

**ANALYSE ET INTERPRÉTATION EN LIGNE D'IMAGES
ULTRASONORES POUR AMÉLIORER LA SÉLECTIVITÉ DES
INSTALLATIONS DE CONTRÔLE DE TUBES EN ACIER**
*ANALYZE AND INTERPRETATION ON LINE OF ULTRASONIC
IMAGES TO IMPROVE THE CONTROL INSTALLATIONS
SELECTIVITY FOR STEEL PIPES*

A. Segura, F. Lesage, B. Bisiaux, S. Petit
Vallourec & Mannesmann France – Centre de Recherche Vallourec (CEV)
60, route de Leval, BP 20149, 59620 Aulnoye-Aymeries
E-mail : alejandra.segura@vallourec.fr

Résumé

Les méthodes de contrôles non-destructifs par ultrasons sont fondées sur la comparaison de l'amplitude du signal de réponse par rapport à l'amplitude d'un étalon référencé. Elles présupposent donc une corrélation forte entre la profondeur d'une imperfection détectée et une amplitude du signal, ce qui est généralement faux. L'idée décrite dans cette présentation repose sur l'utilisation des capacités d'acquisition en ligne actuelle des données brutes ultrasonores et la reconstruction des « images ultrasonores » des tubes. Par la suite, un système analyse ces images automatiquement grâce à des techniques d'imagerie et des systèmes experts. Le système décrit peut alors évaluer en ligne de manière beaucoup plus fiable la gravité des indications ultrasonores acquises, par rapport au simple seuillage classique.

Abstract

The ultrasound non destructive testing methods are based on the comparison of the amplitude of the signal of response compared to the amplitude of calibration standard flaws. Thus they presuppose a high correlation between the depth of a detected flaw and amplitude of the signal, which is generally false. The idea described in this paper consists in the use of the capacities of acquisition in production lines of the ultrasonic raw data and the reconstruction of "ultrasonic images" of pipes. Thereafter, a system analyzes automatically these images using techniques of imagery and expert systems. The described system can then evaluate on line the gravity of acquired ultrasonic indications of the manner which is much more reliable to the simple threshold.

INTRODUCTION

Les contrôles non destructifs jouent un rôle important dans plusieurs secteurs de l'industrie. Ils ont pour objectif de détecter les défauts à l'intérieur d'une pièce donnée sans l'endommager. Des exemples de contrôles non destructifs utilisés sont les ultrasons, les courants de Foucault, la radiologie, la magnétoscopie, la thermographie. Le choix de la technique dépend principalement de l'application et de la précision requise. Dans l'actualité, les hautes technicités de fabrication et les nouvelles exigences des clients et des normes demandent une évolution continue des contrôles non destructifs.

Notre travail se focalise principalement sur le contrôle non destructif par ultrasons, il s'applique à une grande gamme de secteurs industriels, principalement métallurgiques, grâce à la simplicité de son principe, de sa mise en place et de son coût relativement raisonnable. Son perfectionnement a fait appel à un grand nombre de méthodes, en particulier les traitements de signal et d'image qui ont fait des progrès importants ces dernières années. Le présent travail porte sur l'utilisation des technologies en imagerie et systèmes experts afin de positionner et estimer le type et la profondeur des défauts. Ce travail propose un nouveau concept pour le contrôle ultrasonore de tubes en acier et fait l'objet d'un brevet publié en janvier 2007.

Actuellement, les techniques non destructives reposent sur la comparaison de l'amplitude du signal provenant d'un tube inspecté, et de l'amplitude du signal provenant d'un étalon avec défaut de référence. Des études de corrélation entre l'amplitude de la réponse d'un défaut et sa profondeur ont donné une très faible corrélation. Partant de ce constat, nous cherchons à obtenir une meilleure estimation de la criticité du défaut, en utilisant tous les paramètres disponibles sur une image ultrasonore, et non plus sur l'amplitude seule. Afin de parvenir à cette interprétation, trois étapes dans le procédé d'interprétation sont requises :

- Acquisition et reconstruction de l'image
- Extraction des défauts potentiels en utilisant des outils de filtrage et de traitement de l'image
- Interprétation et caractérisation des défauts (type, profondeur) en utilisant des réseaux de neurones.

