

LES ONDES GUIDÉES : UN CONTRÔLE RAPIDE ET GLOBAL DE STRUCTURES DE GRANDE LONGUEUR DEDIÉ À LA MAINTENANCE

THE GUIDED WAVES: A QUICK AND GLOBAL LONG RANGE INSPECTION OF STRUCTURE DEDICATED TO MAINTENANCE

F. BERTHELOT - H. WALASZEK
CETIM - Pôle Ingénierie Contrôles Mesures
52 Av Félix Louat - BP 80067
60 304 SENLIS Cedex

Résumé

Les ondes guidées sont générées par effet piézoélectrique ou magnétostrictif dans le matériau à contrôler et se propagent entre les parois de la structure. Les fréquences utilisées sont comprises entre 20 kHz et 130 kHz.

La présence d'une perte d'épaisseur induit une réflexion de l'onde émise. L'analyse des signaux reçus (temps de parcours et amplitude) permet de repérer les zones suspectes. Des CND complémentaires peuvent permettre ensuite un contrôle plus approfondi.

Le CETIM a mené des essais d'évaluation de cette méthode mettant en évidence :

- La détection de pertes d'épaisseur de moins de 1% de la section du tube ($\Phi 12'' \frac{3}{4}$, ep 7,1 mm) situé à 18 m de la sonde. (défauts calibrés et défauts réels)
- La présence d'une « zone morte » après un piquage.
- La détection de perte d'épaisseur dans un tube coudé (90°).

Abstract

The guided waves are generated by piezoelectric or magnetostrictive effect in the undertest material and propagate in the thickness between the wall of the structure. Usual frequency range is 20 kHz - 130 kHz.

A thickness loss occurrence, induces a reflexion of the generated wave. An analysis of the received signal (time of flight and amplitude) allows to detect the suspect zones. Then an alternative NDT method may be applied for further testing.

CETIM performed trials of this method and showed that:

- *a loss of thickness less of 1% of the cross section area (tube $\Phi 12'' \frac{3}{4}$, 7,1 mm thick) located at a distance 18 m from the probe is detected. (with machined and real defects)*
- *the signal contains a « dead zone » just after a branch.*
- *this method detects a loss of thickness in elbow (90°)*

INTRODUCTION

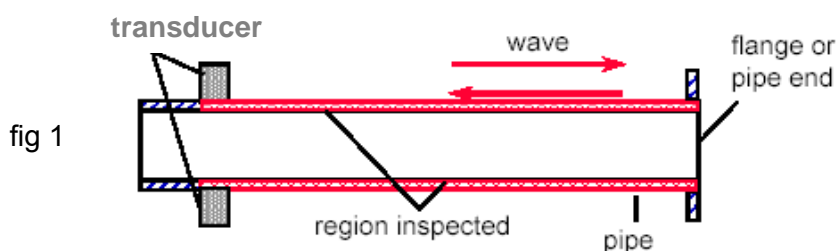
Depuis quelques années de nouvelles méthodes de contrôle par ultrasons ont vu le jour. L'une de ces méthodes est la technique des ondes guidées. Cette méthode n'a pas encore été normalisée, mais est utilisée par certains industriels. Des équipements industriels sont déjà proposés sur le marché.

Le CETIM a donc entrepris de tester cette nouvelle technique afin d'en évaluer les performances. Ces essais ont permis par ailleurs la comparaison de deux technologies différentes générant des ondes guidées.

1. PRINCIPE

La méthode des ondes guidées est une technique émergente permettant une inspection globale et rapide de structures tubulaire ou de plaques.

Les ondes ultrasonores sont créées dans le matériau à contrôler et se propagent entre les parois de la canalisation ou de la plaque. La vitesse de propagation dépend de la fréquence de l'onde et de la géométrie du milieu. La présence de défaut induit une réflexion de l'onde et l'analyse des signaux reçus (temps de parcours et amplitude) permet de repérer des zones suspectes (fig 1). Celles-ci peuvent faire l'objet par la suite d'un contrôle plus approfondi utilisant d'autres techniques.



La gamme de fréquence utilisée pour ce type d'ondes va de quelques dizaines à quelques centaines de kHz.

