

# APPLICATION DES TRADUCTEURS ULTRASONORES MULTIELEMENTS PIEZOCOMPOSITE EMETTEUR-RECEPTEUR AU CONTROLE DES ACIERS INOXYDABLES

## APPLICATION OF PIEZOCOMPOSITE TWIN, SIDE BY SIDE, PHASED ARRAY UT PROBES FOR THE INSPECTION OF STAINLESS STEEL

M. Delaide<sup>1</sup>, H. Vandriessche<sup>1</sup> and Ph Dumas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AIB Vinçotte International SA, Vilvoorde, Belgium, <sup>2</sup> Imasonic SA, Besançon, France

### Résumé

La demande d'examen par ultrasons de composants et de soudures en acier austénitique inoxydable, lors des « inspections en service » des centrales nucléaires et de l'industrie pétrochimique, est en pleine croissance. Des techniques innovantes de CND sont nécessaires pour y répondre avec efficacité, flexibilité et à faible coût.

Les traducteurs ultrasonores à mettre en œuvre doivent détecter et caractériser des défauts fissurants, dans des structures métallographiques grossières, de façon fiable et en des temps d'intervention très réduits.

En combinant le concept, bien connu et expérimenté, des traducteurs doubles à ondes longitudinales, aux technologies piezocomposite et multi-éléments, on obtient l'amélioration de performance et de vitesse d'exécution escomptée.

Grâce à la découpe matricielle des surfaces actives, il est possible, de façon électronique, de défléchir en toute direction et d'adapter les profondeurs de champs des faisceaux ultrasonores. Cela permet de réduire à un strict minimum les déplacements mécaniques tout en garantissant, grâce aux propriétés électroacoustiques des piezocomposites, une haute sensibilité.

L'article décrit le concept, la fabrication et la caractérisation des ces sondes innovantes, et présente une sélection d'exemple d'applications industrielles.

*Ultrasonic examination of austenitic stainless steel components and welds takes an increasing place during the fabrication and the "in service inspection" of power and petrochemical plants, where cost reduction and severe safety rules impose to use innovative NDT methods with increased efficiency and flexibility.*

*As a consequence, the UT probes to be used must allow detecting and sizing cracks in coarse-grain structure, with a high reliability level while the duration of the examinations must be reduced to a strict minimum.*

*The combination of well-known TRL probes, based on twin side by side (emission / reception) crystals, with new technologies such as Phased array and piezocomposite allows for manufacturing a new kind of transducer that improves both probes performances and inspection speed as requested.*

*Single element crystals are replaced by matrix arrays, making it possible to deflect and to skew the beams, to change the inspection depth and, by way of consequence, to reduce the probe displacement to a minimum.*

*Piezocomposite material improves the sensitivity and the cross coupling between elements thanks to its electro acoustical properties.*

*This paper describes the designing, the manufacturing and the characterization of these piezocomposite, side-by-side, TRL PA probes. Examples of applications where these probes have been used will be presented.*

## **INTRODUCTION**

### **Derniers développements dans le domaine de l'inspection ultrasonore de composants en acier inoxydable :**

Le niveau de performances des techniques de contrôles ultrasonores utilisées pour l'inspection de composants soudés en acier austénitique, de soudures bi métalliques ou de structures complexes avec revêtements de protection inoxydable se trouve souvent limité par l'anisotropie et le caractère inhomogène des matériaux examinés.

Les principaux problèmes rencontrés sont la distorsion et la déviation des faisceaux ultrasonores, le niveau d'atténuation élevé et variable, et le niveau de bruit dit de structure très important. Par conséquent, les techniques ultrasonores conventionnelles sont souvent inapplicables à ces matériaux, car elles donnent un trop faible rapport signal sur bruit et une grande incertitude de positionnement des défauts.

Afin de s'affranchir de ces difficultés, des capteurs spécifiques appelés TRL (Transmitter Receiver L waves) ont été développés avec succès durant ces quinze dernières années.

Les principales caractéristiques de ces capteurs sont :

- L'utilisation d'ondes de compression basse fréquence focalisées,
- La génération de signaux fortement amortis,
- Le fonctionnement en mode émetteur / récepteur séparés.

Ces dernières années, le développement rapide de la technique Phased Array, a permis la conception de nouveaux capteurs appelés TRLPA [1] (Transmitter Receiver L waves Phased Array) dont l'intérêt est d'associer, aux avantages de la technique TRL conventionnelle :

- le matériau piezocomposite (offrant une meilleure sensibilité, des signaux courts et des possibilités de découpages matriciels très fins),
- la souplesse offerte par la technologie Phased Array (variation d'angle et de direction de réfraction, ajustement de la profondeur focale)

Ces nouveaux capteurs permettent d'obtenir de très bons résultats sur des structures complexes et ingrates, tout en diminuant sensiblement le temps nécessaire à l'inspection.

### **Conception et principe des capteurs piezocomposite TRLPA**

Le faisceau acoustique apparent des capteurs TRL « conventionnels » résulte de la convolution entre les champs acoustiques des éléments de l'émetteur et du récepteur ; un effet pseudo-focalisant est obtenu dans la zone de croisement des faisceaux, permettant une amélioration du rapport signal sur bruit dans la zone de profondeur correspondante.

En plus de cet effet, l'absence de zone morte, due au fonctionnement en émission réception séparée, rend possible l'inspection immédiatement sous la surface.

Le caractère innovant des capteurs TRLPA réside dans le remplacement des mono éléments, utilisés jusqu'alors dans les capteurs TRL, par des réseaux matriciels d'éléments. Ces configurations d'éléments en 2D ou 3D permettent de défléchir les faisceaux en toutes directions, dans le matériau à contrôler, en maîtrisant les angles d'inspection, les profondeurs de champs et tailles de faisceaux émis (voir figure 1).

L'utilisation de matériau piezocomposite, pour la réalisation des parties actives, apporte en outre un gain important en sensibilité. L'opérateur peut ainsi travailler avec un niveau de gain réduit et, dans certain cas, visualiser le bruit acoustique (généralisé par la structure métallographique) sans être gêné par le bruit électronique.

