le suivi en service. La technologie permet la mise en œuvre de contrôle expert simplifié. Comme pour les autres techniques ultrasonores, le défaut doit présenter une certaine ouverture pour pouvoir être détecté. Les images générées par cette technique sont de nature à permettre une optimisation des dimensionnements et classification des indications par rapport au contrôle manuel.

Exemples de limitation : Idem aux ultrasons manuels.

## 9. CARACTERISATION ULTRASONORE D'INDICATIONS

La caractérisation ultrasonore d'une indication permet de statuer par exemple, sur :

- l'existence ou non d'un défaut physique réel,
- la nature, le type, la position,
- les dimensions et l'orientation des indications,
- les tolérances de mesure, ou, a minima les caractéristiques enveloppes du défaut,
- l'évaluation de la présomption d'évolution d'un défaut entre plusieurs examens consécutifs.

La caractérisation ultrasonore d'un réflecteur est une opération mise en œuvre hors cadre normatif. Elle doit être effectuée sur demande selon des exigences qui doivent être spécifiées par le client.

Un agent de couplage est nécessaire, et la surface d'exploration doit être exempte de peinture, de calamine non adhérente, et tout autre produit et irrégularité de surface susceptible, soit, de nuire à la transmission des ultrasons dans la pièce, soit, de gêner le libre mouvement des traducteurs.

## 10. ONDES GUIDÉES

La technique des ondes ultrasonores guidées longues portées permet d'envisager le contrôle global et rapide de structures tubulaires ou de plaques de grandes dimensions. C'est une technique de « contrôle global » qui doit être complétée par des contrôles locaux effectués à l'initiative du client.

En fonction de la fréquence employée, la portée des ondes ultrasonores guidées peut varier de quelques dizaines de centimètres à une centaine de mètres. Les ondes ultrasonores guidées émises dans la gamme 10 à 130 kHz sont appelées ondes ultrasonores guidées longues portées, les ondes ultrasonores guidées émises dans une gamme de fréquence entre 150 kHz et quelques MHz sont appelées ondes ultrasonores guidées courtes portées.

Les ondes ultrasonores sont créées dans le matériau à contrôler et se propagent entre les parois de la canalisation ou de la plaque qui forment deux interfaces parallèles. Les ondes sont guidées par ces interfaces et suivent les variations géométriques de ces dernières. La vitesse de propagation dépend de la fréquence de l'onde et de la géométrie du milieu.

Dans les structures tubulaires, les ondes ultrasonores guidées peuvent se propager selon 3 modes : mode longitudinal (L), mode de flexion (F) et mode de torsion (T). Ce dernier mode est celui qui est le moins affecté par les fluides présents à l'intérieur ou à l'extérieur des canalisations.

L'onde est perturbée lorsque la section du tube diminue (cas d'une corrosion) ou augmente (présence d'une soudure...). La présence d'un défaut produit une réflexion d'une partie de l'onde et l'analyse des signaux reçus (temps de parcours, amplitude) permet de repérer des zones suspectes. La classification des indications détectées peut reposer sur plusieurs éléments : typologie et localisation des échos, amplitudes et contenu fréquentiel...

La quantification des indications se fait par comparaison avec un écho de référence et permet d'estimer la perte de section de la canalisation à une distance donnée de la position du traducteur. Cette information sur la perte de section bien que quantitative ne correspond pas à une mesure d'épaisseur telle qu'elle aurait été réalisée par mesure ultrasonore conventionnelle.

En outre elle repose sur un certain nombre d'hypothèses car les phénomènes d'interaction avec les défauts sont complexes. Une estimation de la perte d'épaisseur peut être effectuée dans des cas particuliers lorsqu'une modélisation de la corrosion peut être envisagée, mais la validité de cette corrélation doit être confirmée par une autre méthode de contrôle non destructif.

