# Automatisation de la prise de profil des zones inspectées dans le cadre de contrôles par ultrasons mécanisés

Ing. J. VANDERVEKEN
Ing. G. ZONE
Ir M. PLATEAU
ECAM – Bruxelles

*Dans le cadre des contrôles par ultrasons mécanisés, un découplage entre la sonde et la pièce inspectée peut apparaître si le profil de cette dernière présente de trop grandes discontinuités. Lors de l'analyse des inspections, ces zones sont classées « non inspectées » mais aucune justification n'accompagne ce classement. La connaissance du profil de la pièce inspectée permettrait de détecter les discontinuités trop importantes dans la pièce et de justifier le découplage. L'objectif de ce travail est d'embarquer la mesure de profil aux scanners de contrôle par ultrasons existants.*

*Mots clés : découplage, contrôle par ultrasons, mesure de profil, capteur laser*

*As part of mechanized ultrasonic inspection, the probe may uncouple from the inspected part if the profile of the latter has too large discontinuities. During the inspection analysis, these areas are classified as "not inspected" but no justification accompanies this ranking. Knowing the profile of the inspected part enable to detect the too important discontinuities and justify the decoupling. The objective of this work is to embed the profile measurement on existing ultrasonic scanners.*

*Keywords: decoupling, ultrasonic testing, profile measurement, laser sensor*

# 1. Introduction

Ce travail a été réalisé dans le service *Advanced NDT* (Non Destructive Testing) de la société Vinçotte.
Les ondes ultrasonores sont émises au moyen d'un élément piézoélectrique qui a la particularité de transformer une impulsion électrique en une onde mécanique. La pastille piézoélectrique est excitée à une fréquence allant de 0,5 à 15 MHz pour les applications les plus courantes. L'élément piézoélectrique est fixé d'un côté à une semelle plastique, et de l'autre, à un amortisseur sonore. Cet ensemble constitue un palpeur.
En présence d'une modification des caractéristiques du matériau dans lequel elles se propagent, la propagation des ondes sera perturbée suivant les lois de la réfraction, de l'absorption et de la réflexion. La vitesse de propagation de l'onde dépend du matériau hôte. Les lois de la réflexion montrent que, dans le cas particulier d'une interface solide/gaz, quasi aucune énergie ne sera transmise au deuxième milieu (gaz). Cette particularité importante est exploitée lorsque l'onde rencontre une fissure ou une inclusion gazeuse. C'est également pour cette raison que l'on utilise un produit couplant (eau, gel) entre le palpeur et la pièce à contrôler. Un contrôle peur se faire soit avec un palpeur, qui sera alors alternativement émetteur et récepteur, soi avec deux palpeurs, l'un étant l'émetteur, le second le récepteur.
La Figure 1 présente, dans l'ordre, un exemple de chaîne d'acquisition pour les contrôles avancés par ultrasons. Il s'agit d'une sonde, d'un appareil à ultrasons (ici un Omniscan®), et d'un PC. L'enregistrement des données sur le PC se fait avec le logiciel Tomoview®.

*Figure 1 : Chaîne de mesure existante pour les contrôles par ultrasons*

Les contrôles avancés par ultrasons se font généralement à l'aide de robots motorisés. L'objectif du travail est d'embarquer la mesure de profil sur les scanners existants. Ceci permet d'effectuer le contrôle par ultrasons et la mesure de profil en une seule opération. Afin de pouvoir lier le profil mesuré aux mesures ultrasonores, il est impératif que cette mesure de profil se fasse via l'appareil à ultrasons et le logiciel Tomoview tous deux utilisés pour les ultrasons. La mesure de profil sera intégrée à la chaine de mesure existante, comme illustré à la Figure 2.

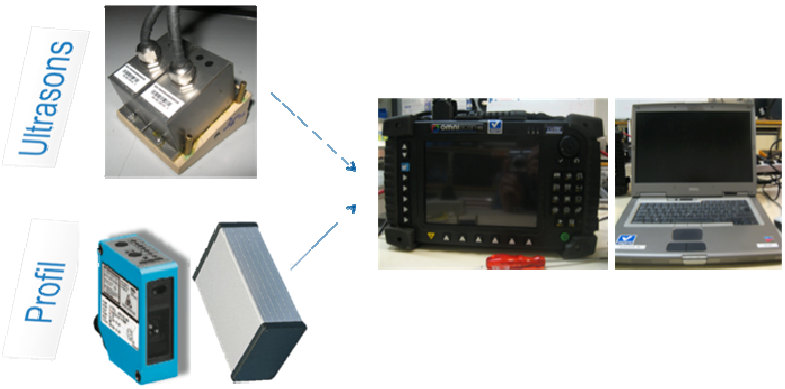


*Figure 2 : Chaîne de mesure de profil*

La figure ci-dessous présente un scanner automatique :