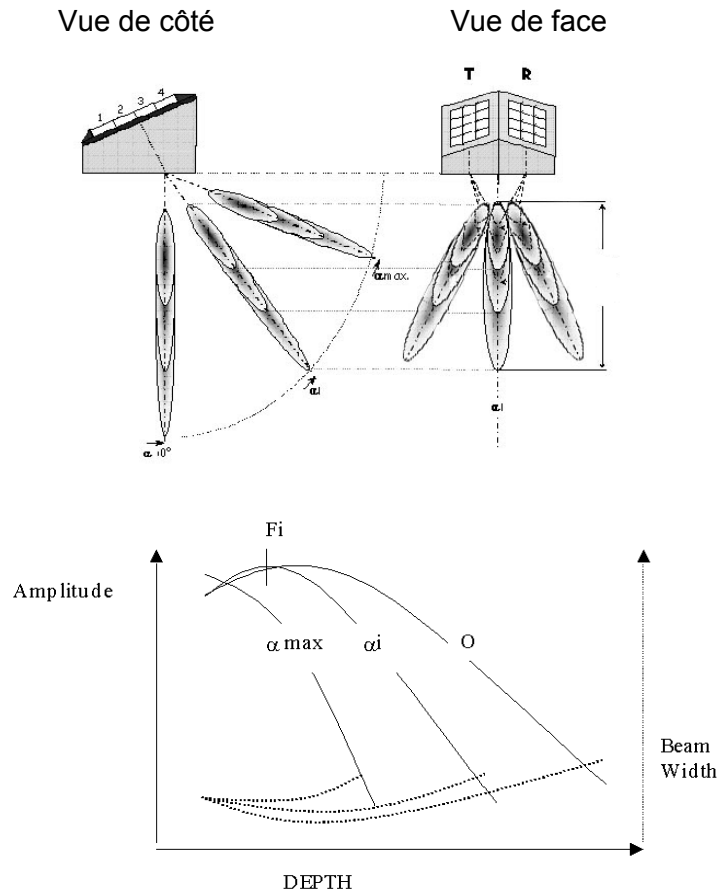
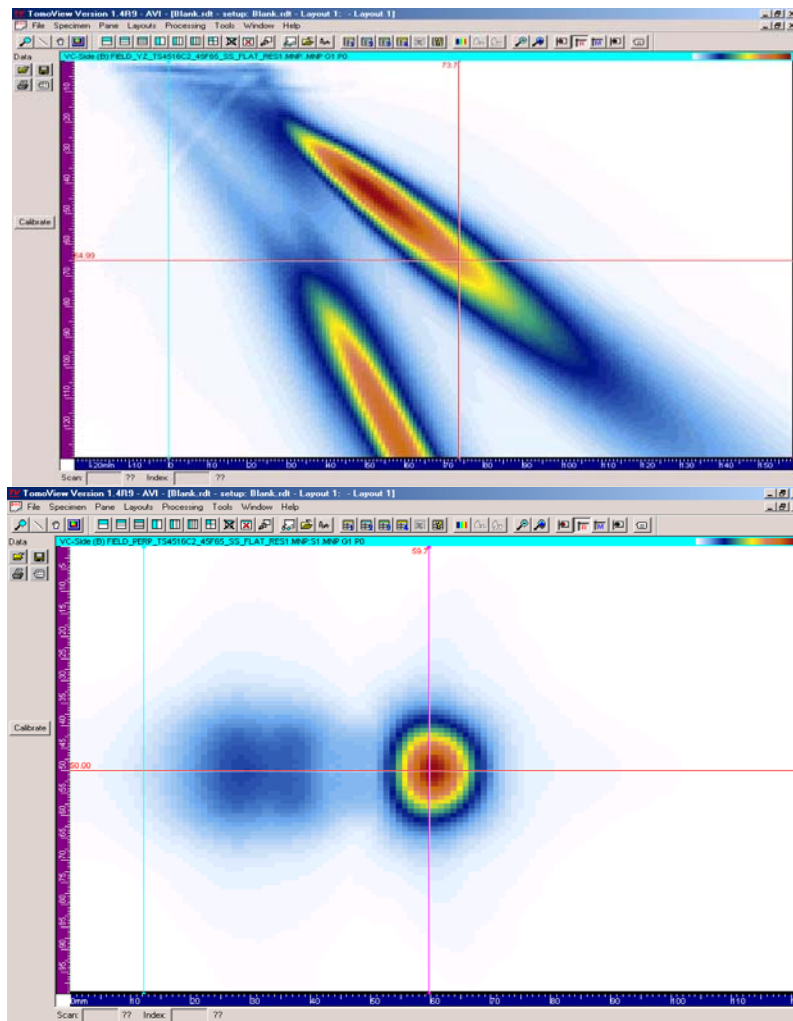


Figure 1

Un capteur TRLPA permet donc de générer une série de capteurs virtuels présentant chacun leur propre caractéristique d'angle, de sensibilité et de largeur de faisceau (réseau de courbes fig.1). Une conception optimisée des matrices piezocomposite 3D peut, par exemple, permettre d'inspecter, en un seul passage et avec une seule sonde, l'intégralité de l'épaisseur d'un composant, incluant la zone située au voisinage immédiat de la surface. La définition des caractéristiques électroacoustiques de ces capteurs fait appel à une méthodologie particulière basée sur des logiciels de simulations performants, visant notamment l'obtention de faisceaux exempts de lobes secondaires (lobes de réseau).

La figure 2 montre un exemple de simulation du faisceau d'une sonde de 1MHz conçue pour l'inspection de circuit primaire de centrale nucléaire à eau pressurisée. L'image du haut montre, dans le plan d'incidence, la présence des faisceaux correspondants aux ondes L et T; l'image du bas représente une coupe de ces faisceaux situés au maximum d'amplitude du faisceau d'ondes L. On peut y noter l'absence de lobes de réseau et la symétrie du faisceau.



