

Résumé :

Dans une multitude d'applications ultrasonores, particulièrement dans le domaine du diagnostic médical, les capteurs conventionnels et en particulier les hydrophones piézo-électriques ne satisfont pas les conditions requises pour un «détecteur ponctuel». En raison de leur taille finie, ces capteurs fournissent une valeur moyenne sur leur surface réceptrice de la grandeur acoustique mesurée. La réduction de cette taille étant techniquement difficile, il devient nécessaire de développer des méthodes qui permettent de reconstruire le champ ultrasonore à partir des valeurs moyennées pour atteindre ainsi la résolution spatiale souhaitée.

Dans ce travail, cette tâche est traitée comme un problème inverse. Dans la partie théorique, nous montrons, à l'aide de simulations, qu'il est possible d'inverser les effets d'ouverture du transducteur récepteur à l'aide de méthodes de reconstruction appropriées. Trois méthodes sont examinées: (1) la méthode de Wiener fournit la meilleure approximation du champ à reconstruire au sens de l'erreur quadratique moyenne minimale (EQMM). (2) La méthode d'égalisation des spectres de puissance (ESP) est basée sur l'égalisation entre la densité spectrale de puissance (DSP) spatiale du champ à reconstruire et celle de sa valeur estimée. (3) Avec la méthode du maximum *a-posteriori* (MAP), la fonction de la densité de probabilité (*fdp a-posteriori*) maximale du champ reconstruit est recherchée. Les résultats de cette étude montrent que la qualité de la reconstruction dépend fortement du rapport signal sur bruit (SNR) et de la largeur de bande des fréquences spatiales du champ étudié.

La vérification des résultats de la simulation a été effectuée à 2,25 MHz. A cette fréquence, des hydrophones de petite taille peuvent fournir une mesure de référence. Afin de tester les différentes procédures de reconstruction développées, des hydrophones à membrane en PVDF de géométrie et de dimensions variées ont été réalisés. Leur fonction de transfert a été examinée par diverses méthodes. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque cette fonction est déduite du spectre spatial du signal mesuré. Nous montrons que, pour des hydrophones à ouverture rectangulaire et circulaire, toutes les techniques examinées sont en mesure de reconstruire le champ ultrasonore sous des conditions optimisées.

En outre, les investigations expérimentales confirment la dépendance de la qualité de la reconstruction de la largeur de bande des fréquences spatiales du champ ultrasonore étudié. Les résultats pour la méthode ESP sont toutefois légèrement moins performants que ceux obtenus par les méthodes de Wiener et MAP. Il est à noter que, bien que la fréquence de travail utilisée dans ces expériences soit plutôt basse, les paramètres de l'hydrophone choisis, en particulier le rapport de ses dimensions à la longueur d'onde (≈ 16), et les conditions de mesure permettent d'étendre les résultats obtenus au domaine des fréquences plus élevées.

Pour l'évaluation de la précision des méthodes développées, la propagation des incertitudes à travers le processus de reconstruction est étudiée en utilisant une méthode de simulation Monte Carlo. Pour le cas critique d'un plan transversal du champ proche, l'incertitude globale relative du résultat de la reconstruction (influences systématiques et stochastiques) est inférieur à $\pm 10\%$ pour l'amplitude et à 30° pour la phase (niveau de confiance 95%). Les incertitudes de cette méthode nouvellement développée se situent ainsi dans un intervalle qui est acceptable dans le domaine de la métrologie ultrasonore.