2. PROPAGATION DES ONDES

Les ondes ultrasonores se propagent si la section totale du matériau est égale à leur longueur d'onde ou à un multiple de celle-ci, produisant un effet de résonance. Elles sont guidées par la géométrie du tube ou de la plaque et se propagent entre les deux interfaces (parois de la tôle) en suivant ces interfaces.

Si la courbure de l'interface devient trop aiguë ou si l'épaisseur de la tôle s'éloigne de la valeur de la longueur de l'onde de Lamb, il y a réflexion partielle ou totale de l'onde. L'onde est réfléchiée lorsque la section du tube varie en moins (cas d'une corrosion) ou en plus (présence d'une soudure, d'un support, d'un piquage,...).

Dans les structures tubulaires, les ondes peuvent se propager selon 3 modes : mode longitudinal (L), mode de flexion (F) et mode de torsion (T).

L'analyse des modes de propagation en réception est souvent nécessaire pour l'interprétation des échos relevés sur l'échogramme.

Un relevé préalable des particularités de la ligne doit être fait pour permettre l'identification des échos dus à des causes " normales " (piquage, soudure,...). Ces échos naturels peuvent alors servir d'étalons d'amplitude et de distance. Lorsqu'on voit un écho là où il n'y a pas de raison d'en avoir un ou bien lorsque l'écho attendu n'a pas l'aspect habituel, on peut en conclure qu'il y a probabilité de corrosion, et donc qu'il faut conduire une investigation plus approfondie par d'autres méthodes.

La génération et la réception des ondes guidées peuvent se faire de deux manières différentes :

- Par effet magnétostrictif.
- Par effet piézo-électriques (méthode la plus classique)

3. SYSTEME A EFFET PIEZOELECTRIQUE

Le système (fig 2) est composé

- d'un ensemble de transducteurs.
- d'une unité électronique émetteur / récepteur ayant la possibilité d'introduire un déphasage entre chaque élément.
- d'un PC permettant de piloter l'électronique.
- d'une pompe à vide pour assurer le maintien du contact transducteur / pipe.

fig 2



Pour générer des ondes ultrasonores dites guidées, une des méthodes (la plus employée en ultrasons conventionnels) consiste à utiliser des transducteurs piézoélectriques. Le matériau piézoélectrique a la propriété de se mettre à vibrer lorsqu'il est soumis, entre ses bornes, à une différence de potentiel. Inversement il délivre une différence de potentiel lorsqu'il est sous l'effet d'une contrainte mécanique. Il peut donc être utilisé comme émetteur ou comme récepteur.

Les ondes sont générées par une série de capteurs (fig 5 et 6) disposées sur toute la circonférence du tube et montées sur un collier (fig 3 et 4). Celui-ci est appliqué sur une partie accessible de l'appareil.

fig 3

fig 4



Chaque capteur est lui-même composé de transducteurs piézo électriques.

fig 5



fig 6



Les ondes ultrasonores sont générées dans une bande de fréquence étroite allant de 10 kHz à 100 kHz.

Contrairement aux ultrasons conventionnels, aucun liquide de couplage n'est appliqué entre les capteurs et le matériau à contrôler. Le couplage est réalisé par contact. Une petite pompe permet le maintien d'une certaine « pression » du capteur sur le tube.

4. SYSTEME MAGNETOSTRICTIF

Le système est composé

- d'une sonde (fig 8)
- d'un système émetteur / récepteur (fig7)
- d'un PC permettant de piloter l'électronique du système (fig7).

fig 7



fig 8



Pour générer des ondes guidées par magnétostriction, un courant pulsé est introduit dans une bobine émettrice encerclant un matériau ferromagnétique. La modification locale de l'aimantation du matériau s'accompagne d'une déformation du matériau dans une direction

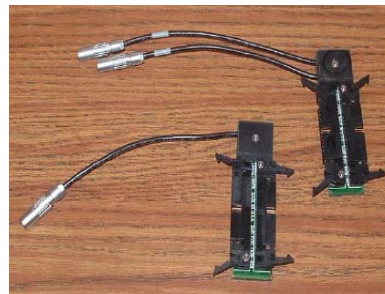
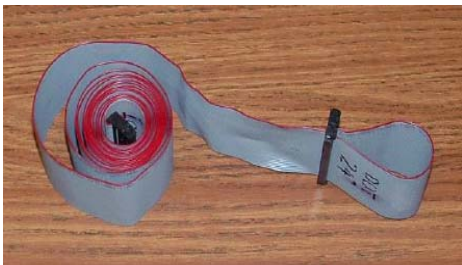
parallèle au champ magnétique appliqué. Cette déformation qui correspond à l'effet magnétostrictif, génère une onde mécanique. Les sondes utilisées permettent de générer des ondes de quelques kHz à quelques centaines de kHz qui se propagent à la vitesse des ondes ultrasonores dans le matériau.