*Type de capteur : TS45 1 6c2, 2x(3x11) éléments, Angle 0 à 65°, angle de déflexion latérale (skew)±15°, empreinte de la sonde 54x54 mm*  
*Application: circuits primaires de centrales à eau pressurisée, détection de fissures thermiques et de défauts de soudures*  
*Figure 2*

Les lois focales définissant les capteurs virtuels générés par un TRLPA sont calculées au moyen de logiciels spécialisés (SIMULPA, CIVA 7) ou d'une calculatrice spéciale intégrée au logiciel d'acquisition et d'analyse (Tomoview, Ultravision).

Deux aspects supplémentaires, facilitant la mise en œuvre, sont également pris en compte lors de la conception des TRLPA:

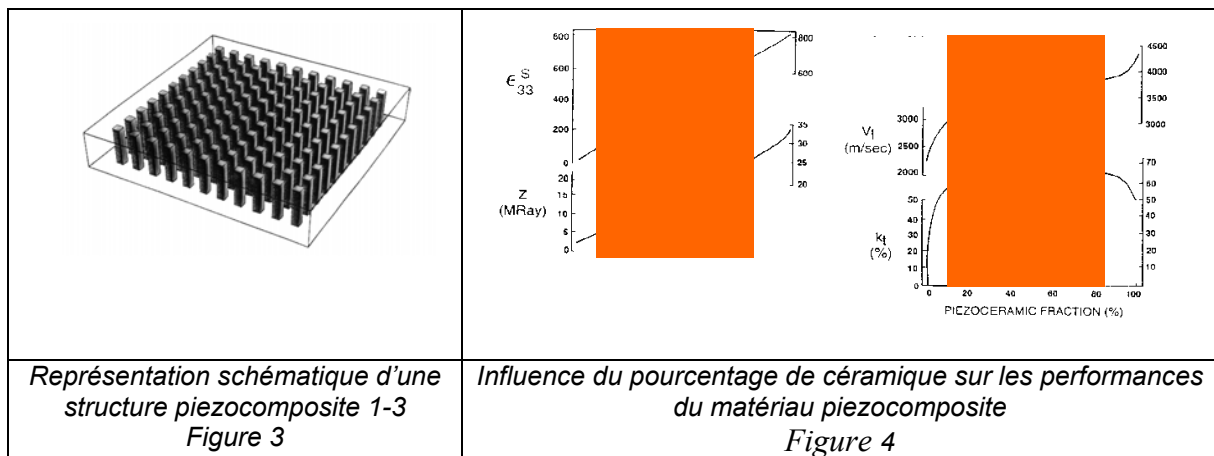
- la possibilité de générer (en complément à la gamme d'angle nécessaire à l'inspection proprement dite), des ondes L à 0° permettant de contrôler l'épaisseur et également de vérifier le bon couplage entre la sonde et le matériau ;
- la possibilité d'éviter la mise en forme des sabots couplés par flux d'eau sur des surfaces courbes (en prenant en compte l'effet du joint d'eau lors du calcul des lois focales).

## CONCEPTION ELECTROACOUSTIQUE

Les capteurs sont réalisés par Imasonic, sur la base de spécifications fournies par AVI. L'objectif de cette étape est de définir les différents composants qui seront utilisés pour la réalisation du capteur afin d'atteindre le niveau de performance nécessaire à l'inspection et définie lors de la phase précédente par AIB Vincotte.

L'influence des différents composants et matériaux sur les performances du capteur est simulée à l'aide de logiciels basée sur le modèle KLM, ou à l'aide de logiciels « éléments finis ». Les paramètres clés sont la réponse temporelle, la réponse spectrale, la sensibilité et l'impédance électrique.

La base de données sur les matériaux Piezocomposites d'IMASONIC, associée à l'utilisation de ces logiciels, permet une simulation précise et une bonne prévision des performances électroacoustiques [2].



La conception électroacoustique globale résulte de la conception des différents constituants des capteurs :

### Conception du matériau actif

Les performances attendues du matériau actif sont :

- Une large bande passante et un bon niveau de sensibilité, en raison de l'anisotropie et l'inhomogénéité des matériaux à inspecter.
- Un bon découplage inter-élément, afin d'éviter la présence de lobes secondaires et permettre la génération d'un faisceau précis.

L'utilisation de Piezocomposites permet d'améliorer l'ensemble de ces paramètres.

La structure piezocomposite est composée d'une plaque de céramique découpé sous forme matricielle, les plots de céramique ainsi formés sont ensuite noyés dans un polymère ( voir figure 3). Le type de céramique et de matériau polymère à utiliser sont choisis en fonction des caractéristiques électroacoustiques souhaitées.

L'une des caractéristiques de la structure piezocomposite 1-3 est la possibilité de changer le pourcentage de céramique en faisant varier le pas de découpe et donc la taille des différents plots. La figure 4 montre l'influence du pourcentage de céramique sur les performances électroacoustique :

- le coefficient de couplage  $k_t$  duquel dépend la sensibilité du réseau
- la constante diélectrique  $\epsilon_{33}$  de laquelle dépend l'impédance électrique
- l'impédance acoustique  $Z$
- la vitesse de propagation dans le matériau de laquelle dépend la fréquence (pour une épaisseur donnée).

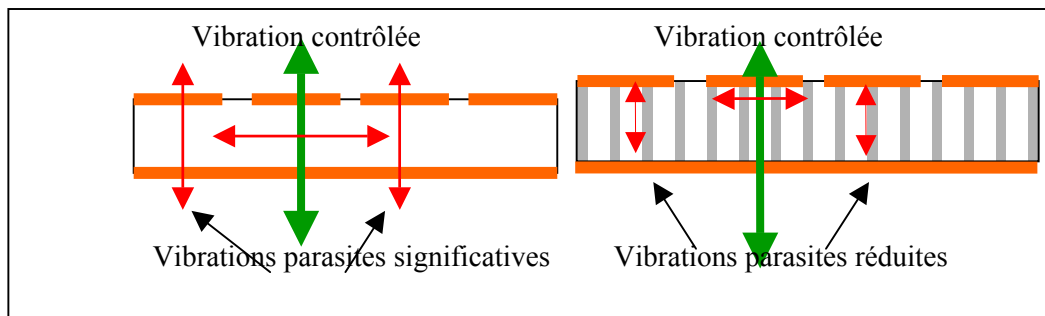
La variation du pourcentage de céramique modifie également les propriétés mécaniques du matériau.

