

# UTILISATION DES ONDES ULTRASONORES GUIDÉES POUR LE CONTROLE NON DESTRUCTIF *USING ULTRASONIC GUIDED WAVES FOR THE NON DESTRUCTIVE TESTING*

E. CRESCENZO – IXTREM ; D. DULAY et R. TANEJA – NDT Consultants  
; D. CHAUVEAU – Institut De Soudure

## **Résumé**

L'objectif est de présenter les possibilités des techniques non destructives par ondes ultrasonores guidées utilisant la technologie des transducteurs à effet magnétostrictif. Il sera d'abord répertorié les différentes technologies utilisées à ce jour pour produire des ondes ultrasonores guidées basse fréquence. Puis une seconde partie sera réservée à la description des moyens de génération des ondes ultrasonores guidées par effet magnétostrictif. La dernière partie de l'exposé concerne la présentation des résultats de travaux de recherche en cours visant à améliorer les performances de cette technologie présentant un fort potentiel de développement dans les prochaines années.

## **Abstract**

*The aim is to present the possibilities of non destructive techniques by using ultrasonic guided waves technology of transducers based on magnetostrictive effect. Firstly it will be listed the various technologies used to date to generate low frequency ultrasonic guided waves. Then a second part will be dedicated to the generation of ultrasonic guided waves by magnetostrictive effect. The end part of the paper concerns the presentation of the results of ongoing research aiming to improve the performance of this technology with a high growth potential in the coming years.*

## **1 - INTRODUCTION**

L'utilisation des ondes guidées en particulier de surface (ondes de Rayleigh) et de Lamb (ondes de plaque), n'est pas récente en contrôle non destructif en utilisant principalement des transducteurs à angle variable ou fixe pour une configuration de transducteur bien déterminée.

Ces ondes présentent l'avantage de se propager sur des grandes distances (plusieurs mètres) sans atténuation significative en suivant le profil des pièces ; ce qui permet de contrôler rapidement des structures de forme complexe pour la recherche de défauts de surface (ondes de Rayleigh) ou dans l'épaisseur (ondes de Lamb).

Ces dernières années avec le progrès liés à la modélisation des phénomènes physiques de génération et de propagation des ondes ultrasonores, à l'évolution des techniques EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer) utilisant la force de Lorentz ou l'effet magnétostrictif ; aux performances accrues des électroniques d'acquisition et de traitement de signaux, ainsi qu'à l'utilisation des nouveaux matériaux magnétiques et piézoélectriques ; ces techniques sont en plein essor.

L'utilisation des ondes de surface reste d'un emploi plus limité à cause des problèmes d'amortissement ou l'apparition de signaux parasites dus aux dépôts de couplant à la surface de contrôle ; ce en quoi les techniques sans contact EMAT / EMAT ou génération laser / réception EMAT ou encore les techniques à couplage sec permettent d'y remédier.

L'utilisation des ondes guidées dans l'épaisseur du matériau (ondes de Lamb et SH : Shear Horizontal waves (ondes polarisées horizontalement)) présentent un grand intérêt pour le contrôle des tôles, tubes, barres, ronds et réseaux de tuyauteries, car il peut être envisageable de les contrôler très rapidement sur des grandes distances généralement une centaine de mètres sans avoir à enlever le calorifrageage et/ou le revêtement anticorrosion, ou encore sans avoir à les déterrer.

L'objectif que c'est fixé l'Institut de Soudure et IXTREM est d'optimiser les techniques de contrôle ultrasonores par ondes guidées et/ou de Lamb ainsi que par ondes de surface pour les contrôles distance sur des produits longs (pipes, câbles, tubes d'échangeurs), structures mécanosoudés et aéronautiques : réservoirs, structures avioniques.

En effet, les principaux intérêts de ces technologies sont que :

- Les ondes ultrasonores guidées suivent le profil complexe d'une pièce
- Les ondes guidées se propagent sur de longues distances pouvant atteindre quelques centaines de mètres dépendant de la configuration des structures à contrôler et de la fréquence des transducteurs utilisés.
- Ces ondes offrent une détection aisée des défauts en peau externe et interne (*corrosions, fissures de fatigue*) par utilisation des ondes de Lamb et polarisées horizontalement.
- Les ondes de surface sont bien adaptées pour la détection de petits défauts de surface en vue de remplacer dans certains cas le contrôle magnétoscopique et/ou par ressuage (sensibilité au moins équivalente voir supérieure dans certains cas en particulier défauts sous cutanés, ou fissures à lèvres serrées).