Lorsque cette onde est réfléchiée par la présence d'un défaut et atteint la bobine réceptrice, cela modifie le flux magnétique dans cette bobine. Ce changement induit un courant électrique dans la bobine " réceptrice " qui est proportionnel à l'amplitude de l'onde mécanique. Ce courant est ensuite amplifié, conditionné et analysé.

Les capteurs sont composés d'une bande métallique magnétisée (champ permanent) avec des propriétés magnétostrictives fortes et d'un certain nombre de spires de fil entourant le tube par dessus la bande.

La bande métallique est collée sur le tube (fig 11).

Les fils formant les spires (fig 9) sont fixées ensuite sur la bande à l'aide de connecteurs (fig 10).



5. ESSAIS REALISES

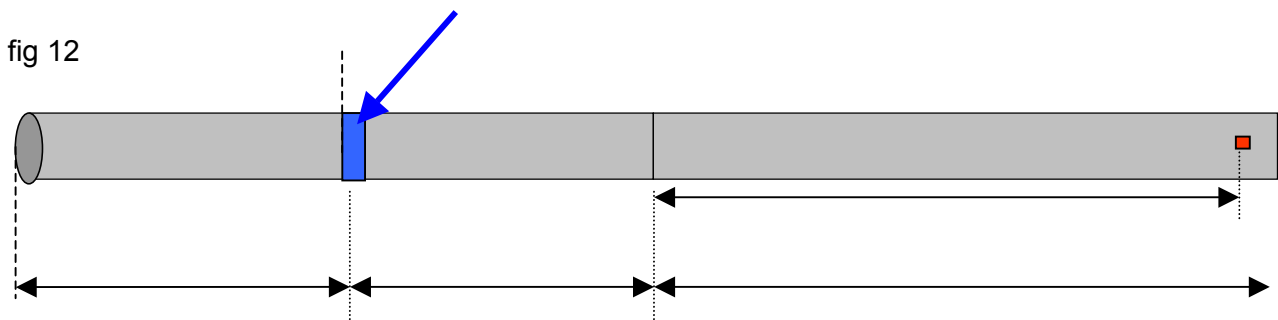
Les essais ont été réalisés avec les deux types de système (magnétostrictif et piézo-électrique). Les résultats présentés sont ceux obtenus avec le système magnétostrictif. Tous les échantillons nécessaires aux essais ont été réalisés sur des tubes ayant les caractéristiques suivantes :

Diamètre du tube : 12 inch (324 mm)
Épaisseur : 7.1 mm

6.1 Influence de la taille du défaut :

Pour étudier l'influence de la taille d'un défaut, un échantillon (fig 12) a été réalisé de la façon suivante :

- Deux tubes de 12 m sont soudés.
- Un défaut (perte d'épaisseur) est situé à environ 18 m de la sonde et est usiné successivement à des profondeurs différentes.



Le défaut usiné a les caractéristiques suivantes :

Perte d'épaisseur courte (fig 13) : profondeur 1 à 4 mm (± 0.2 mm) largeur 20 mm et longueur 100 mm.

fig 13



- Profondeur : 1 mm (0.61% de la section du tube).
- Profondeur : 2mm (0.94% de la section du tube).
- Profondeur : 3 mm (1.74% de la section du tube).
- Profondeur : 4 mm (2.68% de la section du tube).

Cela a permis de quantifier la détection du défaut (amplitude de l'écho) en fonction de sa profondeur (ou de la section de matière manquante) et de la fréquence utilisée (fig 14).