Les plots de céramiques sont plus hauts qu'ils ne sont larges (dimensions latérales), ce qui favorise la vibration selon le mode de l'épaisseur au détriment du mode radial. Ce mode de vibration a pour conséquence une efficacité électroacoustique accrue qui se traduit par une forte sensibilité et un bon niveau de rapport signal / bruit.

Un matériau piezocomposite spécifique a été conçu et utilisé pour la réalisation des transducteurs TRLPA, les résultats obtenus en comparaison avec un capteur identique réalisé en céramique font apparaître un gain de sensibilité de l'ordre de +20dB à +25dB. Le piezocomposite permet également, en raison de son amortissement naturel, l'obtention de large bande passante (typiquement, pour ce type de capteur, entre 70 et 90% selon les spécifications).

Un autre avantage de l'utilisation de la structure composite 1-3 est la possibilité de former un faisceau beaucoup plus précis.

Les plots de céramiques sont isolés grâce au polymère, ce qui permet de réduire le mode de vibration transversal. Dans le cadre de capteurs Phased Array comme les TRLPA, cette diminution des vibrations transversales limite la propagation du signal provenant d'un élément à son voisin (voir figure 5). Le fonctionnement indépendant de chaque élément est fondamental dans la technologie Phased Array, où le faisceau formé résulte de la contribution de chaque élément auquel une loi de retard adapté est appliquée, le niveau de couplage obtenu entre deux éléments voisins est inférieur à -40dB.



*Comparaison du couplage inter élément entre une structure céramique et une structure piezocomposite*  
Figure 5:

### **Le matériau arrière (backing)**

Sa fonction est de diminuer le niveau de l'écho de fond de boîtier mais également d'amortir la longueur d'impulsion.

Comme les transducteurs TRLPA ont une géométrie spécifique et que la présence de sabots intégrés au boîtier diminue l'espace disponible, un backing spécifique a été développé permettant d'obtenir un bon niveau d'amortissement dans des dimensions réduites.

### **CARACTERISATION ET CONTROLE DE QUALITE**

Les transducteurs TRLPA sont généralement utilisés pour des inspections critiques dans des domaines d'activité sensibles et exigeants.

Pour assurer un niveau de qualité maximum de nombreux tests sont effectués à différentes étapes de la fabrication.

#### **Contrôles au cours de la fabrication**

L'un des points clés est la qualité des soudures. Un défaut sur une soudure peut endommager un ou plusieurs éléments. Selon l'emplacement de cette soudure, la réparation

peut être effectuée plus ou moins facilement. Afin d'éviter ce type de problème, chaque soudure est testée lors de la fabrication en appliquant une haute tension.

### Caractérisation finale

Les principaux paramètres vérifiés durant les contrôles finaux sont :

- la fréquence nominale (typiquement  $\pm 10\%$ ),
- la largeur de bande passante (typiquement de 70% à 90%),
- le couplage inter élément (typiquement  $< -30/-40\text{dB}$ ),
- l'homogénéité en sensibilité (typiquement  $< 3/4\text{dB}$ ),
- l'impédance électrique,
- l'ordre de câblage.

L'ordre de câblage se vérifie par un test spécifique aux TRLPA, utilisant la technique du « temps de vol » : les sabots utilisés présentant à la fois un angle d'incidence et un angle de toit, la distance entre deux éléments successifs pour une rangée donnée et une cible plane située sur la face avant du capteur croit régulièrement.

Le résultat de ce test est présenté sur un graphique en forme d'escalier, permettant facilement de s'apercevoir d'une erreur de câblage.

Exemple de rapport de mesures électro-acoustiques finales type (figure 6):

**Electroacoustic measurement for the XCR n°:** SN04506 **Operator :** JB  
*(Acoustic load: 1.5 MR. IMASONIC procedure: INP 413.)*

SIDE T					SIDE R				
#	Vpp (mV)	Fc (MHz)	Bw (%)	Lp -20dB (ns)	#	Vpp (mV)	Fc (MHz)	Bw (%)	Lp -20dB (ns)
1	209.4	1.48	79	1440	1	217.2	1.43	76	2230
2	217.2	1.50	75	1470	2	217.2	1.49	73	1500
3	226.6	1.51	74	1440	3	209.4	1.53	73	1890
4	212.5	1.49	77	1570	4	206.2	1.53	76	1990
5	207.8	1.49	79	1480	5	215.6	1.53	74	1890
6	206.2	1.48	77	1600	6	215.6	1.53	75	4700
7	206.2	1.44	74	1560	7	215.6	1.52	76	1930
8	223.4	1.48	76	1560	8	210.9	1.53	75	1920
9	215.6	1.50	77	1510	9	207.8	1.51	76	1890
10	229.7	1.48	75	1570	10	207.8	1.51	75	1530
11	214.1	1.49	78	1510	11	212.5	1.50	78	1890
12	237.5	1.48	78	1560	12	207.8	1.53	76	1490
13	221.9	1.49	75	1500	13	206.2	1.51	77	1530
14	240.6	1.48	78	1500	14	217.2	1.52	75	1510
15	221.9	1.47	77	1550	15	210.9	1.50	77	1520
16	228.1	1.48	79	1550	16	206.2	1.51	77	1530
17	210.9	1.46	75	1510	17	206.2	1.51	78	1570
18	218.7	1.50	81	1640	18	217.2	1.52	75	1850
19	220.3	1.50	78	2100	19	214.1	1.52	76	1590
20	210.9	1.50	83	2270	20	221.9	1.48	76	1890
21	264.1	1.52	73	1460	21	214.1	1.54	79	1580
22	264.1	1.52	76	1900	22	214.1	1.54	76	1510
23	221.9	1.49	76	1550	23	209.4	1.50	71	1890
24	235.9	1.53	73	1430	24	225.0	1.53	74	1880
25	215.6	1.48	71	1530	25	221.9	1.52	77	1900
26	262.5	1.47	74	1510	26	232.8	1.46	72	1950
27	210.9	1.50	75	1520	27	220.3	1.52	76	1920
28	225.0	1.49	77	1940	28	225.0	1.46	73	1940
29	220.3	1.49	74	1530	29	232.8	1.55	76	1830
30	243.8	1.49	76	1900	30	248.4	1.55	73	1910
31	203.1	1.49	69	1820	31	207.8	1.55	74	1880
32	203.1	1.45	70	1690	32	207.8	1.58	71	1870