### Exemples de limitation :

*La technique de contrôle par ondes guidées est très sensible à la nature du revêtement extérieur, et la longueur explorée, fortement réduite (quelques mètres) en présence de brai ou de béton, ce qui limite considérablement l'emploi de la technique dans ces cas.*

Il est préférable de bien connaître l'isométrie de la ligne à contrôler, qui doit être communiquée par le client avant le contrôle.. Chaque élément de géométrie (soudure, coude, té, attache soudée, support...) est en effet susceptible de produire un signal qui devra être interprété comme tel et non comme une indication liée à une perte d'épaisseur. De même, les changements de diamètre/épaisseur doivent être connus, ceux-ci peuvent affecter à la fois la nature des ondes se propageant dans le tube ainsi que leur vitesse. La connaissance parfaite de l'isométrie de la tuyauterie contrôlée permet de réduire le taux de fausses alarmes.

Pour les configurations "simples", tube aérien, non revêtu présentant une géométrie rectiligne et n'ayant aucun accessoire (té, support...), une estimation de la quantification de la perte de section peut être envisagée en intégrant certaines hypothèses comme l'extension longitudinale du défaut supposée supérieure à trois fois la longueur d'onde. La corrélation avec une perte d'épaisseur peut être envisagée lorsque la morphologie de la corrosion est connue, mais est de la responsabilité de l'exploitant.

Dans le cas d'une ligne complexe, qui par exemple, contient plus d'un des éléments suivants : coudes, tés, dérivations, éléments de supportage..., l'estimation de la perte de section devient plus complexe, voire impossible surtout lorsqu'une calibration satisfaisante du système n'est pas possible.

Le contrôle de la tuyauterie sous les supports par ondes guidées est possible pour des cas simples (supports posés) mais plus problématique dans d'autres cas et des limitations particulières à chaque application peuvent apparaître. Des techniques complémentaires peuvent alors être mises en œuvre pour effectuer le contrôle de la tuyauterie sous les supports. La technique ne permet pas de détecter une piqure isolée. La dimension du plus petit défaut détectable est liée à la longueur d'onde employée. Plus la longueur d'onde est petite, plus la technique sera sensible à la présence d'un petit défaut. Elle peut cependant être envisagée pour classer l'état de tuyauterie dans la mesure où l'attaque par la corrosion recherchée a généré une forte densité de piqures.

Le champ acoustique généré par le système engendre une zone morte de part et d'autre du capteur comprise entre 125 et 500 mm suivant la fréquence et la nature des capteurs utilisés. Après un coude ou un té, le faisceau d'ondes guidées est perturbé ce qui crée également des zones mortes dans lesquelles d'éventuels défauts ne seront pas détectés. Les érosions dans les coudes peuvent ne pas être détectées en particulier lorsque les variations de section en résultant sont très progressives.

## 11. EMISSION ACOUSTIQUE

C'est une méthode globale imposant une mise sous contraintes de la structure examinée mettant en évidence les défauts évoluant suffisamment pendant l'essai dont le niveau d'activité peut être différencié du bruit de fond. Ces indications peuvent être internes ou débouchantes et doivent être situées dans les parties mises sous contraintes lors du contrôle.

Le diagnostic rendu est donné par une localisation, le plus souvent planaire (2D), de zones et/ou sources acoustiques actives avec un niveau de criticité.

Une accessibilité, de l'enveloppe soumise à la contrainte, au droit des capteurs à implanter est nécessaire.

La principale application industrielle, encadrée par l'administration, est le remplacement de l'épreuve hydraulique de requalification sur des équipements soumis, par un suivi par émission acoustique d'un cycle de variations de pression/température.

### Exemples de limitation :

*La plupart des indications de type volumique, les défauts plans non évolutifs, les pertes d'épaisseur, les corrosions..., non actives au moment de l'essai peuvent passer inaperçus lors de la mise en œuvre de la méthode.*

La précision de localisation, dépend des conditions opératoires (pression, température, état des surfaces, présence d'internes, nombre de capteurs...)