## 2 - TECHNIQUES POUR GENERER DES ONDES ULTRASONORES GUIDEES

- Transducteurs piézoélectriques
  - Génération d'ondes guidées (Rayleigh et Lamb) par la méthode « du coin » de plexiglas ou en utilisant des transducteurs à angle variable.
  - Génération d'ondes guidées (Rayleigh et Lamb) par transducteur interdigital (électrodes imprimées sur un film type PVDF ou feuille piézocomposite).
  - Une autre façon élégante de générer des ondes de Lamb ou SH est d'utiliser des éléments piézoélectriques sous forme de barrette encore appelé peigne excité selon un mode de vibration approprié (longitudinal ou transversal).
- Technique EMAT
  - Par force de Lorentz
  - Par effet magnétostrictif directement dans la pièce à contrôler
- Par impact laser
- Transducteurs à effet magnétostrictif utilisant un feuillard ou « patch » de matériaux magnétostrictifs (principalement feuillard de nickel) directement collés sur le matériau à contrôler et excités extérieurement par un bobinage de forme et dimensions appropriées alimenté par un générateur de courant électrique de forte intensité (forme d'onde : « burst » ou train d'ondes sinusoïdales)

Il est à noter que les plus simples façons de créer des ondes SH sont d'utiliser des EMAT ou transducteurs à effet magnétostrictif.

### 3 – DIFFICULTES DANS LA MISE EN ŒUVRE DES ONDES GUIDEES

La principale difficulté dans la mise en œuvre des ondes ultrasonores guidées est de bien maîtriser la génération de ces ondes.

En effet, il existe une infinité de modes de vibration et caractéristiques de dispersion des ondes guidées où la vitesse de propagation et les modes de vibration changent avec la fréquence et l'épaisseur du matériau ainsi que de sa nature. Un programme de calcul permet d'établir des diagrammes de représentation de la vitesse de phase des différents types d'ondes en fonction du produit de la fréquence, de la nature et de l'épaisseur du matériau contrôlé.

D'une façon générale, les ondes SH et de torsion présentent comme principal avantage d'être peu sensibles à la présence de fluides à l'intérieur d'un pipe, ainsi qu'à l'isolation thermique ou revêtement anticorrosion à l'extérieur de celui-ci. Il en résulte une meilleure propagation des ondes acoustique avec un minimum d'amortissement.

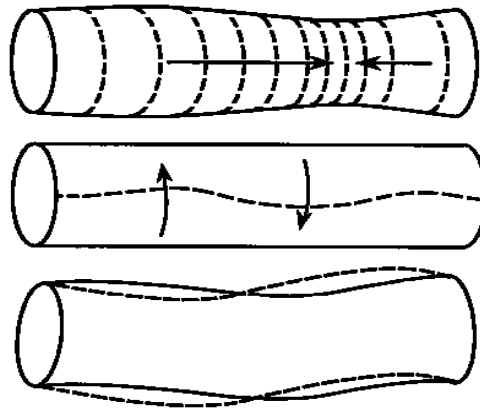


Figure 1 – Exemple de mode de vibration  
(Document SRI South Research Institute – NDT Consultants)

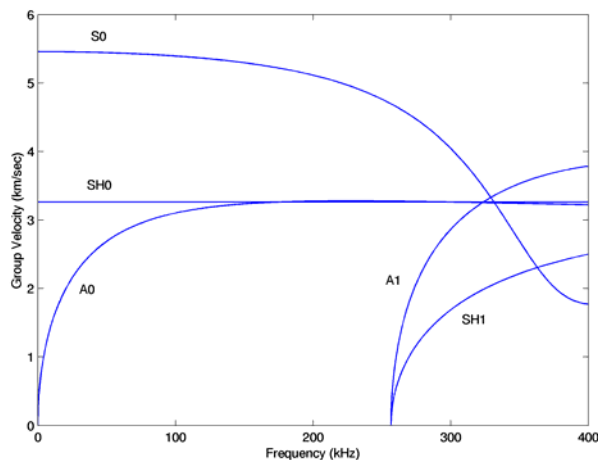


Figure 2 - Diagramme de vitesse de groupe pour une plaque  
d'épaisseur de 0,25 inches (6,35 mm)  
(Document SRI South Research Institute – NDT Consultants)