DESCRIPTION DES TRAVAUX REALISES

Contrôle ultrasonore classique de tubes en acier

Parmi plusieurs techniques de contrôles ultrasonores, la technique par immersion est la plus adaptée aux tubes. Elle consiste à immerger dans l'eau une partie du tube dans une cellule contenant les capteurs. Cette technique est très utilisée industriellement car elle permet une inspection de la totalité du tube de façon automatique.

Les imperfections rencontrées lors de la fabrication de tubes comprennent des défauts longitudinaux, transversaux, plus ou moins obliques et plus ou moins inclinés et des imperfections dans l'épaisseur du tube, comme illustré dans la figure 1. L'amélioration de la connaissance de ces imperfections fait l'objet notre étude.

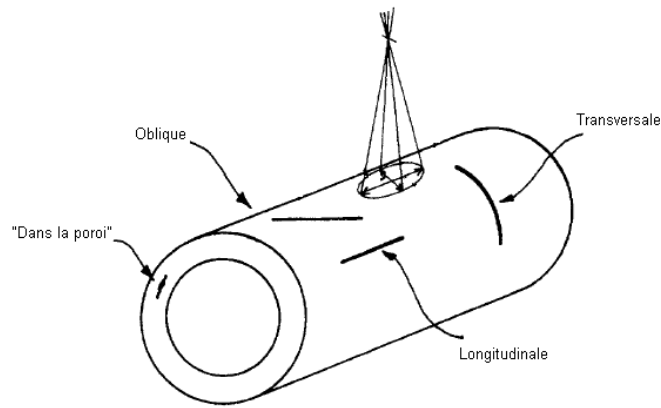


Figure 1 - Types des défauts

Classiquement, la cellule de contrôle comprend deux capteurs pour la détection des défauts longitudinaux et parfois obliques, deux capteurs pour le contrôle des imperfections transversales auxquels s'ajoute un capteur pour la mesure d'épaisseur et pour le contrôle des imperfections dans l'épaisseur.

L'ensemble des capteurs pour les contrôles longitudinal et transversal sont disposés en incidence oblique et de manière opposée, afin de contrôler le tube dans deux directions de déflexion (ou sens) pour des éventuels défauts inclinés.

L'interprétation porte sur la comparaison entre les signaux de réception du tube inspecté et d'un tube étalon avec des défauts de référence. Ce tube étalon sert à établir les positions des sélecteurs temporels sur le Ascan pour la détection des défauts internes et externes. Le positionnement de ces sélecteurs consiste à placer des limites sur les échelles de temps et d'amplitude du signal suite à la réponse donnée par les défauts de référence sur les surfaces interne et externe, comme indiqué sur la figure 2. Lorsqu'un écho quelconque dépasse en amplitude un des sélecteurs, le tube est classé comme douteux pour ensuite être réparé ou rebuté.

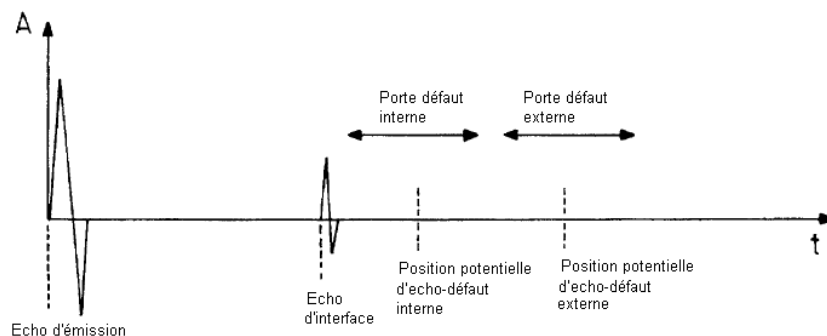


Figure 2 - Réglage des sélecteurs ou portes

L'estimation de la gravité des imperfections est induite par l'hypothèse que l'amplitude de leur écho est proportionnelle à leur profondeur. Lorsque nous traçons la répartition suivante :

$$K = \frac{\text{Amplitude}}{\text{Amplitude de réf.}} = f(\text{profondeur})$$

Nous obtenons une corrélation très mauvaise (de l'ordre de 0.3 à 0.4). C'est pour cela que nous cherchons à travers des techniques d'imagerie et de reconnaissance de formes à obtenir une interprétation des défauts plus fiable et plus précise.