Détectabilité en fonction de la perte de section

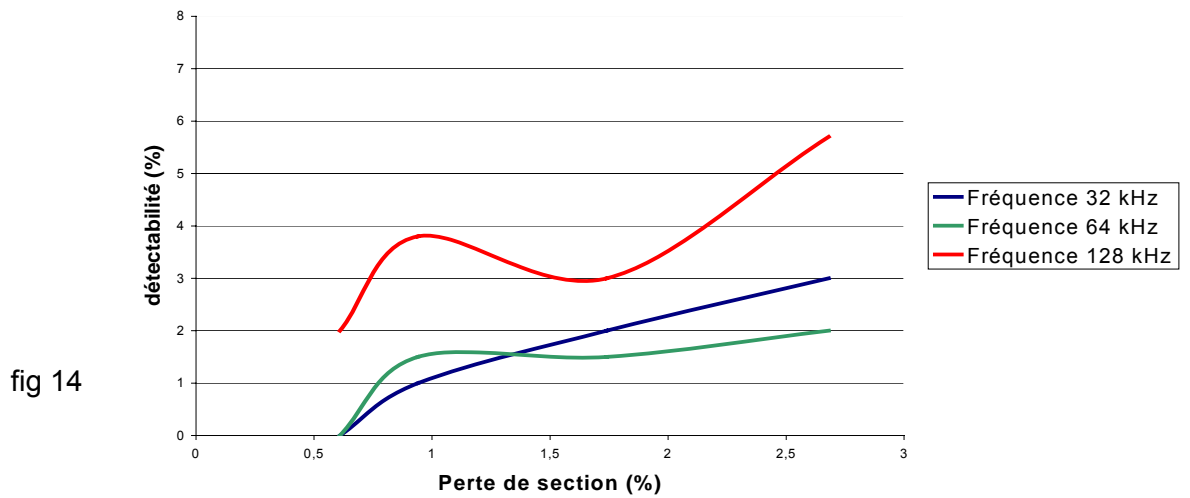


fig 14

6.2 Simulation d'un défaut réel

Une autre perte d'épaisseur a été meulée sur le même échantillon (fig 15) de façon à simuler un défaut réel. Cette perte d'épaisseur correspond à une perte de 4% de la section du tube.

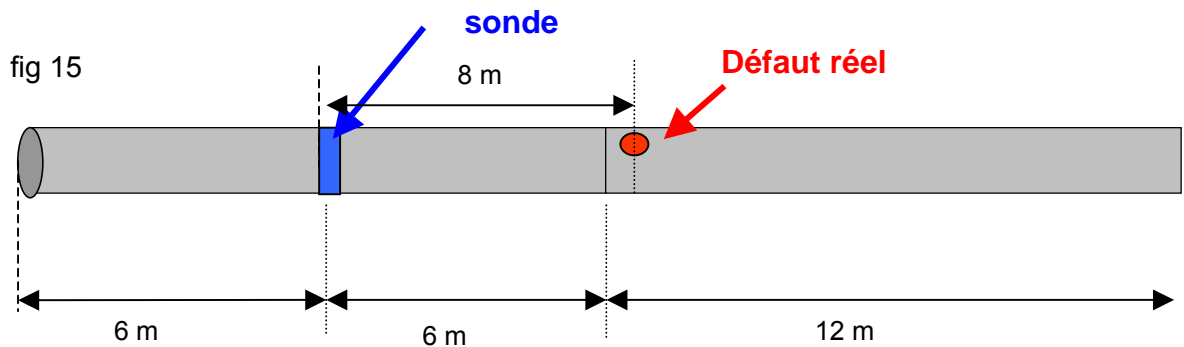


fig 15

Perte d'épaisseur progressive (fig 16) : profondeur 4 mm (± 0.2 mm) largeur mm et longueur 100 mm. Ce défaut est situé un peu plus de 8m de la sonde.

fig 16



Celui-ci est détecté facilement comme on peut le voir sur l'échogramme (fig 17) ci-dessous :