#### 4 – UTILISATION DES TRANSDUCTEURS MAGNETOSTRICTIFS POUR LA GENERATION DES ONDES GUIDEES

L'utilisation des ondes ultrasonores guidées utilisant les transducteurs magnétostrictifs se basent :

- Pour la génération d'ondes guidées sur l'effet Joule (un matériau magnétique présentant un cycle d'hystérésis suffisamment large se déforme sous l'effet d'un champ magnétique extérieur par rotation des domaines de Weiss).
- Pour la réception d'ondes guidées par l'effet inverse appelé effet Villari.

L'intérêt de la technologie développée par le SWRI (South West Research Institute) est d'utiliser un matériau à effet magnétostrictif important comme le nickel sous forme de feuillard qui entoure localement la pièce à contrôler (ce support métallique doit être solidement fixé à la structure en utilisant une résine adaptée) (Figure 3). Ce feuillard doit être préalablement aimanté selon une direction préférentielle ou de façon permanente (bobine alimentée en courant continu ou aimant permanent). Par dessus ce feuillard est fixée une bobine d'excitation dont la configuration doit être adaptée au type d'onde que l'on souhaite produire (Figure 4).



Figure 3 – Vue du feuillard à effet magnétostrictif résiné sur le pipe



Figure 4 – Vue complète du transducteur à effet magnétostrictif avec sa bobine d'excitation

La figure 5 représente une vue schématique de la chaîne de contrôle qui se compose d'une électronique de génération et de réception d'ondes ultrasonores guidées, d'un ensemble de transducteurs à effet magnétostrictif adaptés pour le contrôle des tôles et pour celui des pipes ou produits tubulaires, un PC portable qui permet de faire l'acquisition et le traitement des signaux.

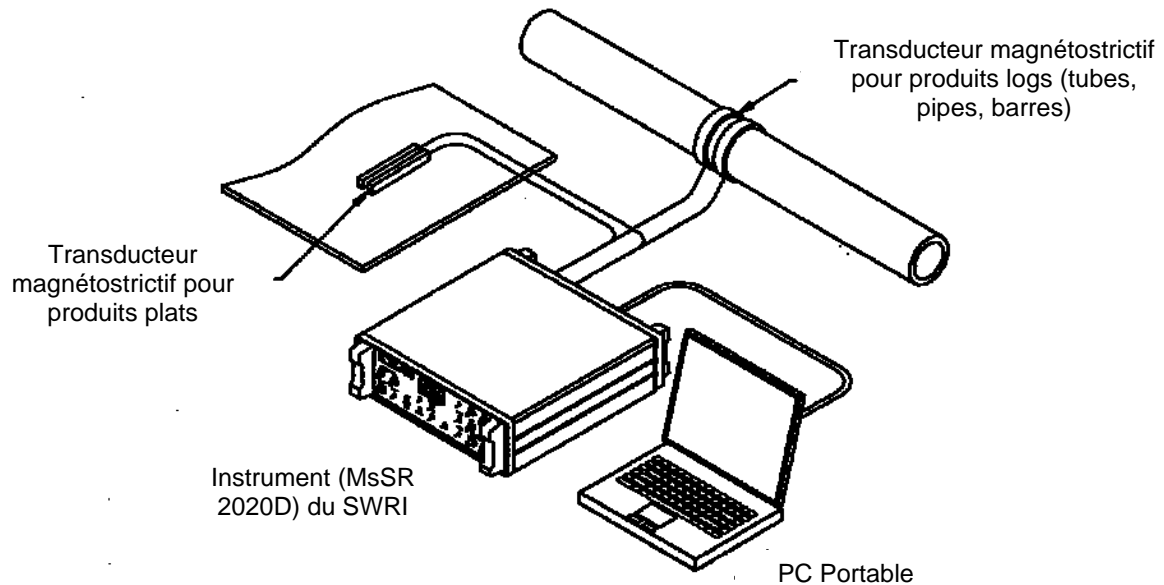


Figure 5 – Représentation schématique de la chaîne de mesure (Doc NDT Consultant)

Pour rappel, les avantages d'utiliser des ondes guidées SH générées par EMAT et ondes de torsion générées par effet magnétostrictif comparativement aux ondes de Lamb peut se résumer de la façon suivante :

