ANTENNE ULTRASONORE À FOCALISATION

M.-F. Dandine, R. Barriol

► To cite this version:

M.-F. Dandine, R. Barriol. ANTENNE ULTRASONORE À FOCALISATION. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-919-C1-922. 10.1051/jp4:19921201 . jpa-00251167

HAL Id: jpa-00251167

<https://hal.science/jpa-00251167>

Submitted on 1 Jan 1992

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANTENNE ULTRASONORE À FOCALISATION

M.-F. DANDINE et R. BARRIOL*

*E.N.S.A.M., 2 Bd Ronceray, BP. 3525, F-49035 Angers, France***L.M.A.I., Université de Perpignan, Av. de Villeneuve, F-66860 Perpignan, France*

ABSTRACT. - A theoretical study about the operating optimization of a focusing submarine array prototype allowed us to get better results but also establish a general rule of operating and have a geometrical apprehension of it. Later on, the carrying out of the geometrical optimization resulted in a new prototype, which proved to be very performing in the field of axial and lateral responses. Finally, a study of similarity enabled us to build a homologous model in the aerial field; the experimentation confirmed the key points of the theory.

1. DESCRIPTION DU PROTOTYPE.

Le prototype construit et mis au point dans nos laboratoires est de géométrie et de fonctionnement similaires à celui réalisé par SHIBATTA (1). La différence réside dans le fait que celui-ci possède une couronne supplémentaire pour le fonctionnement en émission.

L'étude présentée a été effectuée dans le cadre d'un programme de recherche qui visait à la reconnaissance des objets enfouis dans les sédiments marins (2). Le principe d'antennerie s'imposait; traitement focal en employant l'échographie en mode C pour reproduire l'image (3).

L'antenne comporte, disposés dans un même plan, sur quatre couronnes concentriques, de rayons respectifs: 0,125; 0,180; 0,300 et 0,500m, et selon huit rayons équidistribués:

- 32 transducteurs pour l'émission,
- 24 transducteurs pour la réception (sur les trois couronnes extérieures).

La fréquence de fonctionnement retenue est 46KHz; la focalisation est obtenue par commande des phases φ_i des différentes couronnes par un micro-ordinateur.

Les chercheurs du LMAI (2) ont, dans un premier temps déterminé les déphasages à partir d'un modèle géométrique (M.I), mais du fait de son manque de réalité physique, il n'a pas été obtenu de résultat significatif. Ensuite a été établi un modèle d'acoustique physique (M.II), où les déphasages ont été déterminés ponctuellement par balayage informatique; des résultats corrects ont été obtenus dans le cas d'un seul milieu, mais les expériences avec passage d'un interface eau-sédiment n'ont pas donné jusqu'à présent de résultats.

Pour toutes ces raisons, il s'est avéré nécessaire d'étudier l'optimisation de fonctionnement de ce prototype, ainsi que son optimisation géométrique (4).

2. OPTIMISATION DE FONCTIONNEMENT.

Les lois de l'acoustique linéaire appliquées à la géométrie de l'antenne impliquent que la modulation de pression sur l'axe de l'antenne soit fonction des:

- Niveaux d'émission A des transducteurs,

- Phases relatives φ des différentes couronnes (indicées i),
- Rayons a des couronnes,
- Distances r d'un transducteur à un point de l'axe de l'antenne.

Dans un premier temps, l'étude effectuée dans un milieu homogène isotrope et en émission conduit, pour le carré de l'amplitude de modulation de pression P_x à:

$$P_x^2 = \left(\sum_i A_i \cdot r_i^{-1} \cdot \cos \alpha_i \right)^2 + \left(\sum_i A_i \cdot r_i^{-1} \cdot \sin \alpha_i \right)^2 \quad \text{avec: } \alpha_i = k \cdot r_i - \varphi_i$$

Le calcul analytique d'optimisation aboutit aux conditions suivantes:

- Une condition de phase des signaux: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4$ (modulo 2π)
- Une relation de géométrie de l'antenne: $a_i^2 \cdot r_i^{-3} = \text{const.}$ Cette dernière relation renseigne sur les dimensions optimales.