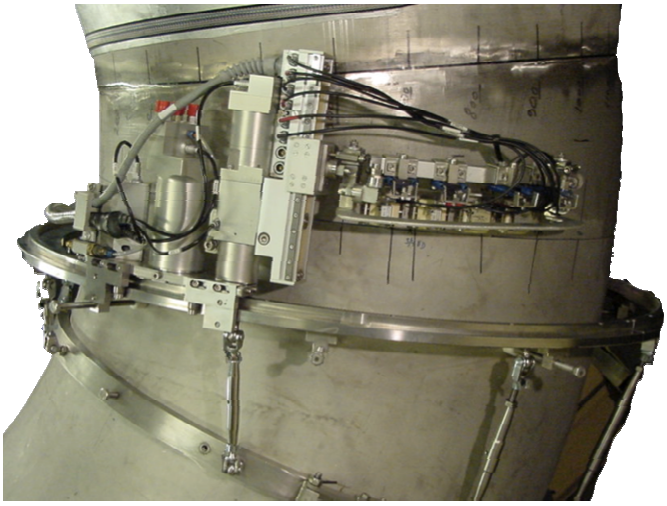

*Figure 3 : Scanner automatique monté sur une tubulure*

## 2. La problématique du découplage

Comme mentionné ci-dessus, l'utilisation d'un couplant est indispensable à la propagation des ondes ultrasonores. Lors de contrôles mécanisés, l'eau est largement utilisée. Si le profil du matériau à inspecter présente une surface fort discontinue, un découplage peut apparaître. En effet, si la distance entre la semelle du palpeur et le profil inspecté est trop importante, l'eau ne suffit plus au bon couplage. Ce principe est schématisé à la Fig. 4. Une poche d'air s'insère entre le palpeur et la pièce, ceci empêche les ondes ultrasonores de se propager dans le milieu. Une zone non contrôlée apparaît à cet endroit lors de l'analyse des résultats.

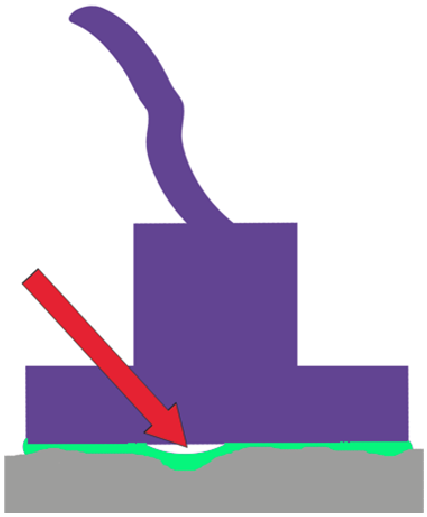

*Fig. 4 : Principe du découplage*

La connaissance du profil de la pièce contrôlée permettrait de justifier les zones non contrôlées en détectant les éventuels découplages, ceux-ci se présentant lors d'irrégularités du profil.

## 3. Mesure du profil

### 3.1 Usage d'un peigne de profil

Actuellement, la seule technique utilisée pour connaître le profil des pièces inspectées est la mesure par peigne. Avant le contrôle, l'opérateur effectue quatre mesures sur la circonférence du profil inspecté à l'aide d'un peigne à profil. Cette méthode est illustrée à la figure ci-dessous. Pour chacune de ces mesures, la prise du profil par le peigne est tracée sur papier. Cette technique ne permet pas d'avoir une grande précision, et ne permet que de travailler sur un profil moyen. Les zones ponctuelles de découplage possible ne peuvent pas être détectées.