- Peu d'atténuation lors de la propagation des ondes car la vibration n'est pas perpendiculaire à la peau de la pièce
- Pas de conversion de mode
- Mode d'interaction avec les défauts « simplifié »
  - L'amplitude des échos de défauts est peu affectée par les problèmes de forme et d'orientation
- Peu de dispersion des ondes acoustiques dans la matière
- Facilité de sélectionner un type d'onde de propagation à un problème de CND donné

## Exemples de résultats obtenus avec cet équipement

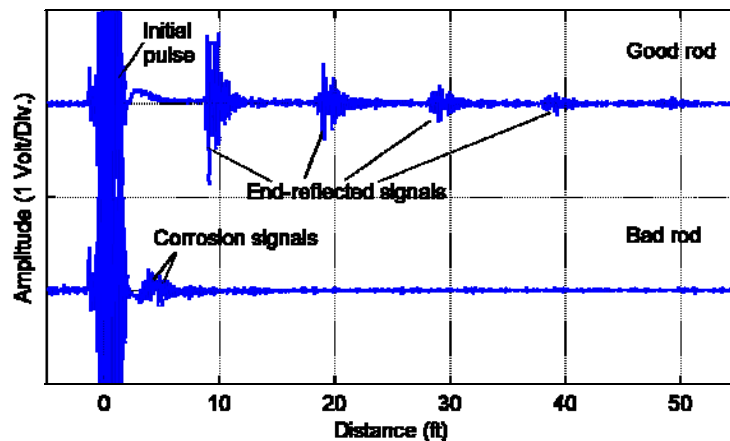


Figure 6 - Exemples de résultats obtenus sur des tirants de pont suspendu de longueur 15 m  
(Documentation technique NDT Consultants)

## 5 – CONCLUSIONS

A ce jour, les performances de ce moyen de contrôle peuvent se résumer de la façon suivante :

- Détection possible des corrosions extérieures et intérieures.
- Détection de 2 à 5 % de surface corrodée rapportée à la section totale du tube.
- Localisation des anomalies +/- 15 cm dépendant de la distance contrôlée.
- Longueur examinée couramment une centaine de mètres en fonction de la configuration du réseau de canalisations, présence ou non d'isolation ou de revêtement,

Des travaux de recherche sont en cours pour optimiser les transducteurs à effet magnétostrictif, en particulier, nous menons des travaux d'investigation sur le choix des matériaux magnétostrictifs à mettre en œuvre ainsi que leurs conditions d'excitation.

L'objectif est d'augmenter la distance d'investigation ainsi que la résolution pour détecter des corrosions de taille plus réduite. Parmi les champs d'investigation proposés figurent la modélisation des transducteurs et la propagation des ondes ultrasonores en résultant ; améliorer les performances des transducteurs en utilisant des nouveaux matériaux magnétiques à effet magnétostrictif augmenté présentant un champ coercitif le plus élevé que possible ; enfin le développement d'algorithmes de traitement du signal s'appuyant sur les résultats de la modélisation.

A ce jour, l'Institut de Soudure en collaboration avec ces deux partenaires IXTREM et NDT Consultants ont procédé à des tests de validation de cette nouvelle technique sur différents cas de figures en vue d'en déterminer les performances comparativement à d'autres moyens équivalents utilisant des transducteurs piézoélectriques (beaucoup plus encombrants et visiblement moins performants).

Ces essais ont montré l'intérêt de cette méthode de CND par transducteur magnétostrictif qui reste quand même complexe de mise en œuvre par l'interprétation des signaux obtenus notamment dans le cas où le réseau de tuyauteries comporte des soudures, piquages, goussets... qui génèrent des échos parasites.

## REFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Joseph L. Rose – A Baseline and vision of Ultrasonic Guided Wave inspection potential – Engineering Science & Mechanics Department, The Pennsylvania state University, University Park PA 16802 – Journal of Pressure Vessel Technology – August 2002, Vol 124/273
- [2] E. CRESCENZO, D. CHAUVEAU, D. DULAY, Nouveaux outils de contrôle non destructif pour la recherche et la caractérisation de la corrosion – MATERIAUX 2006
- [3] Site IXTREM [www.ixtrem.fr](http://www.ixtrem.fr) – Thématique « Produits » – Rubrique « Techniques spéciales »