

# **La technologie piezocomposite : Une approche innovante pour développer les performances du C.N.D. par ultrasons**

Jérôme Poguet : Imasonic S.A.  
Gérard Fleury : Imasonic S.A.  
Jean Luc Guey : Imasonic S.A.  
Philippe Conche : Imasonic S.A.

## **Résumé**

Le besoin croissant de performances et d'adaptation à des conditions d'inspection particulières nécessite la mise au point de nouvelles technologies pour les capteurs ultrasons, parmi lesquelles la technologie piezocomposite 1-3.

Cette dernière met en œuvre des éléments piezoélectriques sous forme de composites formés de micro bâtonnets de céramique noyés dans une matrice de polymère.

La structure des matériaux piezocomposites ainsi que leurs caractéristiques électroacoustiques et mécaniques les plus intéressantes seront décrites.

Un certain nombre d'applications pouvant bénéficier de cette technologie seront également présentées. Ces applications mettent en œuvre une grande variété de types de capteurs dans une gamme de fréquence comprise entre 200 KHz et 20MHz, notamment des capteurs immersions bénéficiant de hautes performances électroacoustiques (sensibilité, rapport signal / bruit, amortissement..) , des capteurs focalisés à très haute résolution latérale, des capteurs haute température et des capteurs multi éléments ou phased array.

## **Introduction**

Les besoins croissants du contrôle non destructif par ultrasons, en terme de diminution des zones non contrôlées, de rapidité d'inspection et d'augmentation des performances de détection et de dimensionnement ont abouti ces dernières années à la mise au point de technologies de capteurs avancées telles que les capteurs phased array ou encore les capteurs de Fermat (à focalisation asphérique).

Ces dernières générations de capteurs sont basées sur une technologie clé pour la réalisation de leur module acoustique : la technologie piezocomposite 1-3

Les performances électroacoustiques de ces matériaux piezoélectriques, combinées à leurs propriétés mécaniques permettent l'amélioration de nombreux contrôles et la faisabilité de nouvelles inspections non réalisables avec des capteurs intégrant un élément piezoélectrique monolithique.

## **Les matériaux piezocomposites**

### *La Structure 1-3*

Les matériaux piezocomposites Imasonic ont une structure dite 1-3 telle que représentée sur la figure 1. Des bâtonnets de céramique piezoélectrique sont intégrés dans un matériau polymère. La céramique et la résine sont choisies en fonction des caractéristiques souhaitées pour le matériau composite. La géométrie de la microstructure elle même peut être adaptée.

### *L'ajustement du pourcentage de céramique*

L'une des caractéristiques de la structure 1-3 est le pourcentage de céramique. Il est possible de le faire varier en modifiant la taille des bâtonnets et leur espacement. La figure 2 montre l'influence de ce pourcentage de céramique sur les performances du piezocomposite que sont :

- Le coefficient de couplage  $k_t$  duquel dépend la sensibilité du capteur
- 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

Le pourcentage de céramique plus ou moins élevé confère également au matériau composite des propriétés mécaniques différentes

### *Les performances électroacoustiques*

La hauteur des bâtonnets de céramique, grande devant leurs dimensions latérales, favorise leur vibration selon le mode d'épaisseur au détriment du mode radial. Il en résulte un meilleur rendement électroacoustique qui se traduit au niveau du capteur par une forte sensibilité, et un rapport signal / bruit élevé. Par ailleurs, l'amortissement naturel des matériaux composites permet d'obtenir une bande passante relative de 60% à 90% tout en conservant un très bon niveau de sensibilité.

### *Les propriétés mécaniques*

Les propriétés mécaniques du polymère sont exploitées pour permettre la mise en forme des matériaux piezocomposites pour les transducteurs focalisés. La figure 3 montre un capteur large ouverture, dont la partie active est mise en forme convexe pour focaliser à travers la paroi cylindrique d'un alésage.

La structure 1-3 confère également aux composites une meilleure résistance aux chocs mécaniques et aux vibrations. Les coefficients de dilatation du polymère étant proches de ceux des autres constituants du transducteur (face avant, amortisseur..), il en résulte au niveau du capteur une meilleure tenue à la température et aux chocs thermiques.

## **Les capteurs immersion**

### *Adaptation acoustique à l'eau*

L'impédance acoustique des matériaux piezocomposites est variable, en moyenne de l'ordre de 11MR. Cette impédance, beaucoup plus faible que celle des céramiques, est beaucoup plus proche de celle de l'eau. Il en résulte un meilleur transfert de l'énergie, qui combiné au fort rendement électroacoustique donne une sensibilité supérieure de 10 à 32dB à celle obtenue avec des céramiques piezoélectriques monolithiques (1).

### *Focalisation par mise en forme*

La mise en forme de la partie active, schématisée sur la figure 4, permet de focaliser le faisceau sans avoir recours à une lentille atténuant et déformant le faisceau.