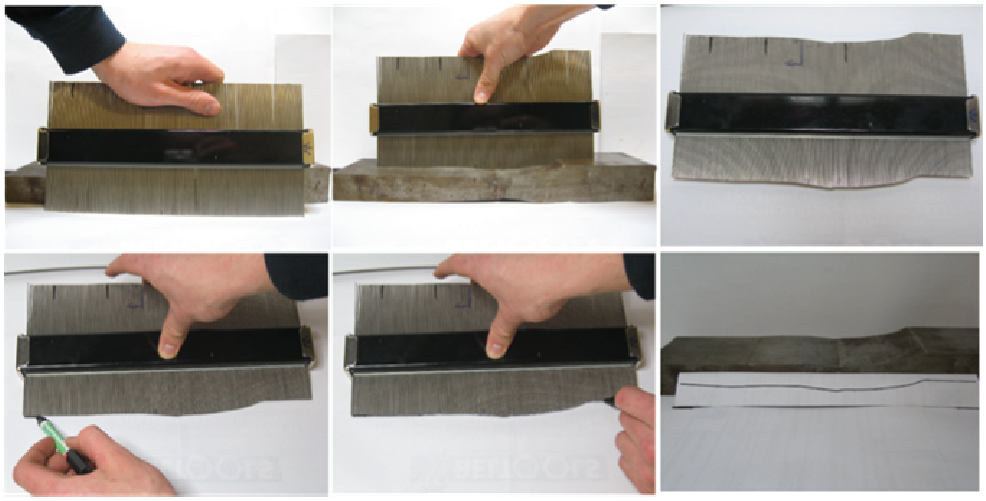

*Figure 5 : Peigne utilisé pour la mesure de profil*

### 3.2 Choix du capteur de mesure de profil

Les restrictions sur le choix du capteur étaient une précision de mesure de l'ordre du dixième de millimètre, une sortie analogique continue pour une adaptation aisée au système d'acquisition existant, une plage de mesure permettant l'enregistrement des variations de profil critiques, un encombrement et un poids ne devant pas être trop important, vu que le capteur est monté sur des scanners mécanisés existants. Le capteur choisi est de la marque SICK et le modèle est l'OD2-P85W20U0. Le tableau suivant présente ses principales caractéristiques :

| | |
|---|---|
| Type de capteur | Laser |
| Plage de mesure | 65 – 105 mm |
| Sortie | Analogique 0-10V |
| Précision | 0,1 mm |
| Résolution | 10 µm |
| Température d'utilisation | -10°C à +40°C |
| Temps de réponse maximum | 35 ms |

*Tableau 1 : Caractéristiques principales du capteur*

*Figure 6 Capteur*

### 3.3 Interface électronique

Une interface électronique entre le capteur laser et l'appareil à ultrasons a dû être créée et dimensionnée afin de traiter le signal pour le rendre exploitable par le logiciel Tomoview. Ses principales fonctions sont :

- la synchronisation et la temporisation de la mesure de profil avec l'appareil à ultrasons,
- l'échantillonnage de la tension continue du capteur de distance
- l'atténuation du signal afin de ne pas saturer l'entrée de l'appareil à ultrasons.

La Figure 7 présente les différentes étapes du traitement de signal.

