

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

## CAPTEURS DE PRESSION POUR LE CONTRÔLE DE GÉNÉRATEURS D'ONDES DE CHOC ÉLECTROHYDRAULIQUE

J. L. MESTAS et D. CATHIGNOL

INSERM U.281, 151 crs Albert Thomas, F-69003 Lyon, France

**Résumé** - La mesure de l'onde de pression acoustique et la détermination du diagramme de rayonnement sont deux éléments essentiels à la caractérisation des générateurs électrohydrauliques employés en lithotritie extracorporelle. Ces types de générateurs délivrent des pressions brèves à valeurs maximales élevées (20 à 100 MPa) dont les écarts types sont voisins de 33 %. Les capteurs existants sont peu résistants à l'application d'un grand nombre de choc.

Nous proposons un capteur, construit autour d'un film piézo-électrique de type PVDF de 25 µm d'épaisseur protégé par son inclusion dans une résine époxyde d'impédance acoustique voisine. Les essais en durée de vie montrent une tenue à plus de 20.000 chocs sans détérioration macroscopique ni perte de sensibilité du capteur.

**Abstract** - The shock wave measurement and the determination of the focal beam areas are the two most significant points which characterize electrohydraulic generator in extracorporeal lithotripsy. These generators give acoustic impulse pressure with maximum pic values of 20 to 100 MPa (the standard deviation is 33 %). The existing probes are easily damaged with shock wave applications.

We propose a new piezo-electric probe built with a 25 µm PVDF film embodied in an epoxy resin with the same impedance. No sensibility change and no macroscopic damage occurred after 20.000 shocks.

### 1 - INTRODUCTION

La génération d'ondes de choc est réalisée par la décharge instantanée d'un condensateur entre deux électrodes centrées au foyer interne d'un réflecteur métallique ellipsoïdal dans l'eau. Le liquide inter-électrode est alors brusquement vaporisé et donne naissance à une onde de pression quasi-sphérique à front raide. La réflexion de cette onde sphérique sur la paroi ellipsoïdale est la source d'une onde partiellement sphérique centrée au foyer externe du réflecteur. En lithotritie extracorporelle, le foyer externe du réflecteur est ajusté sur les calculs à détruire (calculs biliaires, rénaux, urétéraux, vésicaux, ...) et l'application de chocs successifs permet de désintégrer les lithiases in situ.

La caractérisation acoustique des générateurs électrohydrauliques est utile à la connaissance du champ de pression dans la zone focale et est nécessaire à l'amélioration des paramètres des générateurs. Sur les éclateurs actuels, un minimum de 1000 points de mesure, moyennés sur 30 à 100 chocs, sont nécessaires à l'établissement d'un diagramme de rayonnement succinct. Les capteurs existants sont peu résistants à l'application d'un grand nombre de chocs et un seul élément de mesure ne suffit pas à la détermination de ces caractéristiques.

Le domaine de l'imagerie ultrasonore médicale emploie des capteurs de pression dynamique pour la caractérisation spatiale et temporelle des éléments piézo-électriques hautes fréquences (0.5 à 20 MHz). Les amplitudes des pressions relevées restent relativement faibles et le phénomène de non-linéarité du milieu n'intervient pas sur la propagation de l'onde. Les capteurs, les plus utilisés, sont construits autour d'un film PVDF (Poly Fluorure De Vinylidène) soit sous forme de membrane /1/, soit sous forme d'aiguille /2/.

Par contre en lithotritie extracorporelle, la géométrie très focalisante du réflecteur et l'amplitude des pressions employées entraînent une distorsion progressive de l'onde focalisée /3/. Les capteurs employés sont les mêmes qu'en petits signaux et sont très fragiles aux effets combinés des chocs et de la cavitation /4/. Des capteurs spécifiques pour la mesure d'ondes de choc ont été réalisés /5,6/ et restent fragiles à l'application d'un grand nombre de chocs. Tous les capteurs existants ne délivrent pas une image réelle de l'onde de pression focalisée et en particulier, du front d'onde et de l'amplitude maximale (dû à leurs directivités propres)/7/.

### 2 - MATERIEL ET METHODE

\* Réalisation technique du capteur.