Il n'est pas possible sans étude préalable d'assurer une corrélation fiable entre le niveau d'activité de la source active avec le type et les dimensions de l'indication à l'origine de cette source. Il est en général impossible de statuer sur la nature de l'indication à l'origine de la source de l'activité acoustique. Cependant un contrôle non destructif complémentaire, permet le plus souvent de statuer sur l'acceptabilité de la source active. La méthode ne peut en général pas s'appliquer, sans étude préalable, sur des structures revêtues d'un matériau adhérent fragile, type béton par exemple. L'application de la méthode sur l'examen des fonds de bacs de stockage atmosphérique se révèle comme un diagnostic supplémentaire permettant de prioriser, sur un parc de stockage, les inspections internes des bacs. En général, il est difficile de distinguer la corrosion active se produisant sur le fond de la corrosion active se produisant sous le fond.

Après analyse, le classement des signaux est établi pour le taux de remplissage du réservoir lors du contrôle, conditionnant ou non la détection d'une fuite active. La présence éventuelle de dépôts ou de produits de corrosion peut obstruer temporairement l'orifice de la fuite. Les opérations de nettoyage, antérieures au contrôle chimique ou mécanique, peuvent faire apparaître des trous traversants ne se traduisant pas par une fuite décelable lors du contrôle. Ces éléments doivent être renseignés dans la fiche technique préalablement établie par l'exploitant de la capacité.

## 12. COURANTS DE FOUCAULT CONVENTIONNELS SUR TUBES

C'est une méthode qui permet de contrôler par sonde interne ou externe la surface du tube. La détection des défauts sous-jacents est cependant possible jusqu'à une certaine profondeur. Cette méthode consiste à comparer les signaux de défauts artificiels présents dans un tube de référence (mêmes nuance, diamètre, épaisseur que les tubes à contrôler) aux signaux présents dans les tubes contrôlés.

Aucun agent de couplage n'est nécessaire.

### Exemples de limitation :

*Le matériau du tube doit être conducteur de l'électricité.*

*La profondeur de pénétration et par conséquent la profondeur contrôlée, dépend des caractéristiques électriques et magnétiques du matériau et de la fréquence de la sonde utilisée (exemple : 3 mm sur les aciers non magnétiques, quelques dixièmes de millimètre côté sonde pour les aciers ferromagnétiques).*

\*Note: Des techniques particulières existent (MFL) permettant d'améliorer la profondeur de détection pour les aciers ferromagnétiques.

En l'absence de tube de référence, le contrôle est impossible.

Les caractéristiques métallurgiques du tube de référence doivent être très proches de celles du tube à contrôler, si elles sont trop différentes, les performances du contrôle peuvent être altérées. Un nettoyage soigneux de type haute pression est nécessaire lorsque des résidus sont présents dans le tube.

### 13. COURANTS DE FOUCAULT CONVENTIONNELS SUR SOUDURES

C'est une méthode qui permet de contrôler à l'aide d'une sonde les abords et la soudure afin de détecter des défauts débouchants ou sous-jacents jusqu'à une certaine profondeur. Ce contrôle peut être réalisé sur des surfaces peintes ou non peintes. Aucun agent de couplage n'est nécessaire.

#### Exemples de limitation :

Le matériau de la pièce à inspecter doit être conducteur de l'électricité.  
La profondeur de pénétration et par conséquent contrôlée dépend des caractéristiques électriques et magnétiques du matériau et de la fréquence de la sonde utilisée (exemple : 3 mm sur les aciers non magnétiques, quelques dixièmes de millimètre côté sonde pour les aciers ferromagnétiques).  
La sensibilité de détection dépend du "couple pièce/sonde" et doit être validée sur une soudure représentative de la pièce examinée comportant des défauts de référence.  
Le balayage de la sonde doit être adapté à l'orientation des défauts indiqués par le client. L'influence de l'épaisseur de peinture (non magnétique) doit être validée sur la pièce de référence. Le contrôle de pièces revêtues de peinture conductrice peut être impossible.  
L'état de surface et la géométrie du cordon de soudure peuvent altérer les performances du contrôle.