Description générale de la méthode proposée

La figure 3 schématise le système par les étapes suivantes:

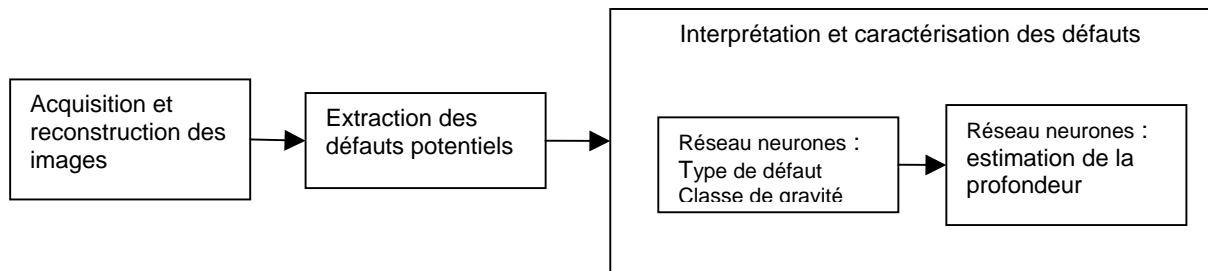


Figure 3 - Schéma de la méthode proposée

La première étape est le système d'acquisition des signaux ultrasonores pour la reconstruction des images. L'étape suivante regroupe des techniques de traitement de signal et d'imagerie pour la reconnaissance des zones d'imperfections. La troisième étape comporte l'interprétation des zones d'imperfections en utilisant deux réseaux de neurones pour l'estimation du type et de la profondeur de l'imperfection. Par la suite on décrira chacune des étapes.

Acquisition et reconstruction de l'image

Partant du même principe de contrôle classique, l'idée proposée est de récupérer et de traiter les signaux de réception des capteurs afin de réaliser une interprétation permettant d'évaluer la criticité des imperfections.

La cellule de contrôle utilisée est la même que celle du contrôle classique comportant deux groupes de capteurs pour le contrôle longitudinal, deux groupes pour le contrôle transversal et un groupe de capteurs pour la mesure d'épaisseur et le contrôle des imperfections dans l'épaisseur. De la même manière que pour le contrôle classique, les capteurs des contrôles longitudinal et transversal ont une direction de déflexion opposée pour obtenir la détection de défauts tilts.

Les images traitées par notre approche sont des couples de Cscans complémentaires. Un point de l'abscisse du Cscan correspond à une position sur la longueur du tube et un point sur l'ordonnée correspond à une position sur la circonférence du tube (voir figure 4). Chaque point du Cscan représente en dégradé de couleurs l'amplitude maximale d'un tir d'onde ultrasonore.

Le positionnement relatif capteur / tube doit être connu soit par un codeur angulaire, soit au moyen d'un système laser.

La figure 4 illustre la reconstruction des images Cscans acquises par des capteurs pour le contrôle longitudinal correspondant à chaque direction de déflexion dénommée « sens 1 et sens 2 » respectivement.