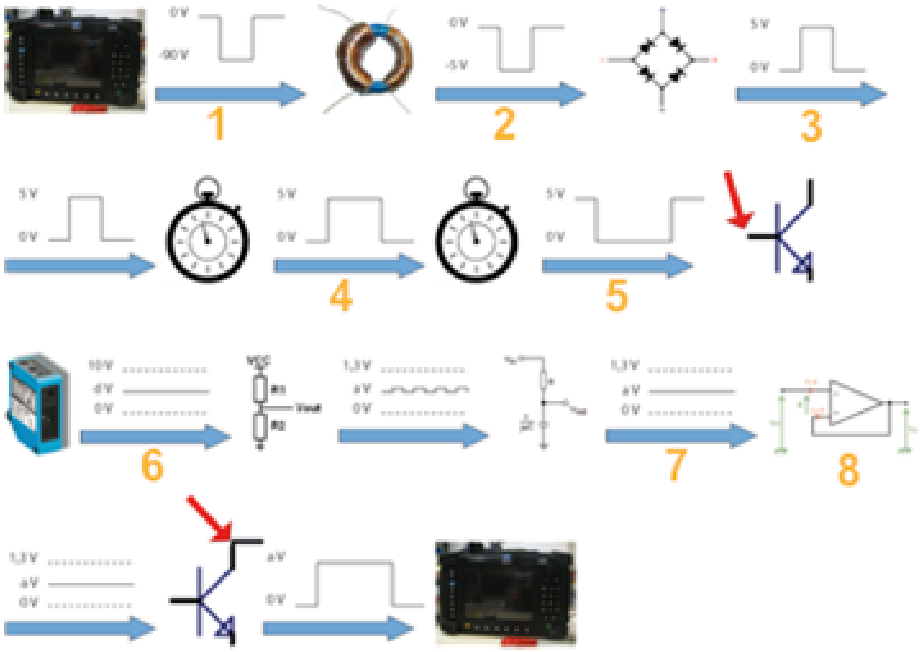


*Figure 7 : Traitement du signal par l'interface électronique*

Pratiquement, les différentes étapes du traitement du signal ont été réalisées comme suit :

1. L'appareil à ultrasons envoie une impulsion de synchronisation. Cette dernière est une décharge capacitive de 0 à -90V.
2. Un transformateur bobiné diminue l'intensité de l'impulsion à -5V.

3. Un pont à diode redresse enfin le signal afin d'obtenir une impulsion positive de 5V. Ce type d'impulsion permet de déclencher un temporisateur.

4. Un premier temporisateur permet de laisser un certain temps entre la réception de l'impulsion et le renvoi de l'information vers l'acquisition. La sortie de ce premier temporisateur est donc une impulsion de 5V dont la durée est fonction du circuit RC qui lui est attribué. De ce cas-ci, la largeur de l'impulsion est de 2µs.

5. La sortie du deuxième temporisateur est un signal constant de 5V comportant des impulsions à 0V afin d'exciter un transistor. La largeur de l'impulsion doit être suffisamment grande pour que le transistor se bloque. Le transistor BC547 monté sur le circuit nécessite une impulsion d'au moins 2µs pour se bloquer. La largeur de l'impulsion détermine également la largeur de l'impulsion du signal de mesure qui sera envoyé à Tomoview. La base du transistor étant alimentée par un signal constant de 5V, ce dernier sera donc passant. Lors des impulsions à 0V, il se bloquera après ses 2µs de temps de réaction.

6. En parallèle de ce qui vient d'être décrit, l'intensité de la tension continue, proportionnelle à la distance mesurée, et provenant du capteur laser, est diminuée par un pont résistif. Ceci permet d'avoir un signal dont l'amplitude maximale est de 1,3V, valeur limite de saturation de l'appareil à ultrasons.

7. Un filtre passe-bas permet ensuite d'atténuer certaines perturbations dans le signal.

8. Un amplificateur opérationnel monté en suiveur de tension permet d'adapter l'impédance du circuit.

Ce signal constant est connecté à l'émetteur du transistor. C'est également à ce point-là que l'information est envoyée à l'appareil à ultrasons. Il s'agit donc d'une impulsion dont la largeur est égale à celle de l'impulsion de sortie du deuxième temporisateur et dont l'intensité est égale à l'intensité du signal du capteur laser, divisée.

Plusieurs LED sont montées sur le circuit afin de vérifier son bon fonctionnement ainsi que la présence de certains signaux et de l'alimentation. Des condensateurs de découplage sont également présents à l'alimentation de chaque circuit intégré.

Le circuit électronique a été réalisé par la méthode de « wire wrapping ». Cette dernière a l'avantage de pouvoir modifier et/ou ajouter des connexions entre les éléments à tout moment. Ceci est évidemment plus délicat dans le cas d'un circuit imprimé. Un montage en wire-wrapping a cependant un

encombrement plus important, mais cela n'a pas d'importance dans le cadre de ce projet.