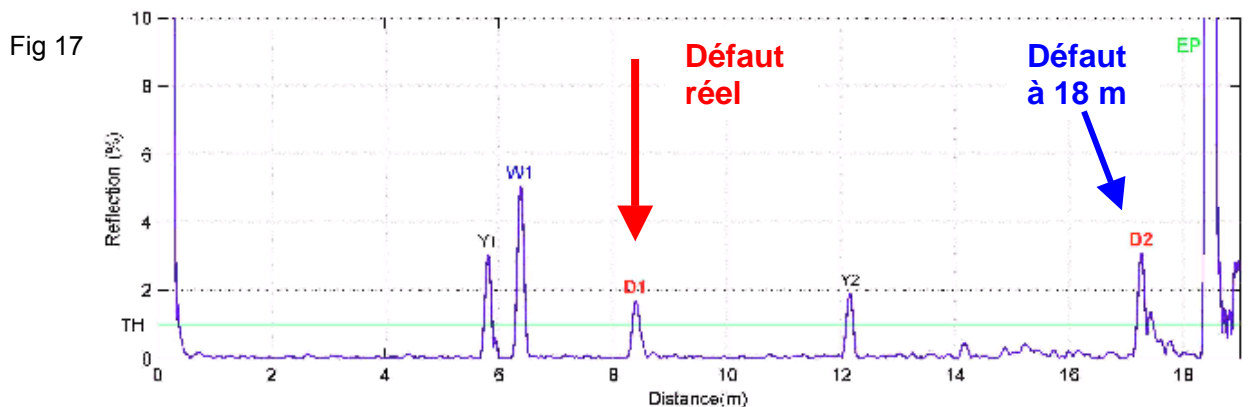
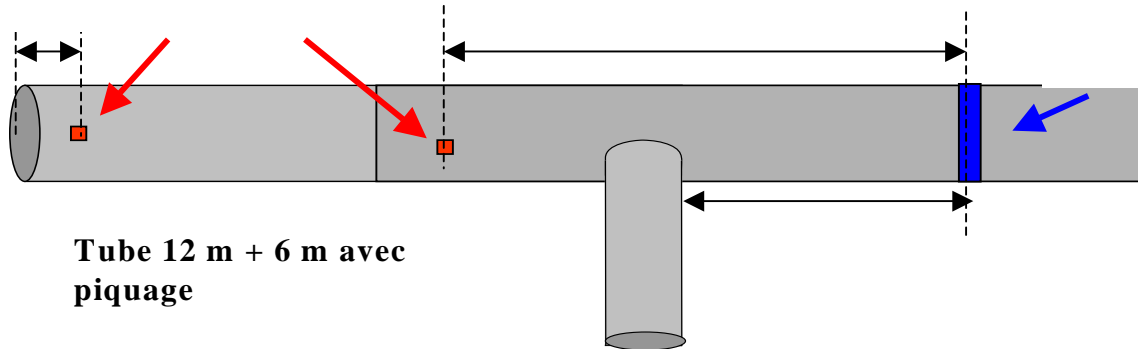


Fig 17

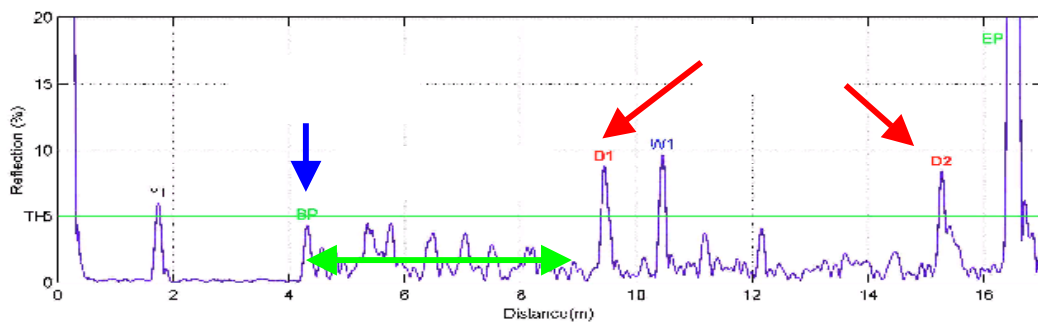
6.3 Influence d'un piquage sur la détection.

L'échantillon (fig 18) réalisé pour ces essais est décrit ci-après :



Le système détecte un défaut après un piquage (fig 19). Cependant le piquage impose une zone morte commençant au piquage et se poursuivant sur plusieurs mètres (4 m environ). Sur cette zone il est difficile de se prononcer sur la présence de défaut étant donné que le bruit de fond est important.