	Vpp (mV)	Fc (MHz)	Bw (%)	Lp -20dB (ns)
Minimum :	203.1	1.43	69	1430
Maximum :	264.1	1.58	83	4700
Standard deviation :	14.04	0.03	2.51	432.05
Average values :	219.57	1.50	75.48	1743.28

Homogeneity in sensitivity (dB) : -2.28

Figure 6:

## APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES TRLPA A L'INSPECTION DES ACIERS AUSTENITIQUES

Pour un composant donné, comportant des défauts particuliers, une « application » se définit typiquement par « la mise en œuvre de **sondes dédiées**, selon une **procédure spécifique** ».

Pour toute application, la conception de la sonde dépend:

- *du composant*: son épaisseur, le matériau constitutif (acier moulé, forgé, soudures...), la géométrie, vont permettre de définir la fréquence maximale à utiliser ;
- *des défauts à détecter* : leurs formes, leurs positions en profondeur et leurs orientations (vis-à-vis du déplacement du transducteur) vont donner une première idée de la morphologie et des angles de faisceaux ;
- *de la procédure et de la technique de balayage à utiliser* : le déplacement maximal autorisé pour le capteur (déplacement manuel ou automatisé avec x degrés de liberté) ainsi que la méthode de dimensionnement requise, vont permettre de définir le **découpage de la matrice** (1D ou 2D selon la capacité souhaitée à réaliser un balayage sectoriel ou linéaire, ou de la déflexion), **l'ouverture active** (possibilité de focaliser) et enfin, **l'encombrement extérieur** du boîtier.

Le tableau suivant donne les caractéristiques principales de capteurs TRLPA capables de détecter et de caractériser des fissures par l'analyse des signaux de diffraction dans des soudures austénitiques et bimétalliques.

Epaisseur du composant (mm)	Type de composant	Fréq. (MHz)	Empreinte du sabot L x l (mm)	Nombre d'éléments	Nombre d'éléments permettant une déflexion latérale
Moins de 20	Soudures(pièces forgées)	2.25	14 x 24	/	2 x (4x8)
15 - 35	Soudures /safe end)	2.25	25x25	2 x (2 x 14)	2 x (3x11)
20 - 50	Soudures/safe end	2	34 x 34	2 x (2 x 16)	2 x (3x11)
30 - 70	Safe end (*)	1.5	54 x 54	2 x (2 x 16)	2 x (3x11)
70	Circuit primaire, pétrochimie. Réacteur (**)	1 or 1.5	54 x 54	2 x (2 x 11)	2 x (3x11)
90	Circuit primaire (pièces moulées)	>0.75	54 x 54	2 x (2 x 11)	2 x (3x11)

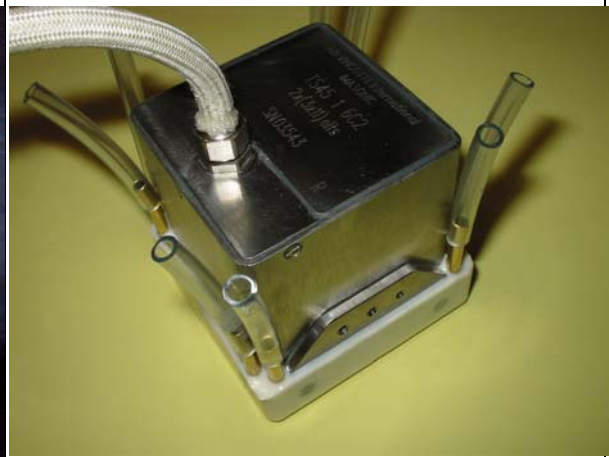
### Exemple 1 : Application sur un piquage de circuit primaire de centrale nucléaire à eau pressurisée (figure 7).

L'objectif est de détecter et dimensionner des fissures de fatigue thermique situées sur la surface intérieure d'une tuyauterie primaire, de direction radiale sous le piquage, et de directions axiale et circulaire, à plus ou moins 15 degrés, dans la zone adjacente. L'examen s'effectue par la surface extérieure, sous flux d'eau, au moyen de traducteurs TRLPA de 66 éléments tel qu'illustré à la figure 8. La matière de base est de l'acier inoxydable forgé, avec une soudure de liaison vers le piquage.

Les blocs de référence contiennent des entailles électro-érodées dans toutes les orientations (hauteur 2 à 25 mm), ainsi qu'une soudure représentative et une fissure de fatigue.



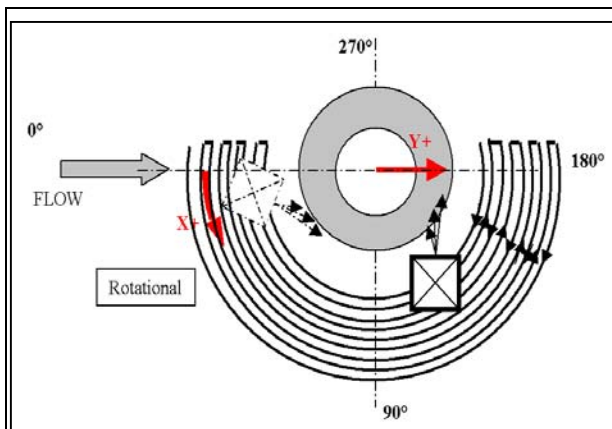
*Piquage sur circuit primaire  
Figure 7*