## 4. Mesure, traitement et interprétation des données

Le but du système de mesure par laser est d'atteindre une précision de 0,1 mm. Il est important de noter que les scanners présentent un certain jeu mécanique. La précision désirée est donc une précision relative, c'est-à-dire que l'on désire mesurer les variations précisément, et non la distance absolue entre le capteur et le profil. En d'autres termes, il est important de connaître l'évolution du profil avec une précision de 0,1 mm.
Le logiciel Tomoview enregistre la mesure de la distance entre le capteur laser et la pièce à inspecter. Cette distance est associée à un point x,y grâce aux codeurs présents sur le scanner. Le logiciel permet d'afficher une vue du dessus en couleurs, ce qui donne une idée grossière des résultats, mais ne permet pas une analyse précise et rapide des données. L'objectif ici est de faciliter l'interprétation de la mesure de profil par l'opérateur. Il faut donc détecter automatiquement les éventuels points de découplage en fonction de la taille de la semelle.
Il s'agit d'automatiser l'analyse de la mesure de profil afin de détecter les points critiques de découplage en fonction des différents paramètres d'examen. Le logiciel Excel a été utilisé car ce dernier est plus courant et plus disponible que d'autres logiciels de calculs comme Matlab. Diverses macros ont été créées afin d'automatiser le plus possible l'analyse des données. Il faut donc exporter les valeurs enregistrées par le logiciel Tomoview et les convertir en une distance. Ceci permet alors de reconstituer le profil de la pièce.
Le modèle choisi pour détecter les points critiques est un modèle simplifié en deux dimensions. La majorité des pièces inspectées étant des pièces de révolution, le logiciel calcule un profil moyen pour chaque point de l'axe de révolution. Les éventuels points de découplage seront donc calculés par rapport à ce profil moyen. Une boucle va parcourir l'ensemble des positions possibles du palpeur tout le long de la pièce. Pour chacune de celles-ci, il s'agit de trouver la position du palpeur par rapport au profil moyen, de calculer la plus grande distance entre le palpeur et le profil, et enfin de comparer cette distance avec la distance maximale admise introduite par l'opérateur lors de la configuration.

Un onglet nommé « report » est créé lors de l'analyse. Cet onglet regroupe l'ensemble des données relatives aux zones critiques de découplage détectés. On y retrouve d'abord le nombre de points critiques. Pour chacun de ces points, les données suivantes sont enregistrées : distance maximale entre le palpeur et le profil et position du palpeur pour ce point critique. Un graphique présentant le profil moyen ainsi que les points critiques de découplage est également affiché, comme illustré à la figure suivante.

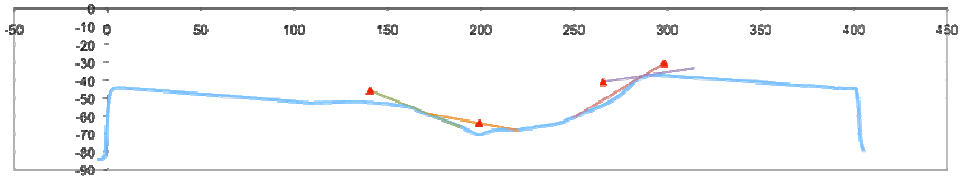


*Figure 8 : Application de la détection automatique à un profil de soudure*

La figure ci-dessous présente l'interface utilisateur du programme Excel.

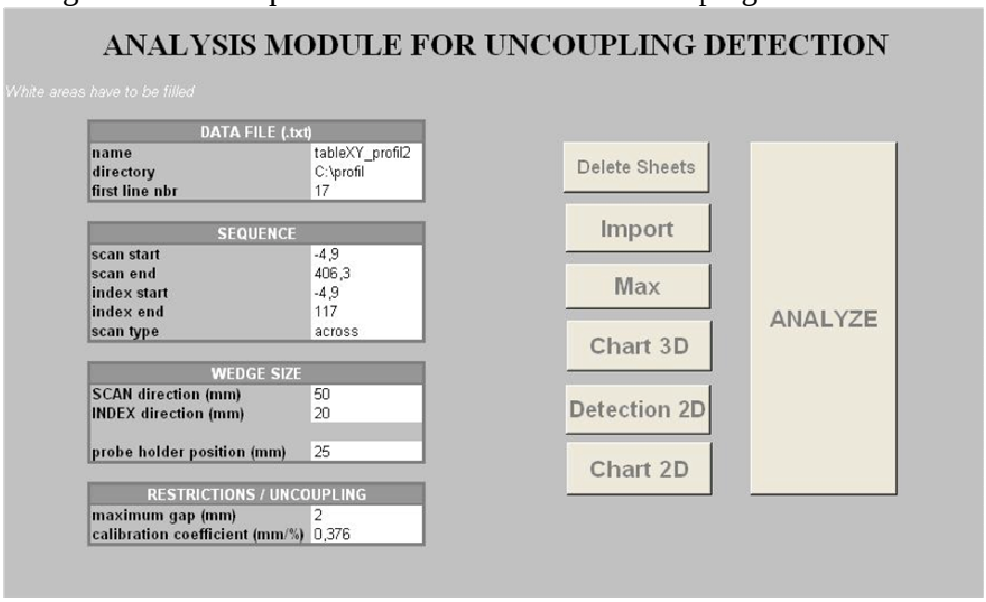


*Figure 9 : Interface utilisateur du fichier Excel*

Une détection en trois dimensions serait également possible. Cette étape permettrait enfin, pour chaque position du palpeur, de calculer le plan dans lequel se trouve le palpeur. Ceci permettrait alors de connaître la distance maximale entre le palpeur et la surface inspectée. Si cette distance est