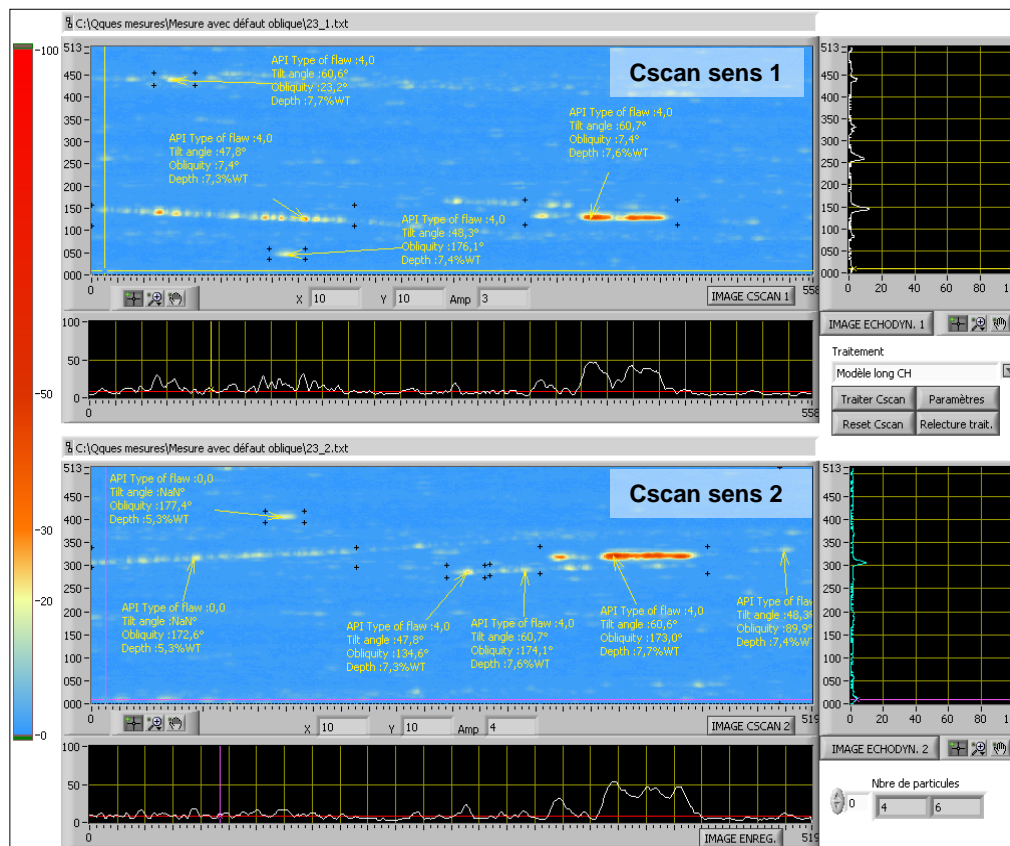


Figure 4 – Exemple de Cscan sens 1 et sens 2 pour le contrôle longitudinal

Extraction des défauts potentiels

L'objet de cette étape est de déterminer des zones d'imperfections dans les images Cscans afin d'être analysées ensuite par les réseaux de neurones.

L'extraction des zones d'imperfections se réalise à l'aide d'un seuil qui s'adapte au niveau de bruit en cours dans l'image. La méthode est fondée sur la théorie de la détection d'un signal dans un bruit blanc, qui peut se fonder sur deux hypothèses:

Hypothèse H0 : mesure = bruit blanc de moyenne (m_b) et d'écart-type (std_b)

Hypothèse H1 : mesure = signal + bruit blanc

Des tests statistiques ont été menés qui permettent de déterminer si l'on est dans le cadre de l'hypothèse H0 ou H1. Ces calculs statistiques sont effectués en temps réel sur l'ensemble des points de l'image.

Selon cette méthode (dite « additif gaussien »), nous pouvons utiliser le critère de Neyman-Pearson pour déterminer un seuil de détection selon une probabilité de fausse-alarme (pfa) donnée par la formule (1).

$$pfa = \int_{seuil}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot std_b} \cdot e^{-\frac{(x-m_b)^2}{2 \cdot std_b^2}} dx = Q\left(\frac{seuil - m_b}{std_b}\right) \quad (1)$$

Une fonction cumulative gaussienne a été utilisée, elle est nommée en général Q. L'inversion de cette fonction permet d'obtenir le seuil, selon la formule (2).

$$seuil = std_b \cdot Q^{-1}(pfa) + m_b \quad (2)$$

L'usage d'un seuil variable évite les fausses alarmes qui se produisent si l'on applique un seuil fixe. Les fausses alarmes sont dues à la présence de bruit de fond provenant des plusieurs origines : présence d'eau à l'intérieur du tube, ronflement électrique, phénomènes dus à la structure de la matière du produit contrôlé.

La définition des zones d'imperfection se réalise en positionnant les points supérieurs au seuil repérés sur l'image. Ces zones sont traitées pour des algorithmes de détection de contour (gradient Robert), de dilatation et d'érosion afin de localiser l'imperfection et de pouvoir appliquer efficacement les algorithmes de calcul de l'angle d'obliquité et de la longueur de l'imperfection. Pour chaque imperfection, les coordonnées de la zone d'image correspondante sont ainsi obtenues, elles seront utiles pour l'analyse par les réseaux de neurones qui interviennent ensuite.