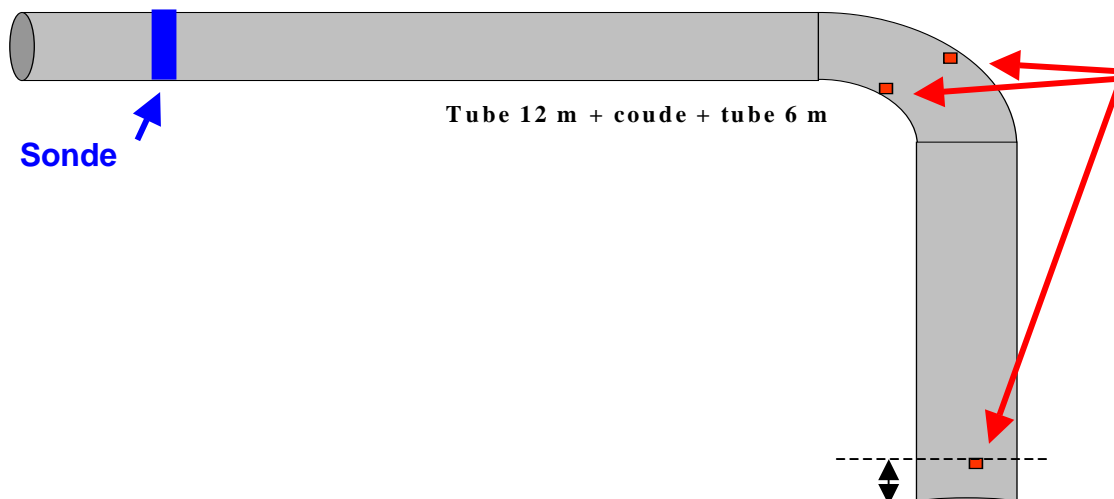
Une solution à ce problème peut être de réaliser un contrôle de chaque côté du piquage.

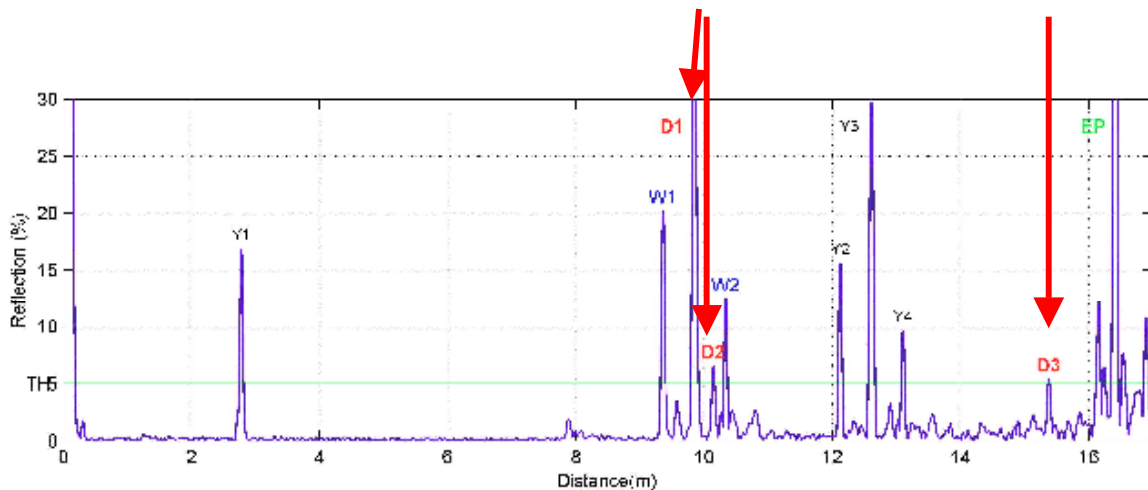


6.4 Propagation et détection des ondes dans un tube coudé

L'assemblage de deux tubes et d'un coude a été utilisé pour vérifier la détection de pertes d'épaisseur dans les coudes (fig 20).

Les résultats d'essais (fig 21) ont mis en évidence la possibilité de détecter un défaut situé 6 m après un coude soudé. Les mêmes essais permettent aussi de détecter les défauts situés dans le coude (en intrados et en extrados).