### *Focalisation asphérique*

La focalisation asphérique de la partie active permet à un capteur de focaliser en un point précis au cœur de la matière, avec un angle de réfraction donné, et à travers une interface de géométrie donnée. Chaque point de la partie active se trouve à un temps de vol identique du point de focalisation ; Elle est généralement combinée à une grande ouverture pour réaliser des capteurs à très forte résolution latérale et rapport signal bruit. Un comparatif est illustré figure 5.

## **Les capteurs haute température**

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, les propriétés mécaniques des matériaux piezocomposites permettent une meilleure résistance à la température et aux variations de température. On pourra citer les exemples :

- Mesure de débit dans du métal liquide jusqu'à 250°C
- Détection de givre sur les ailes d'avion de -55°C à +85°C avec des variations rapides
- Le contrôle en immersion de cuves à 180°C

## Les capteurs multi-éléments ou phased array

### *Couplage inter éléments*

Dans la structure composite 1-3, l'isolement des bâtonnets dans un matériau polymère permet de couper la propagation transversale des vibrations. Dans le cadre de capteurs phased array, cette réduction des vibrations transversales limite la propagation des signaux d'un élément vers ses voisins (voir figure 6). Cette indépendance de fonctionnement de chaque voie est fondamentale pour la technologie phased array qui base la formation du faisceau sur un pilotage de chaque élément des transducteurs avec des retards électroniques précis (2).

Le niveau de couplage entre deux éléments voisins est grâce à cette technologie inférieur à -40dB

### Exemples d'applications

#### *Contrôle de pieds d'ailettes et de rotors*

Cette inspection réalisée à l'aide de différentes sondes phased array miniatures dont l'une est présentée sur la figure 7 à permis d'inspecter de nombreuses zones jusqu'alors non contrôlées.

L'utilisation de la technologie phased array a permis d'éviter l'utilisation de sabots pour défléchir le faisceau, et ainsi de contrôler à partir d'espaces restreints inaccessibles avec d'autres techniques. Les performances électroacoustiques des sondes ont par ailleurs permis d'augmenter la profondeur de détection et la précision de dimensionnement (3).

#### *Contrôle de tubes de générateurs de vapeur par l'intérieur*

Les tubes de générateur de la centrale nucléaire Superphœnix ont été contrôlés par l'intérieur grâce à des sondes phased array circulaires schématisées sur la figure 8.

La technologie phased array a ici permis d'obtenir la vitesse de contrôle nécessaire. La partie active, formée de 80 éléments à par ailleurs été focalisée par mise en forme pour obtenir les caractéristiques de faisceau souhaitées (4).

#### *Contrôle matériaux composites et pièces forgées*

Ces deux types de contrôle nécessitent des capteurs immersion à très haute sensibilité, à très fort rapport signal / bruit et avec un profil de faisceau parfaitement maîtrisé.

De part ses performances, La technologie piezocomposite est naturellement adaptée à ce type de contrôle.

#### *Contrôle de billettes de titane*

Les billettes de titane sont inspectées avec des capteurs de FERMAT (capteurs à focalisation asphérique). Ces capteurs permettent d'obtenir un très bonne résolution latérale à de grandes profondeurs grâce à leur large ouverture active, à la focalisation due à la mise en forme de leur partie active, ainsi qu'aux performances électroacoustiques des piezocomposites

Cette technologie peut être combinée à la technologie phased array sous forme de matrices permettant de piloter le faisceau en 3D et ainsi accroître la précision du contrôle (5) (voir figure 9).

### Conclusion

La technologie piezocomposite 1-3 Imasonic permet l'amélioration notable des performances de nombreuses inspection sur les points suivants

- Rapport signal / bruit, sensibilité
- Résolution, bande passante
- Flexibilité, rapidité

Elle autorise également la faisabilité de certains contrôles

- Contrôle de pièces complexes
- Contrôles avec des contraintes environnementales fortes (température, pression, radiations..)
- Contrôle en environnement industriel difficile (Vibrations, agents chimiques polluants..)

### Références

- (1) G.Fleury, C.Gondard, " Improvements of Ultrasonic Inspections through the use of Piezo Composite Transducers", *Proc. Of 6th European Conference on non destructive testing* (1994)

- (2) J.Poguet, L.Chupin, Ph.Gendreu, O.Roy, S.Mahaut “ Contrôle ultrasonore au moyen de traducteurs multi-éléments : design et applications”, *dans ce volume*
- (3) P.Ciorau, J.Poguet, G.Fleury, «Special linear phased array probes used for ultrasonic examination of complex turbine components », *Proc. Of 15th WCNDT (2000)*
- (4) J.Poguet, G.Fleury,O.Burat, G.Moreau “Circular phased array probes for inspection of Superphoenix steam generator tubes” *Proc. Of EPRI Phased Array inspection seminar (1998)*
- (5) M.Fink, N.Chakroun, F.Wu, L.Beffy, G.Mangenet, « Application of ultrasonic time reversal mirrors to non destructive testing » *Procs Of 6<sup>th</sup> european Conference on NDT (1994)*