L'élément sensible en PVDF de diamètre 2 mm est appliqué sur un support en résine époxyde et est connecté à l'extrémité d'un câble coaxial. L'ensemble est inséré dans un fourreau utilisé comme habitacle étanche pour le moulage final, comme surface de référence pour l'ajustement de la lame de protection avant et comme blindage au rayonnement électro-magnétique du générateur. Le support et la lame de protection avant sont constitués de la même résine dont l'impédance est voisine de l'élément sensible. Le capteur résultant est parfaitement protégé aux chocs au détriment de certaines de ses caractéristiques propres.

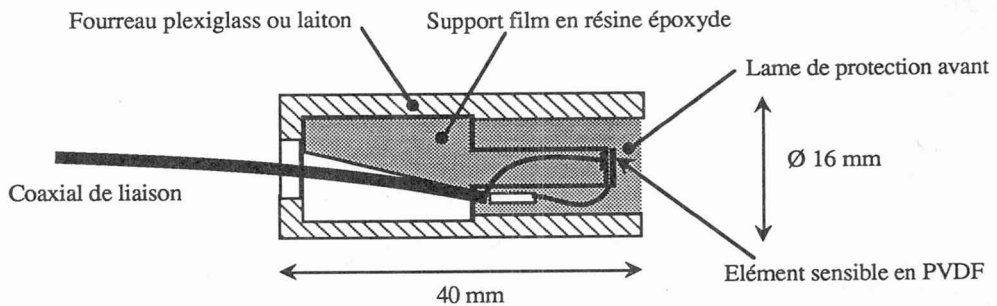


Figure 1: schéma de réalisation du capteur protégé.

\* Caractéristiques du capteur:

- sensibilité et bande passante.

Ces caractéristiques sont déterminées suivant la méthode préconisée par J.C. BABOUX /8/. L'observation de la figure 2 montre une décroissance continue de la réponse en fonction de la fréquence. La fréquence de coupure haute, déterminée à -3 dB, se situe entre 7 et 10 MHz. La sensibilité se déduit directement de l'ordonnée de la courbe sachant que la pression de référence est de 1 V/Pa soit pour 1 MHz : 0,355 V/MPa

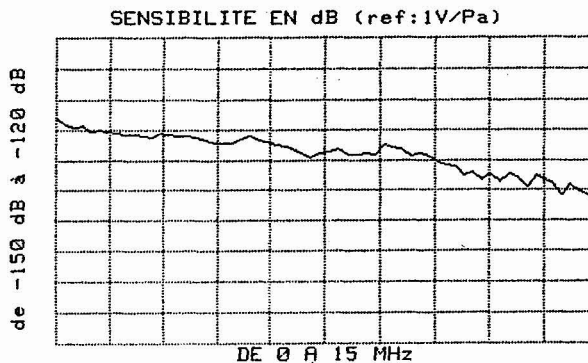


Figure 2 : Réponse fréquentielle du capteur connecté sur une impédance de 1 M $\Omega$  et 15 pF en parallèle.

- Directivité (figure 3).

Pour déterminer le diagramme de directivité du capteur, une source piézo-électrique plane est excitée à sa fréquence de résonance propre par des trains de sinusoïdes. Le capteur, placé à une distance de 45 mm de la source, est orienté dans une plage de 180° autour d'un axe principal parallèle à la direction de propagation des ondes planes générées.

- Durée de vie (figure 4).

Le capteur est placé au point focal géométrique du réflecteur ellipsoïdal d'un lithotriteur SONOLITH 2000 (1). Les réglages du générateurs sont similaires à ceux utilisés pour le traitement des calculs rénaux. Tous les 1000 chocs, le capteur est placé sur un banc de test composé d'une source ultrasonore focalisée de 1 MHz et excitée par un front de tension de 3000 V. Ce capteur est placé à une distance précise de 160 mm de la source dont le diamètre est 50 mm. Tous les 1000 chocs, la réponse de la source est enregistrée dans le but d'étudier l'évolution des caractéristiques du capteur.