Interprétation et caractérisation des défauts

Une imperfection dans un tube peut être définie par sa position, son type et sa profondeur. Dans l'interprétation proposée, le type et le degré de profondeur d'une imperfection sont déterminés séparément à l'aide de trois processus neuronaux de même structure générale.

Nous avons classé nos défauts dans quatre types qui récapitulent les imperfections les plus rencontrées dans nos processus de fabrication. Ces défauts sont illustrés dans la figure 6 :

- Type 1 : Défaut droit
- Type 2 : Défaut légèrement incliné
- Type 3 : Défaut très incliné
- Type 4 : Défauts divers

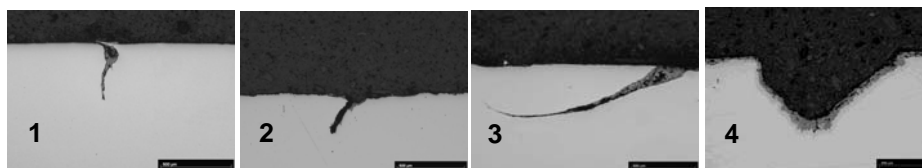


Figure 2 - Types des défauts considérés dans cette étude

De manière générale, les réseaux de neurones utilisés sont de type classificateur avec des probabilités d'appartenance associées à chaque classe. Comme montré dans la figure 4, le premier réseau permet d'estimer la gravité en classant les défauts en trois groupes selon leur profondeur :

- Vert : l'indication est de manière sûre une imperfection sans importance,
- Orange : zone douteuse à approfondir par le deuxième modèle,
- Rouge : l'indication est de manière sûre un défaut grave.

Ce même réseau de neurones permet également de classier l'imperfection détectée dans les quatre types définis précédemment (Type 1 à Type 4).

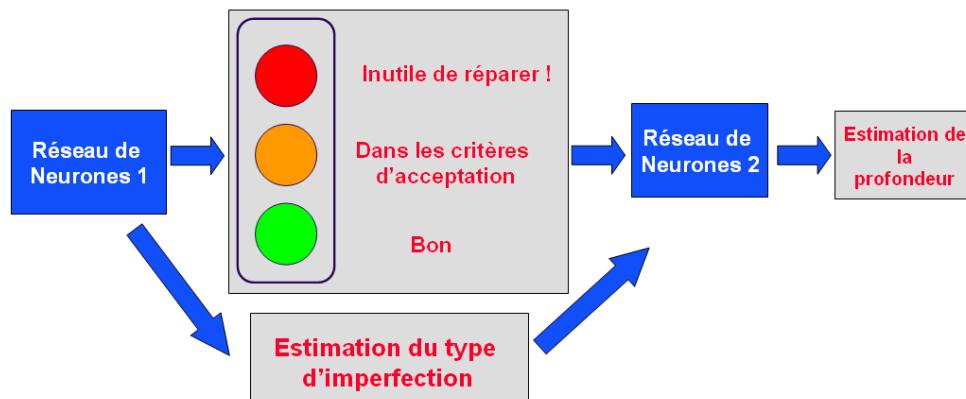


Figure 3 - Fonctionnement des réseaux de neurones

Globalement, les paramètres d'entrée des réseaux de neurones sont des caractéristiques des deux images Cscan. Elles sont constituées par le rapport de l'amplitude maximale par rapport à l'amplitude de l'étalon, largeur d'écho, orientation de l'écho représentative de l'obliquité, longueur de l'imperfection, entre autres. Ces deux images sont issues des zones d'imperfections préalablement détectées. D'autres paramètres sont aussi pris en compte comme les caractéristiques du capteur, dimensions du tube, etc.

L'apprentissage des modèles a été conduit en utilisant des données de réponse issues d'environ 2500 simulations, 150 défauts artificiels et 100 défauts naturels. Les simulations ont été obtenues à partir du logiciel CIVA développé et commercialisé par le CEA.