### 14. ACFM Alternating Current Field Measurement

C'est un contrôle de surface applicable aux pièces revêtues d'un revêtement non conducteur, qui permet d'estimer la profondeur de l'indication détectée. Les performances dépendent de nombreux facteurs et notamment : de la géométrie de la pièce, de la nature et de l'épaisseur du revêtement, de l'orientation du défaut... L'examen par ACFM permet d'assurer sur acier au carbone avec une bonne probabilité, dans des conditions "standard", la détection d'un défaut débouchant orienté parallèlement au sens de balayage de 10mm de longueur et de 1mm de profondeur.

#### Exemples de limitation :

Les défauts sous-jacents ou internes ne sont pas détectables.  
La précision de dimensionnement est dépendante de la morphologie du défaut et peut être notablement affectée si la forme de ce dernier n'est pas semi-elliptique ou s'il est refermé.  
Il n'est généralement pas possible d'examiner des pièces comportant un revêtement de surface conducteur sauf démonstration préalable sur pièces représentatives.  
La profondeur minimale du défaut détectable est de l'ordre de la moitié de l'épaisseur du revêtement non conducteur qui ne doit pas excéder 10mm.

Détection et dimensionnement d'un défaut d'orientation inconnue : La mise en œuvre standard de la méthode permet de détecter et de dimensionner un défaut orienté parallèlement à l'axe de la soudure (à plus ou moins 25°). Il est très difficile de déceler un défaut présentant un angle plus important. Les défauts d'orientation transversale peuvent ne pas être détectés dans le cas d'une mise en œuvre classique. Si la recherche de tels défauts est requise, cela doit être spécifié à la commande.

### 15. MFL Magnetic Field Leakage - Flux de Fuite Magnétique

C'est une méthode de contrôle volumique du matériau qui permet de détecter les diminutions d'épaisseur dues à la corrosion de tôles. C'est une méthode d'auscultation rapide, non quantitative, avec laquelle les contrôles par ultrasons sont souvent utilisés, lorsque leur mise en œuvre est possible, pour confirmer et mieux quantifier les informations obtenues. La méthode généralement appliquée sur les fonds de bacs de stockage, met en évidence sur des matériaux ferromagnétiques des pertes d'épaisseur par cratères affectant l'une ou l'autre des faces de la tôle. Une semelle comportant de multiples sondes reliée à un système d'acquisition de données est montée sur un chariot automateur se déplaçant sur une face de la tôle. A chaque passage, le chariot vérifie une bande de métal d'une largeur pouvant varier entre 250 et 300mm.

La tôle peut présenter un revêtement de peinture ou d'époxy à condition que son épaisseur soit inférieure à une certaine valeur fonction de l'épaisseur de la tôle contrôlée. La sensibilité de la méthode dépend d'un certain nombre de facteurs et notamment de la propreté de la tôle (absence d'oxyde en particulier ou de produit pouvant altérer le résultat). En conséquence, le nettoyage préliminaire de la tôle doit être soigné et les irrégularités de surface ne doivent pas dépasser une largeur de 250mm et une profondeur de 3mm. Cette méthode détecte des défauts volumiques mais ne peut déceler des défauts plans assimilables à des fissures. La méthode n'autorise pas la détection de la corrosion sur les soudures et sur une bande pouvant varier de 20 à 35mm de part et d'autre, de même à chaque coin de tôle, une zone de l'ordre de 160x160mm ne peut être contrôlée.