(1) Technomed International 11 rue Leblanc 75015 Paris

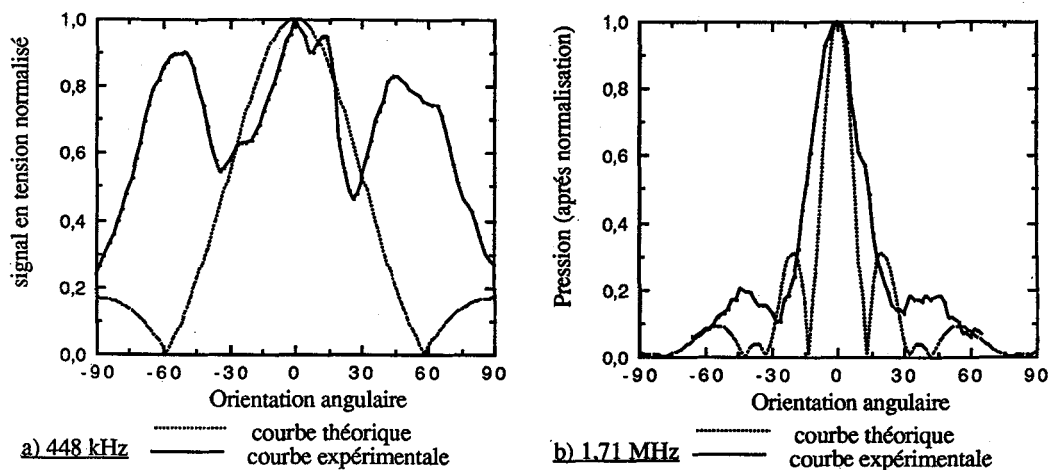


Figure 3 : diagramme de directivité du capteur à a) 448 kHz et b) 1,71 MHz

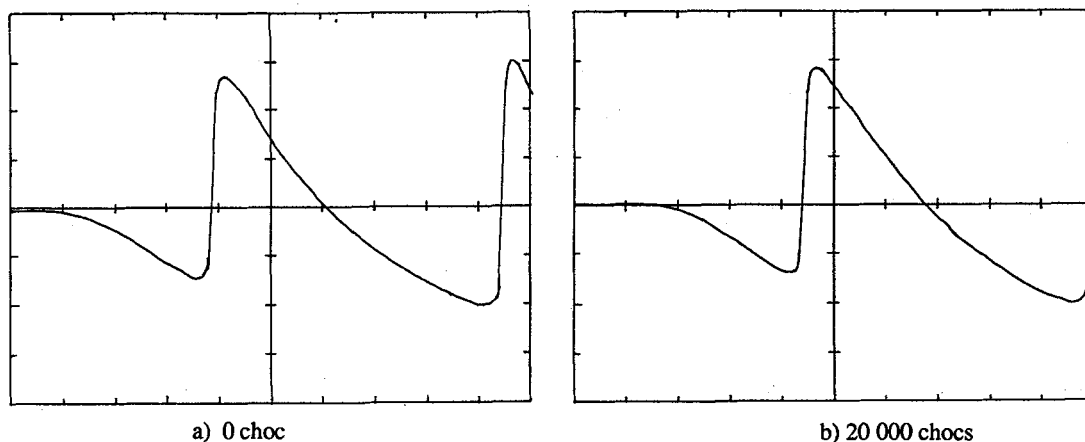


Figure 4 : Signal en tension enregistré à a) 0 choc et b) 20 000 chocs.  
(Abscisse: 200 ns/div; Ordonnée: 1 V/div)

### 3 - DISCUSSION

#### \* Caractéristiques fréquentielles.

La sensibilité des capteurs, à base de PVDF non protégés, est relativement constante en fonction de la fréquence /2/. Toutefois, la réponse fréquentielle, de ces capteurs, présente une augmentation sensible de valeur (2 à 3 dB) au voisinage de 1 MHz. Ces capteurs font, de plus, apparaître des sur-oscillations sur les réponses à des sources d'excitations dont la fréquence est égale ou supérieure à leurs fréquences de résonance propres.

La réponse fréquentielle, du capteur protégé de notre conception, (figure 2) ne présente aucune augmentation locale de sensibilité en basses fréquences. De plus, aucun "overshoot" n'apparaît lorsque l'onde acoustique mesurée comporte des composantes hautes fréquences (figure 4). La lame de protection joue ainsi le rôle de filtre passe bas en atténuant fortement les hautes fréquences d'excitations. Les signaux électriques, délivrés par ce capteur, donnent malgré tout d'excellentes images des fronts de choc, observées figure 4, où les temps de montée sont voisins de 30 ns.