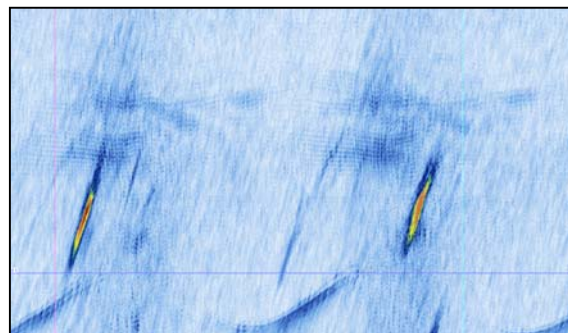
*Palpeurs 1MHz et 1.5 MHz,  
empreinte de sabot 54 x 54 mm,  
angles réfractés de 35 à 65,  
loi supplémentaire 0°L  
Figure 8*

Pour la détection des défauts radiaux, des balayages circulaires sont réalisés autour du piquage, en maintenant l'orientation relative du traducteur (figure 9). Pour se faire, un jeu de 12 lois focales est utilisé, avec de multiples angles de réfraction et de déflexion latérale ainsi que de nombreuses profondeurs focales. Le sabot est **plan** ; les perturbations dues aux « coins d'eau » sont peu importantes car la fréquence est basse et vu la prise en compte, lors du calcul des lois de retard, des caractéristiques du milieu intermédiaire constitué par l'eau (entre le sabot et la surface de la tuyauterie). Enfin une loi à 0° permet de vérifier la qualité du couplage.

Un exemple de détection est donné en figure 10: un rapport signal sur bruit de 20 à 25 dB est observé pour des entailles en peau interne de H10 x L60 mm.

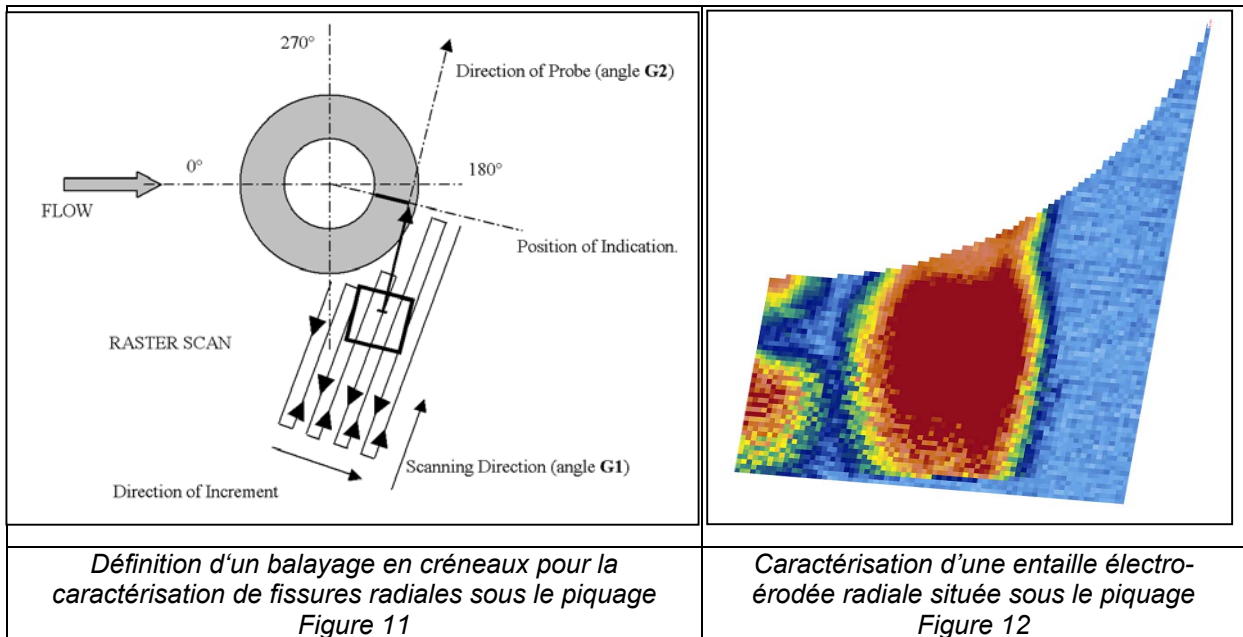


*Définition d'un balayage rotatif pour la détection  
de fissures radiales sous le piquage  
Figure 9*



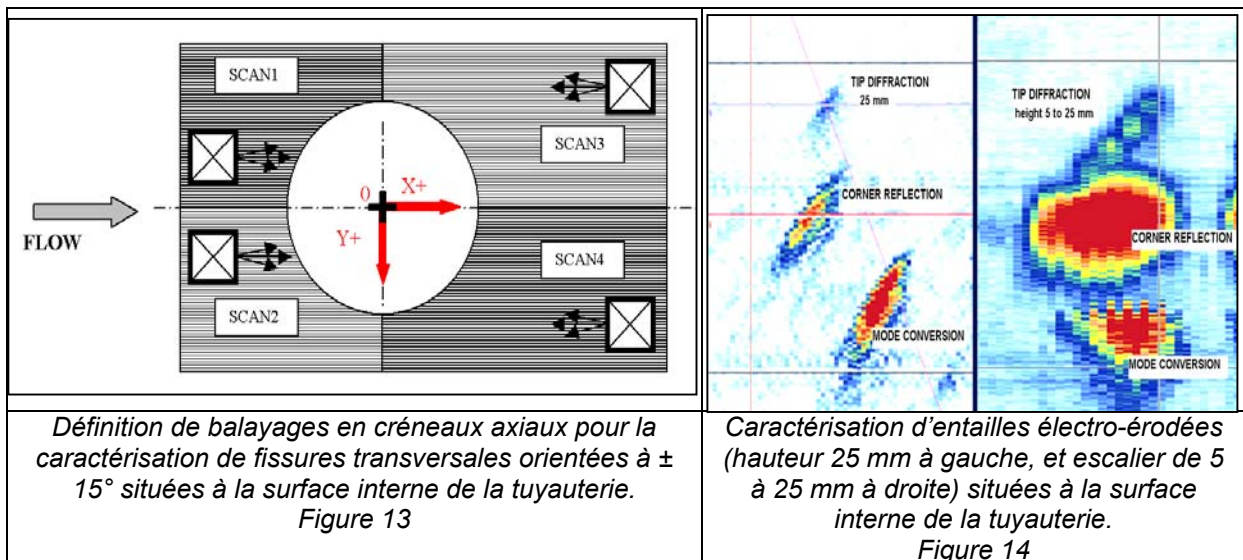
*Détection d'une entaille électro-érodée radiale  
située sous le piquage  
Figure 10*