supérieure à la distance maximale insérée dans le programme, ce dernier indiquera un message d'alerte indiquant les coordonnées du point critique, ainsi que la valeur de la distance entre le palpeur et la pièce mesurée. Cette méthode d'analyse est la plus complète car elle intègre les variations de profil le long du deuxième axe de balayage mais demande un développement logiciel lourd, qui n'a pu être réalisé dans le cadre de ce travail.

## 5. Montage du capteur sur un scanner

Le capteur doit être monté sur un scanner existant de type *PIMMS 2000 (Pipe Inspection Motorized Mechanical Scanner)*. Un support est donc prévu afin de pouvoir fixer le système sur les scanners. Ce support sert également de protection contre d'éventuels chocs.

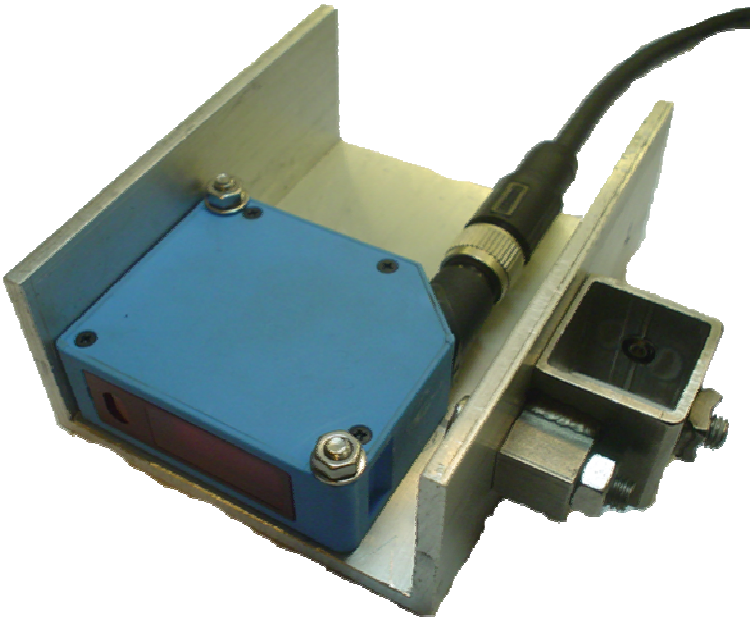

*Figure 10 : Support du capteur laser*

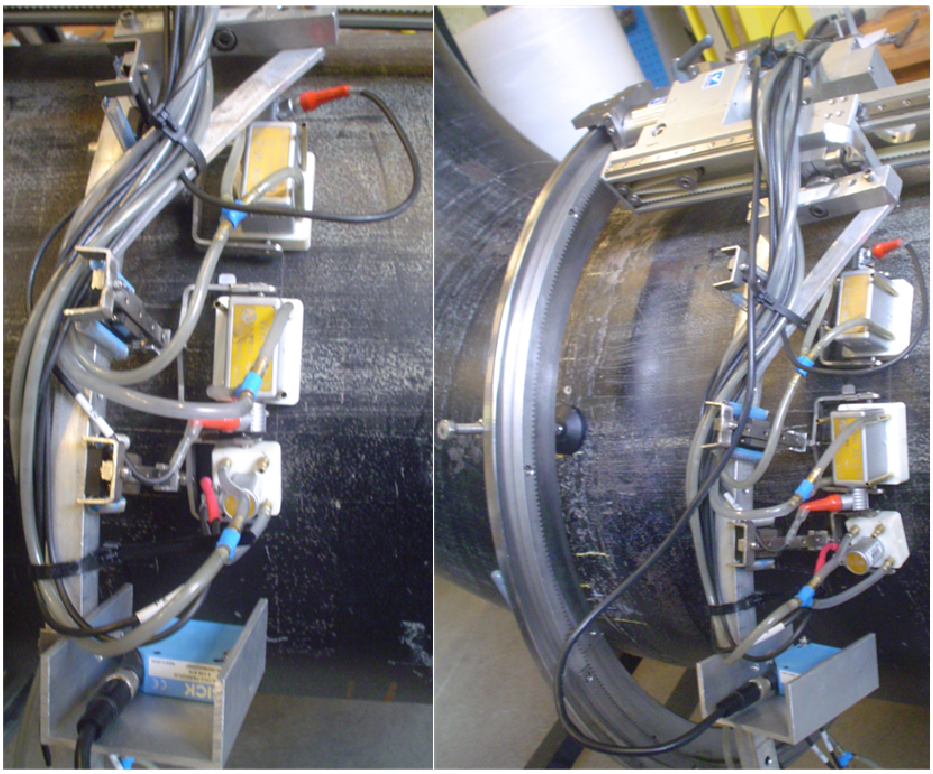

*Figure 11 : Capteur laser intégré à un scanner existant*

## 6. Conclusions et perspectives

L'objectif de ce travail était d'embarquer la mesure de profil sur les scanners existants. Pour ce faire, il a été choisi d'effectuer la mesure du profil à l'aide d'un capteur de distance utilisant la technologie laser. Ce capteur a été intégré à la chaîne de mesure par ultrasons afin de pouvoir lier les deux types de mesure. Le signal provenant du capteur est traité afin de pouvoir être lu par les appareils à ultrasons. Ce traitement du signal est effectué à l'aide d'un circuit électronique. Enfin, des « macros » ont été développées dans Excel afin d'automatiser l'analyse de la mesure de profil pour détecter les zones critiques de découplage.

Le système actuel est fonctionnel, mais pourrait encore être amélioré et de nouvelles fonctionnalités développées. Les améliorations possibles peuvent se faire au niveau du circuit électronique ou du logiciel de détection sous Excel.
Certains composants peuvent être ajoutés ou remplacés dans le circuit électronique, lui conférant une fiabilité et une robustesse plus importante. En effet, il n'y a, par exemple, aucune protection contre d'éventuelles surtensions provenant de l'impulsion de l'appareil à ultrasons.