Un programme de simulation sur micro-ordinateur (M.IV) permet de constater que la focalisation est effectivement obtenue, mais décalée vers le centre de l'antenne par rapport au point visé. Cet écart Δx est une fonction croissante de la distance du point visé au centre de l'antenne (Fig. N°1). Ce décalage a pu être compensé par une fonction de correction établie par comparaison des dorsales avec celles déterminées à partir de la théorie des ondes planes (M.III) et possédant les mêmes caractéristiques théoriques, pour lequel la focalisation avait effectivement lieu au point visé:

$$\Delta x = P_{(x)} \cdot x^{-1} \cdot (P'_{(x)})^{-1}$$

Fig. 1 - Fonction de correction x
(Correcting function)

Fig. 2 - Diagramme de rayonnement (réception, 2m)
(Chart of radiance during the reception)

La longueur Δl de la tâche focale a été évaluée à un niveau de -3dB , et comparée à la longueur $\Delta l'$ correspondant aux conditions de fonctionnement non optimisées:

$x, (m)$	2	3	4
$\Delta l, (m)$	0,76	1,71	3,06
$\Delta l', (m)$	0,83	1,83	3,16

L'étude des diagrammes de rayonnement a été effectuée en vue de caractériser la directivité:

- Le demi-angle d'ouverture est de $1,14^\circ$ pour une distance de focalisation de 2m,
- Le niveau relatif des lobes secondaires est de -20dB ; les gains obtenus sont très nets par rapport à ceux de la structure non optimisée (-11dB).

Une étude en réception dans un même milieu, en appliquant un calcul similaire sur le produit des signaux, conduit également à l'optimisation (Fig. N°2): La longueur de la tâche focale à -3dB est de 0,30m, le demi-angle d'ouverture du lobe principal $0,3^\circ$, le niveau des lobes secondaires passe de -25dB à -40dB .

L'utilisation simultanée en émission et en réception permet d'aboutir à un fonctionnement optimisé très performant. La tâche focale est considérablement affinée et l'apodisation très bonne, puisque les lobes secondaires sont d'un niveau de -90dB . Le demi-angle d'ouverture est difficilement décelable à -3dB (avec cependant une très bonne précision sur le pas de calcul).

3. OPTIMISATION GEOMETRIQUE.

L'optimisation de fonctionnement étant réalisée, il restait à déterminer si, pour une envergure d'antenne inchangée, les valeurs des rayons des couronnes correspondaient à des performances optimales.

Tenant compte du fait qu'aucune loi mathématique ne régissait la structure actuelle, un modèle informatique par balayage des rayons des couronnes intermédiaires a été établi. Ceci a permis de mettre en évidence que la meilleure résolution longitudinale correspondait à des valeurs des rayons intermédiaires très proches de celles des rayons extrêmes (Fig.N°3), et conduit à un nouveau prototype comportant seulement deux couronnes. Celui-ci est piloté avec la même loi de phase que le précédent, et la fonction de correction est également applicable.

Les résultats obtenus en émission sont très prometteurs:

- L'amélioration de la résolution axiale peut atteindre 46% (Fig.N°4),
- Le lobe principal de rayonnement a un demi-angle d'ouverture de seulement 0,6°; mais il existe une perte de 6dB sur les lobes secondaires (ce résultat est cependant meilleur que pour le cas de la structure non optimisée).

Comme pour le prototype initial, le traitement en réception permettra une amélioration considérable de la définition de la tâche focale, ainsi que l'apodisation.

Fig.3 - Longueur de la tâche focale en fonction des rayons des couronnes intermédiaires. (Length of the focal spot in accordance with the radii of intermediary rings)

Fig.4 - Comparaison des dorsales relatives aux M.IV et VI (Comparison of the two focal spots length related to patterns IV and VI).

4. REMARQUES, EFFICACITE ENERGETIQUE.

Dans le but d'obtenir un maximum élevé de pression au point de focalisation, plusieurs configurations d'émission et de réception ont été testées:

- Niveaux d'émission identiques pour les différentes couronnes,
- Niveaux de modulation de pression provenant des différentes couronnes identiques dans le domaine de focalisation.

Il n'a pas été constaté de différences sensibles dans la longueur de la tâche focale, par contre, dans le second cas, le niveau de modulation de pression est plus élevé.