Lorsqu'une fissure radiale est détectée, un balayage en créneaux (figure 11) est réalisé, en donnant au traducteur une orientation fixe optimale. Les lois focales sont alors adaptées à la courbure locale. La figure 12 donne l'exemple d'une entaille en peau interne de H10 x L60 mm, pour lequel un rapport signal sur bruit de 24 à 41 dB est typiquement observé



A la périphérie du piquage, des balayages axiaux (voir figure 13) et circonférentiels sont exécutés. Les sets comprennent 10 à 13 lois focales, dont les angles varient de 35 à 60 degrés, pour de déflexions latérales de -15 à +15 degrés; une loi à 0° permet de vérifier la qualité du couplage.

Un exemple de détection et caractérisation est donné figure 14: un rapport signal sur bruit de 16 à 43 dB est observé pour des entailles en peau interne de hauteur 5 à 25mm.



## Exemple 2 : inspection d'un SAFE END de cuve de réacteur nucléaire.

L'objectif est la détection et le dimensionnement de fissures situées entre la surface interne (ID) et la surface externe (OD), par un balayage en créneaux réalisé à partir de la surface interne grâce au capteur montré à la figure 15.



Type de capteur : TS55 1.5. 6C1, 2x(2x16) éléments, Angle 30 à 90°, foot print 54x54 mm  
Rodage de sabot : convexe

Figure 15

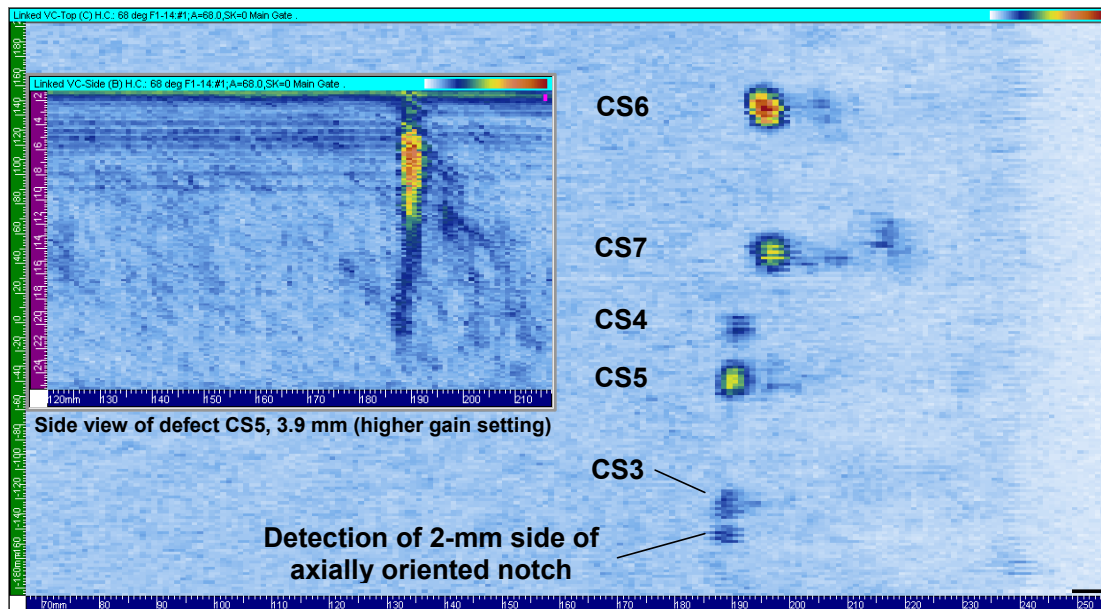


Figure 16

La capacité de détection de défauts circonférentiels situés sur la surface interne (et recherchés depuis la surface interne) est évaluée au moyen d'entailles électro-érodées. La figure 16 illustre les résultats obtenus sur des entailles large de 0.3 mm, longues de 25 mm, dont la hauteur s'échelonne de 1 (CS3) à 15.4 mm (CS7).

Le rapport signal sur bruit obtenu sur ces entailles représentatives est illustré à la figure 17.

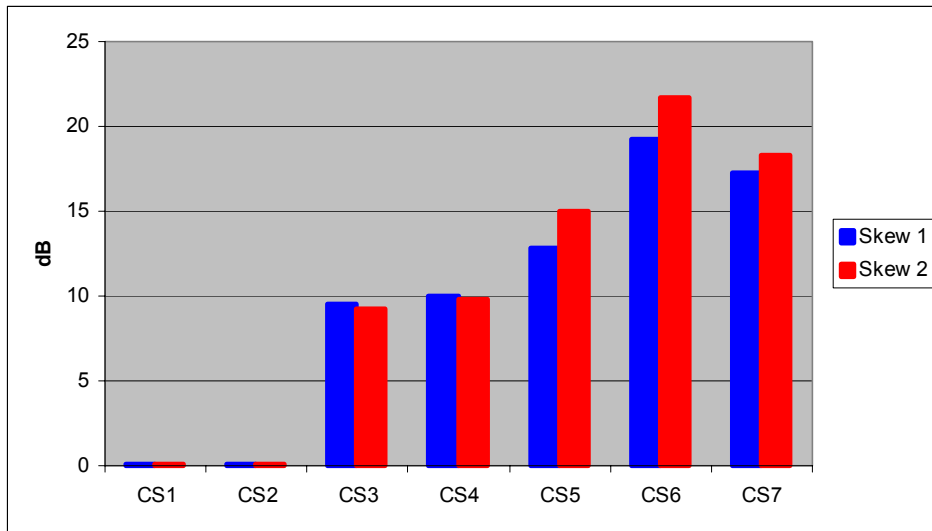


Figure 17

La capacité de détection de défauts circonférentiels situés sur la surface externe, également simulés par des entailles électro-érodées est montrée à la figure 18. Les échos de diffraction des sommets des entailles y sont indiqués (largeur des entailles=0.3mm, longueur=25mm, profondeur de 1mm à 15.4mm )