#### Exemples de limitation :

Les fissures et les perçements à bords francs ne sont pas détectés. Les petites piqûres de corrosion remplies par des oxydes, ne peuvent pas être détectées. L'équipement est inopérant sur les surfaces très perturbées comportant des picots par exemple ainsi que sur les chevauchements et superpositions de tôles. La sensibilité de la détection peut varier suivant le volume et l'orientation du défaut. La diminution de la sensibilité peut atteindre 20% sur des piqûres ponctuelles. Les défauts traversants sont décelés sur la plage 80 à 90% de perte d'épaisseur. La zone à contrôler doit être libre d'accès et en conséquence, les réservoirs munis d'un réchauffeur ne peuvent être contrôlés par le système.  
En fonction de l'encombrement des équipements utilisés, une zone pouvant s'étendre de 200 à 300mm de largeur peut ne pas être contrôlée en bordure de la robe d'un réservoir, sur toute la périphérie. Cette zone peut être réduite à 35mm le long de la jonction robe/fond avec le passage d'un équipement portable.

### 16. THERMOGRAPHIE

La thermographie infrarouge est une méthode de contrôle, principalement utilisée dans la recherche et la mesure de zone d'hétérogénéité thermique de surface, dans une gamme de température qui va de - 40°C à 1500°C, avec une exactitude de +/- 2 %, la bande spectrale utilisée est de 7,5 µm à 14 µm (long wave).

La méthode consiste en l'affichage des hétérogénéités thermiques de surface de l'objet inspecté sous forme d'une image permettant de localiser des variations de température suffisamment importantes.

La quantification de la température et la sensibilité du procédé dépendent d'un grand nombre de facteurs. La valeur de température affichée sur l'image est une estimation. Elle est influencée par l'émissivité du matériau (laquelle dépend de la nature du matériau, de sa température et de son état de surface), la réflexion de l'environnement thermique (réflexions d'objets chauds ou froids), les conditions météorologiques (soleil, pluie, nuage, nuit...), la distance et la dimension de l'objet, l'angle de prise de vue...

Seule la variation de température de proche en proche sur l'objet, peut être quantifiée précisément.

La détection d'une zone d'hétérogénéité thermique chaude ou froide sur le corps d'un appareil ne permet pas de déterminer la cause de cette zone ni l'ampleur de cette cause.

#### Exemples de limitation :

La résolution spatiale minimale d'une caméra de thermographie rend difficile la mesure exacte d'une température sur un élément dont les dimensions seraient inférieures à sa résolution spatiale, a minima, 4 X 0,7mm à 50 cm pour un objectif de 24°X18° et une matrice 320x240. Si les conditions de mise en œuvre ne permettent pas un visuel direct perpendiculaire, sans obstacle et sans rayonnement infrarouge parasite sur la scène thermique à contrôler, les résultats peuvent être entachés d'erreur.

### 17. CONTROLE D'ETANCHEITE A LA BOITE A VIDE

C'est une méthode de contrôle permettant de détecter uniquement des défauts traversants et ouverts au moment de l'essai, affectant les soudures ou le matériau de base. La méthode convient à tous les matériaux et peut détecter des défauts plan ou volumique. La méthode consiste à appliquer une solution moussante sur la surface puis à appliquer un vide local par l'intermédiaire d'une boîte de géométrie adaptée à la zone à contrôler. La partie supérieure de la boîte est munie d'une vitre par laquelle le défaut traversant est mis en évidence, par la formation de bulles de mousse lors de la mise sous vide partiel. Préalablement, la surface à contrôler doit être soigneusement nettoyée sous la responsabilité de l'exploitant.

#### Exemples de limitation :

Surface oxydée, mal nettoyée, obturation du défaut traversant par des produits ou des oxydes, défaut maté par sablage ou grenailage ou refermé par les contraintes résiduelles de la structure (mise en compression du défaut), configuration complexe de la zone à contrôler ne permettant pas d'appliquer un vide local (présence de raidisseurs, goussets...).

Les défauts débouchants non traversants peuvent ne pas être détectés par cette méthode.