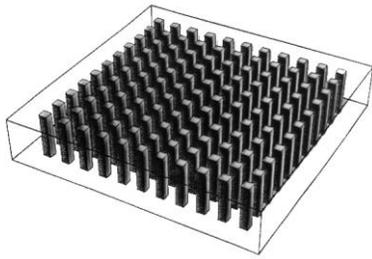


Figure 1 : représentation schématique de la structure piezocomposite 1-3

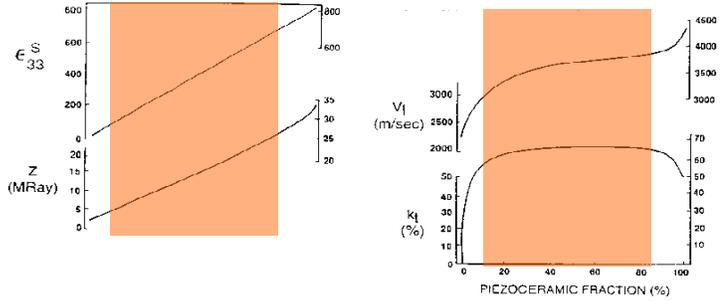


Figure 2 : Influence du pourcentage de céramique sur les performances des matériaux piezocomposites



Figure 3 : Exemple de capteur large ouverture (100mm) avec mise en forme de la partie active

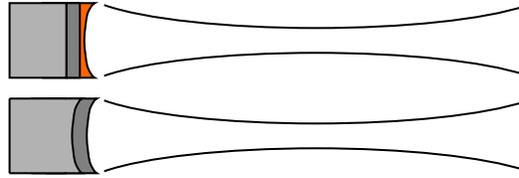


Figure 4 : Comparaison d'une focalisation avec lentille et d'une focalisation avec mise en forme de la partie active

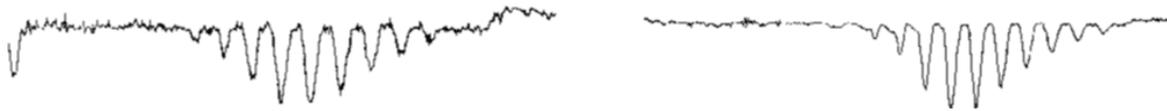


Figure 5 : Comparatif entre

- Un capteur piezocéramique avec lentille de focalisation : Rapport S/B 20 dB – Résolution latérale 6.5 mm
- Un capteur piezocomposite avec focalisation asphérique : Rapport S/B 38 dB – Résolution latérale 4.5 mm

Figure 6 : représentation schématique de la réduction du couplage inter éléments dans les matériaux piezocomposite 1-3 par rapport aux céramiques monolithiques

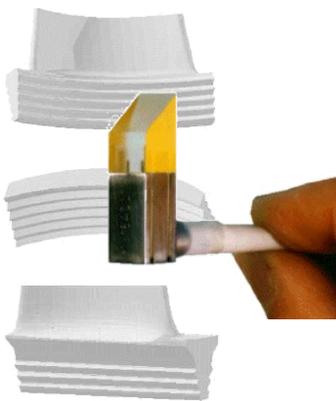
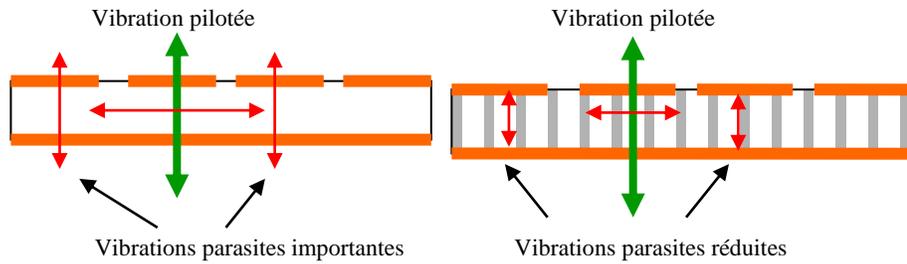


Figure 7 : Sonde miniature pour le contrôle de pieds d'ailettes

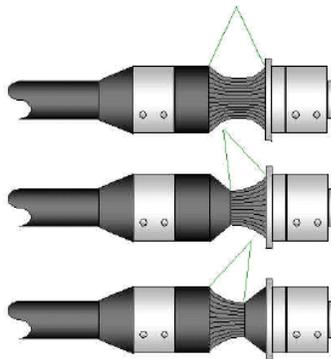


Figure 8 : Vue schématique des têtes de sondes phased array 80 voies focalisées utilisées pour le contrôle de tubes de générateur de vapeur

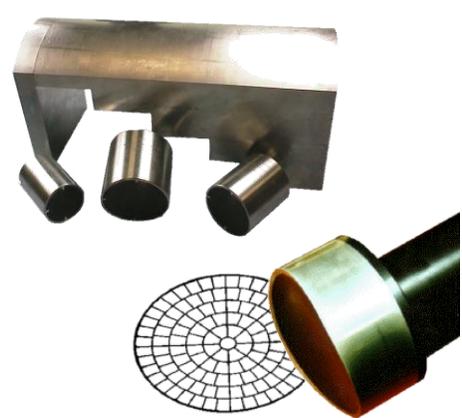


Figure 9 : Lot de capteurs mono-éléments et capteur matriciel de FERMAT pour le contrôle de billettes de titane