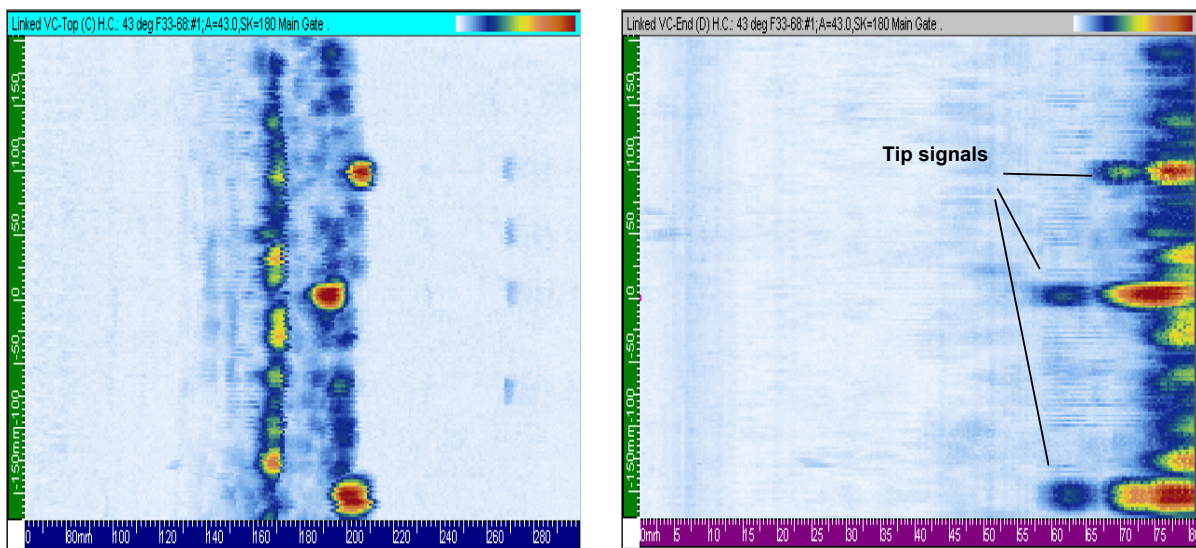
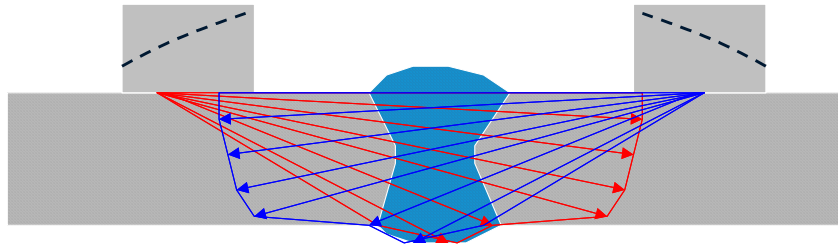


Figure 19

### Exemple 3 : inspection d'un « déméthaniseur ».

L'objectif est l'inspection, la plus rapide possible, selon le code ASMEBPV section VIII div.1, d'une soudure en X d'un déméthaniseur en acier inoxydable de nuance SA240 TP304. L'examen consiste en une seule ligne de balayage, semi automatisé, parallèle à la soudure, exécutée par un opérateur depuis la surface externe. Deux capteurs sont placés en vis à vis, de part et d'autre de la soudure, comme schématisé à la figure 19.



*Opération de balayage sur une ligne (déplacement le long de la soudure), volume couvert par 2 capteurs en vis à vis, la totalité du volume est inspecté en utilisant plusieurs lois focales*  
Figure 19

Tous les réflecteurs de calibration imposés par le code ASME (trous latéraux, entailles en peaux interne et externe) sont détectés. Les transducteurs TRLPA utilisés sont décrits à la figure 20.



*Type de capteur : TS45 1 6C1, 2x(2x11) éléments, Angle 30 à 85°, Empreinte 54x54 mm, 1MHz*  
Figure 20

Dans cet exemple, 100% du volume est ainsi inspecté en une seule opération.

La méthode permet de remplacer très avantageusement la radiographie, car elle

- ne nécessite pas d'arrêt de production (ou travail de nuit ou de week-end),
- se déroule beaucoup plus vite et sans précaution de sécurité particulière,

tout en offrant également une cartographie de la soudure et une meilleure capacité à détecter et caractériser les défauts plans fissurants.

Le résultat est une réduction de coût et une plus grande fiabilité d'inspection.

## **CONCLUSIONS**

Les capteurs piezocomposites TRLPA sont particulièrement bien adaptés à l'inspection de composants en acier inoxydable. Leur utilisation pour différentes applications industrielles et nucléaires a démontré leurs capacités de détection et de dimensionnement, supérieures à celles des capteurs Phased-Array linéaires traditionnels, et leur grande flexibilité de mise en œuvre par rapport aux capteurs TRL standards.

Les applications industrielles potentielles des TRLPA sont nombreuses, en raison de la réduction de coûts (gain de temps et possibilité de remplacer la radiographie) et des performances accrues par rapport aux techniques alternatives.

Dans un environnement nucléaire, les doses de radiation des opérateurs peuvent être considérablement réduites par l'utilisation de ces capteurs en raison du gain de temps de manipulation (un capteur TRLPA remplace en moyenne 3 TRL classiques).

## **REFERENCES**

[1] M. Delaide, G. Maes and D. Verspeelt, "Design and application of Low-Frequency, Twin Side-by-Side, Phased Array Transducers for Improved Ultrasonic Testing Capabilities on Cast Stainless Steel Components", 2nd Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for the Nuclear and Pressured Components, New Orleans, May 24-26, 2000.

[2] Ph. Dumas, G. Fleury and J. Pogue, " New piezocomposite transducers for Improvement of ultrasonic inspections", QNDE Conf, Bellingham, July 14-19, 2002