### 18. REPLIQUES

Les examens métallographiques par réplique renseignent très localement sur la microstructure du matériau en surface de la pièce ou en surface de la zone examinée et sur la nature de certains défauts physiques (exemple : fissure, inclusion...)

L'analyse métallographique nécessite une préparation de la pièce par un meulage (et un polissage) sur une profondeur de 0,5mm environ. En conséquence les défauts très superficiels peuvent être éliminés pendant cette opération.

#### Exemples de limitation :

Cet examen ne rend pas compte de la microstructure dans l'épaisseur du métal, ni de la profondeur des défauts. L'examen en surface de la pièce peut être perturbé :  
- par les hétérogénéités initiales du produit dans le cas des pièces moulées de dimensions importantes, ou de pièces ayant reçu un traitement de surface,  
- par les évolutions microstructurales survenues pendant le service.  
Par son caractère superficiel, l'examen par réplique ne permet pas l'identification de certains défauts et peut être source de mauvaises interprétations.

### 19. IDENTIFICATION D'ALLIAGES ET ANALYSE CHIMIQUE D'ELEMENTS CHIMIQUES SUR SITE A L'AIDE D'APPAREILS PORTABLES

Ces opérations peuvent être effectuées à l'aide de deux techniques différentes et complémentaires :

#### La fluorescence X X.R.F.

Basée sur le procédé de fluorescence X (XRF) portable, cette technique rapide est bien adaptée à l'identification et au dosage semi-quantitatif des éléments constituant un alliage normalisé (base fer ; base nickel ; base aluminium ; base cobalt...). Elle est principalement utilisée lors des opérations de **PMI** « Positive Material Identification ». Cette technique ne permet pas le dosage qualitatif des éléments traces, et elle ne peut se substituer à une analyse en laboratoire par des méthodes référencées. La précision et la justesse de l'identification dépendent du temps de mesure, de la dimension ainsi que de la géométrie de la pièce à contrôler.

#### Exemples de limitation :

Cette technique permet de quantifier seulement les éléments dont le numéro atomique est compris entre le N° 22 (titane) et N° 92 (uranium). Il n'est donc pas possible avec cette technique d'identifier et de doser notamment : le carbone, le silicium, le soufre et le phosphore et de fait, la méthode ne permet pas l'identification d'un acier dépourvu d'éléments d'addition. Principaux éléments d'addition détectés et mesurés : Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Hf, Ta, W, Ir, Pt, Au, Pb, Bi.

#### La spectrométrie démission optique mobile (S.E.O)

C'est un procédé d'analyse chimique in situ, basé sur la séparation et la quantification précise de la lumière spectrale issue de l'excitation créée par un arc électrique entre l'échantillon à analyser et le spectromètre optique.

Le procédé permet de doser les éléments C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, Cu, Co, Ti, V, Al, Nb, W.

Cette méthode est dite comparative et nécessite un étalonnage journalier réalisé à l'aide de matériaux de référence certifiés « **M.R.C** ».

#### Exemples de limitation :

Les valeurs exprimées en pourcentage peuvent être altérées par la présence dans l'alliage analysé d'un élément chimique en quantité notable, qui ne ferait pas partie de la gamme spectrale des éléments pouvant être mesurés et mentionnés ci-dessus. L'analyse de pièces chaudes (T° supérieure à 100°C) ou au contraire gelées avec formation de givre n'est pas réalisable.

#### Exemples de limitations communes à la X.R.F et S.E.O :

Ces deux techniques, permettent d'effectuer uniquement des analyses de surface. Elles sont donc par conséquent sensibles aux pollutions de surface, phénomènes de dilution et effets de peau. Les analyses ne peuvent faire référence au classement normatif d'une nuance d'acier carbone par sa seule composition chimique, pour cela il est nécessaire d'effectuer des essais mécaniques complémentaires en laboratoire.

\*\*\*\*\*