Les performances ont été caractérisées par la proposition d'un facteur énergétique adimensionnel qui permet la comparaison quantitative entre l'énergie acoustique locale globale correspondant aux phénomènes d'interférences acoustiques et la somme des énergies acoustiques locales provenant individuellement des différentes sources. Par la suite, le facteur énergétique moyen par couronne a été introduit, il correspond à la contribution moyenne d'une couronne dans le bilan énergétique local:

$$\eta = P^2 \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n P_i^2 \right)^{-1}; \quad n = \text{nombre de couronnes.}$$

Ce facteur permet une comparaison d'efficacités locales entre des structures différentes, et la mise en évidence des avantages apportés par l'optimisation de fonctionnement et par la nouvelle structure de prototype (M.VI) par rapport au prototype antérieur, même de fonctionnement optimisé (M.IV); augmentation de 24%.

Il est permis alors de s'interroger sur la nécessité, dans des cas particuliers, de corriger la défocalisation; en effet, sans correction, l'énergie locale est toujours maximale au point visé. L'intérêt, dans certains cas, sera de chercher un

compromis entre ces deux modes de fonctionnement, ou bien de favoriser l'un par rapport à l'autre.

5. EXPERIMENTATION.

Dans un premier temps, l'expérimentation a été réalisée sur maquette; le passage du prototype sous-marin à l'antenne homologue aérienne a pu se faire par des calculs de similitude. L'envergure est de 2,12m et la fréquence de fonctionnement de 5KHz. Les mesures effectuées pour une distance de focalisation de 4,40m ont donné des résultats probants, à savoir:

* Dans le cas de la configuration initiale:

- La fonction de correction a été vérifiée,
- L'optimisation apportée sur la longueur de la tâche focale également,
- Le diagramme de rayonnement caractérisé par un lobe principal de $1,4^\circ$ et un niveau de lobe secondaire de -10dB; cette différence par rapport à la théorie s'explique par les conditions extérieures d'expérimentation (confinement),

- La vérification, avec les conditions optimisées, de l'augmentation du facteur η ,

* Pour un fonctionnement avec deux couronnes:

- L'amélioration supplémentaire du facteur énergétique,
- La longueur de la tâche focale ainsi que le décalage du point de focalisation sont en bon accord avec le modèle théorique,
- Le lobe principal a un demi-angle d'ouverture d'environ 1° .

6. CONCLUSION.

L'étude d'optimisation de fonctionnement de l'antenne ultrasonore à focalisation a permis d'établir une relation sur sa géométrie. Les conditions de fonctionnement optimales ont été définies grâce à l'établissement d'une fonction de correction. De plus l'utilisation simultanée en émission et en réception donne dans ces conditions une tâche focale très affinée et des lobes secondaires de très bas niveaux relatifs.

Le nouveau prototype obtenu à l'aide de l'optimisation géométrique est très performant, et la proposition d'un facteur énergétique adimensionnel a permis de confirmer la qualité des optimisations.

Les points forts de la théorie ont jusqu'à présent été testés avec succès sur une maquette homologue aérienne.

Les études se poursuivent actuellement dans différentes directions:

- Remplacement des déphasages par des retards, car le régime pulsé s'impose dans ces conditions; les résultats fondamentaux demeurant inchangés. Ces retards seront déterminés grâce à la loi de phase démontrée, qui est une loi générale.
- L'étude se poursuit également pour l'application aux milieux stratifiés,
- La poursuite de l'expérimentation dans le domaine sous-marin ainsi que sur maquette homologue est prévue.

REFERENCES.

- (1)- S.SHIBATA, T.KODA, S.MATSUMOTO and J.YAMAGA.
COAXIAL CIRCULAR SPHERICAL ARRAY FOR ULTRASONIC IMAGING.
J.Acoust. Soc. Am. Vol. 62, No. 4, Oct.1977, p 819-824.
- (2)- J.BRESSON, R.BARRIOL et J.P.LONGUEMARD.
ANTENNE ACOUSTIQUE MULTIELEMENTS A FOCALISATION.
Revue Physique Appliquée T.22, Oct.1987, p 1177-1184.
- (3)- S.SHIBATA, T.KODA and J.YAMAGA.
C-MODE ULTRASONIC IMAGING.
Ultrasonics, Mars 1978, p65-68.
- (4)- M-F.DANDINE.
OPTIMISATION D'UNE ANTENNE ACOUSTIQUE MULTI ELEMENTS A FOCALISATION.
Mémoire Ingénieur CNAM, PARIS, Nov. 1990.