La validation semi-industrielle des réseaux de neurones a été réalisée sur 90 prélèvements d'imperfections naturelles d'une installation ultrasonore. Cette validation a été réalisée sur une base comparative entre l'estimation donnée par les réseaux neurones, le résultat donné par la méthode classique en utilisant un seuil et des coupes micrographiques effectuées sur chaque imperfection.

RESULTATS

La validation de notre système donne une estimation correcte de la profondeur et du type de défauts sur 81% de l'ensemble des 90 défauts naturels préalablement détectés en usine.

L'estimation donnée par le système proposé est toujours plus proche que celle donnée par la méthode classique, une corrélation de $r^2=0.75$ a été obtenue sur l'ensemble précédent. Les exemples caractéristiques suivants montrent pour quelle raison le système présente de meilleurs résultats :

- La caractérisation de défauts inclinés : le fait de connaître le type du défaut permettra de corriger l'évaluation en conséquence,

- La caractérisation de défauts droits : la prise en compte de l'ensemble des paramètres permet d'affiner la prédiction statistique, mais le gain reste plus limité que dans l'exemple précédent.

PERSPECTIVES DE LA METHODE

Certaines évolutions à la méthode proposée ont déjà été envisagées. Ces évolutions portent sur des techniques de traitement d'images ultrasonores en trois dimensions qui permettront une meilleure connaissance des imperfections. Des travaux sur la reconstruction tridimensionnelle des images ultrasonores ont été déjà commencés, la figure suivante illustre un exemple du prototype de cette évolution. L'objectif final est d'obtenir des images micrographiques tridimensionnelles des défauts.

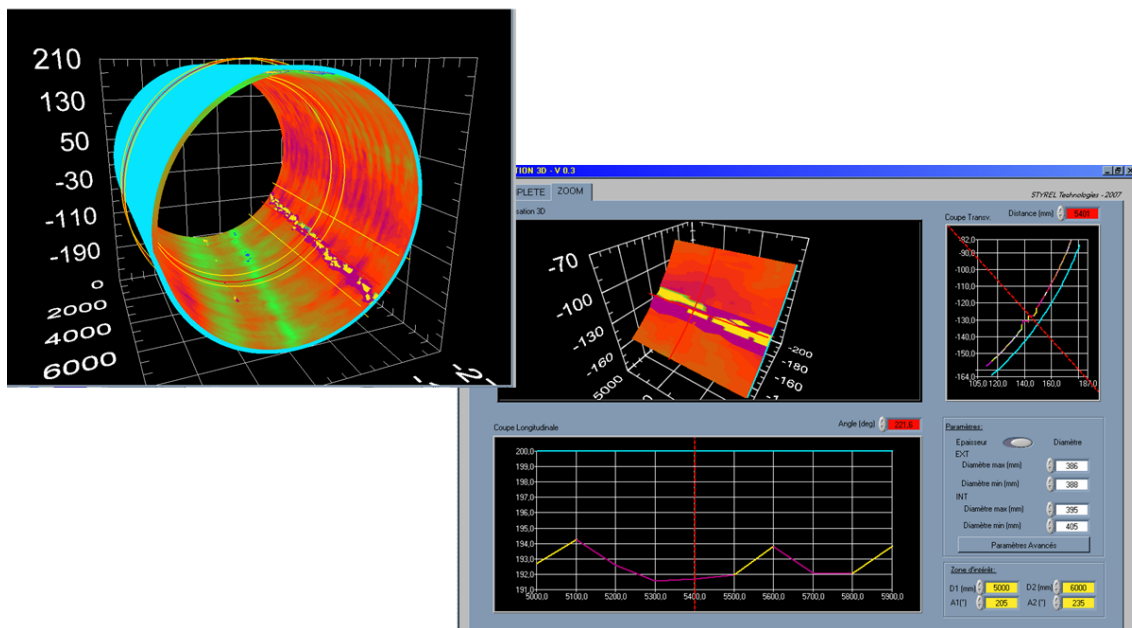


Figure 4 - Prototype de l'évolution du système proposé

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce travail proposé est un nouveau concept pour le contrôle ultrasonore de tubes en acier. Il permet, grâce à l'estimation de la profondeur et du type d'imperfection, d'avoir une meilleure compréhension de nos défauts.

L'outil a été validé industriellement et est installé en parallèle au contrôle classique pour un meilleur suivi du process.