\* Directivité.

La figure 2 a) montre l'importance des lobes latéraux nettement supérieurs à ceux attendus. Ces lobes ne constituent pas une gêne, à cette fréquence, pour la mesure de pression sur les générateurs électrohydrauliques d'aujourd'hui dont les angles d'ouverture fluctuent entre +/- 40° et +/- 45°. Cependant les signaux de pressions portent des fréquences supérieures à 0,5 Mhz et le diagramme très ouvert à 448 kHz (figure 2 a) se ferme pour ne donner qu'une zone angulaire d'observation de +/- 10° à -3 dB proche du diagramme théorique à 1,71 MHz (figure 2 b). Le capteur est alors très directif et délivre un signal qui correspond à une image déformée et partielle de la pression réelle appliquée. Son diagramme de directivité peut être amélioré par la réduction de la taille de l'élément sensible. Il est techniquement possible de réaliser le même montage autour d'éléments sensible de diamètres 1 mm ou 0,5 mm. Cependant, le capteur, même de petite taille sensible, n'ouvrira pas suffisamment son champ d'exploration pour réaliser une mesure réelle de la pression au point focal des générateurs à grandes ouvertures. L'élément sensible, dont le diamètre est 2 mm, est choisi initialement pour intégrer partiellement les ondes de choc focalisées et réduire la dispersion possible due au écart de positionnement du point d'éclatement /9/.

\* Durée de vie.

Les maximums de pression, enregistrés avec ce capteur, fluctuent entre 20 et 50 MPa. La moyenne des pressions relevées est de 35 MPa avec un écart type de 25%. Les résultats, donnés figure 4, sont très éloquents. Le capteur est totalement insensible aux effets cumulés des chocs et de la cavitation dans les conditions de traitement habituelle des calculs urinaires. Lorsque l'énergie est fortement augmentée, il peut apparaître une érosion progressive de la lame de protection qu'il est facile de réduire par un courant d'eau sur la surface sensible du capteur.

#### 4 - CONCLUSION

Un montage relativement simple d'un film sensible en PVDF apporte un moyen de contrôle suffisant et satisfaisant des générateurs en lithotritie extracorporelle. Il correspond à un composant de faible encombrement et de fragilité moindre que tout autre capteur de même fonction.

Son diagramme de directivité peut être amélioré par la réduction de la taille de l'élément sensible. Il est techniquement possible de réaliser le même montage autour d'éléments sensible de diamètres 1 mm ou 0,5 mm. Cependant, le capteur même de petite taille sensible n'ouvrira pas suffisamment son champ d'exploration pour donner une image correcte de la pression réelle au point focal des générateurs à grandes ouvertures.

Ce capteur, facile d'emploi, sera utilisé pour le contrôle du bon fonctionnement des générateurs électrohydrauliques SONOLITH 2000 et 3000 sur leurs sites d'exploitations.

- /1/ - BACON, D.R., Ultrasonics symposium proceedings, november (1980) 582-585.
- /2/ - LEWIN, P.A., Ultrasonics, september (1981) 213-216.
- /3/ - COLEMAN, A.J., SAUNDERS, J.E., Lithotripsy II ISBN 1 870761 014 (1987) 121-131.
- /4/ - COLEMAN, A.J., SAUNDERS, J.E., CRUM, A.J., DYSON, M., Ultrasound in Med. & Biol. **13**(2) (1987) 69-76.
- /5/ - HEINE, G., Ferroelectrics, **75** (1987) 357-361.
- /6/ - MULLER, M., PLATTE, M., Acustica **58** (1985) 215-222.
- /7/ - SHOMBERT, D.G., SMITH, S.W., HARRIS, G.R., Med. Phys. **9**(2) (1982) 484-492.
- /8/ - BABOUX, J.C., DJELOUAH, H., PERDRIX, M., IEEE Ultrasonics symposium (1988) 857- 861.
- /9/ - MESTAS, J.L., thèse DI n° IDI1 8214 (1982)