(fig 21)

7- COMPARAISON AVEC UN SYSTEME A EFFET PIEZOELECTRIQUE

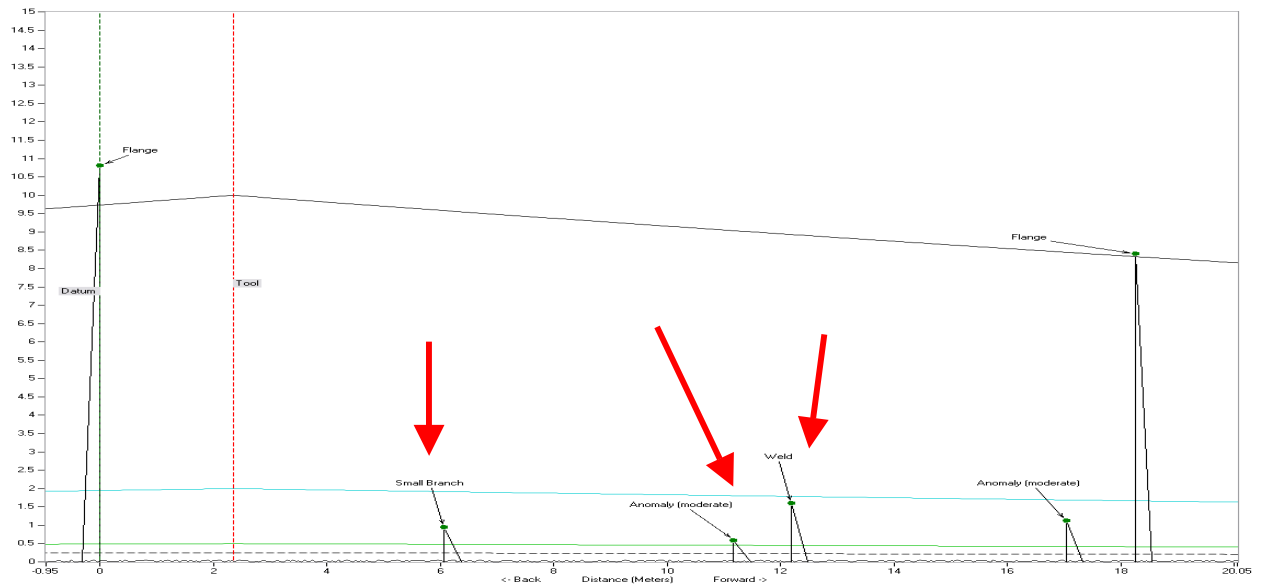
Les mêmes essais ont été réalisés avec un système utilisant des sondes à effet piézo-électrique. Dans les grandes lignes les résultats sont relativement comparables. Les principaux défauts sont détectés.

Certaines différences apparaissent cependant sur les points suivants :

- Une focalisation électronique est possible avec le système piézo-électrique. Cela permet la meilleure détection d'une anomalie et sa localisation circonférentielle. (exemple ci-dessous)

Résultat après focalisation		
Fréquence utilisée	60kHz	
Mode de propagation	Longitudinal	
Direction de test	Positive	
Distance de focalisation	1.416m	

- Le système piézo-électrique ne permet pas d'obtenir de résolution temporelle aussi fine qu'avec le système par effet magnétostrictif, étant donné que les fréquences de travail sont inférieures.
- Le système piézo-électrique permet une représentation des signaux éliminant toute la partie du signal inférieure à un certain seuil ce qui permet de supprimer la zone morte due au piquage sur le tube B. La visualisation des anomalies est plus aisée.



- Le défaut situé dans l'intrados du coude C n'est pas détecté ou très difficilement, avec le système piézo-électrique.
- Les capteurs n'étant pas utilisés à leur fréquence de résonance et ayant une large bande passante, un balayage fréquentiel est réalisé par le système sans avoir à changer de sonde.

La classification des anomalies (acceptables ou non) est possible directement grâce aux courbes CAD pré-saisies dans le système.

8 - CONCLUSION

Pour les deux systèmes, la précision de la localisation du défaut (départ du défaut = zone où se produit la réflexion) est de l'ordre de 10 cm.

On peut affirmer qu'un défaut sera mieux détecté si :

- Le pourcentage de perte de section (par rapport à la section totale du tube) qu'il représente est élevé.
- La forme du début du défaut (la zone de réflexion) est abrupte (perte d'épaisseur plus ou moins progressive).