Le logiciel sous Excel peut également être amélioré. Il y a d'abord la méthode de détection qui peut être affinée. Actuellement, la détection se fait sur un profil moyen en deux dimensions. Ceci ne permet que de détecter les points de découplage dus à la variation du profil, mais ne permet en aucun cas de détecter les éventuels points de découplage dus à des variations du profil suivant le deuxième axe de balayage, comme par exemple à une entaille de meuleuse. Une méthode de détection en trois dimensions permettrait de détecter ces deux types de points critiques de découplage. Il serait aussi intéressant d'optimiser le temps de calcul lors de la détection en modifiant le type de variable utilisée ainsi que la boucle de calcul permettant la rotation par pas du vecteur palpeur. Une amélioration supplémentaire pourrait être de vérifier la continuité de la mesure afin de détecter d'éventuelles erreurs de mesure.

Enfin, le système de mesure de profil pourrait être développé pour d'autres applications que la recherche des points de découplage, comme par exemple la détection de la corrosion. Cette application semble très intéressante au vu des demandes de certains clients dans ce domaine.

## 7. Sources

[1] OST, M., *Contrôle par ultrasons : cours théorique niveau 1/2*, Révision d, Vilvoorde : Vinçotte Academy sa.

[2] RD Tech, *Manuel de référence Tomoview*, pp 198 à 225.

[3] Sick, *Product information OD Value*, Allemagne, 11/2008.

[4] Sick, *Product information OD_measuring*, Allemagne.

[5] Alticontrole, *Contrôle non destructif*, http://www.alticontrole.com/cnd.html, page consultée le 20 février 2010.

[6] Alticontrole, *Ultrason*, http://www.alticontrole.com/ultrason.html, page consultée le 20 février 2010.

[7] Institut de soudure, *Le contrôle manuel par ultrasons*, http://www.isgroupe.com/controle-manuel-par-ultrasons.html, page consultée le 20 février 2010.

[8] Institut de soudure, *Contrôle par Ultrasons en immersion*, http://www.isgroupe.com/controle-par-ultrasons-en-immersion.html, page consultée le 20 février 2010.

[9] Wikipedia, *Contrôle par ultrasons*, http://fr.wikipedia.org/wiki/Contr%C3%B4le_par_ultrasons, page consultée le 20 février 2010.