

L La calibration d'antenne

Perturbation du diagramme de directivité d'une antenne souple déformable

Beam Pattern Disturbance of a Deformable Supple Array

par Franck FLORIN

THOMSON-SINTRA A.S.M.
Route de Ste Anne du Portic - 29601 Brest.

Résumé

Dans ce court article, on illustre par un exemple les effets de la déformation d'une antenne sur ses performances.

Mots clés : Autocalibration, Sonar, Performances, Distorsions, Imagerie Sonar.

Abstract

In this short paper, an example of the effects of array deformation on array performance is given.

Key words : Self-calibration, Sonar, Performances, Distorsions, Sonar Imaging.

1. Nécessité de l'autofocalisation d'une antenne déformable

Contrairement à ce que l'on pourrait penser a priori, le fait qu'une antenne soit déformée ne constitue pas en soi un véritable problème.

En effet, si les positions des capteurs étaient parfaitement connues, il serait tout à fait possible de remettre en phase les signaux issus d'un même point de l'espace. Tout au plus, on constaterait une certaine variation de la résolution due aux changements d'ouverture de l'antenne, et quelques contraintes matérielles se feraient sentir par la nécessité d'adapter les retards de la formation de voies.

Ainsi, si l'on était capable de prédire ou de mesurer la forme de l'antenne, on n'aurait nul besoin d'autofocalisation.

Le problème de l'autofocalisation des antennes se pose dès lors que les insuffisances des systèmes d'instrumentation (capteurs de cap ou d'inclinaison) conjointes à la difficulté de modélisation de la navigation rendent la connaissance **a priori** de la forme de l'antenne difficile ou trop imprécise (cf (3) ou (8)). Le calibrage de l'antenne ou plutôt sa focalisation ne peut alors se faire qu'**a posteriori** à partir des signaux mesurés.

2. Application au cas de flûtes sonar haute-fréquence

Les « flûtes » sont des antennes linéaires souples remorquées, comportant un certain nombre de capteurs acoustiques généralement considérés comme ponctuels dans la modélisation.

Les techniques d'instrumentation des flûtes très basse fréquence ($\nu < 1000$ Hertz) et de poursuite des déformations (filtrage de Kalman) permettent une précision de localisation des capteurs de l'ordre de 10 à 30 cm (J.L. Riley, communication privée). La même précision sur une flûte fonctionnant à 12 KHz équivaut à une erreur sur l'évaluation des positions des capteurs de l'ordre de 0,8 à 2,4 λ .

D'une manière plus générale, pour une antenne de quelques dizaines de mètres, des déformations de l'ordre de quelques dizaines de centimètres sont parfaitement envisageables (1-6). On retiendra ainsi comme ordre de grandeur : des déformations de quelques pourcents de la longueur d'antenne. Ceci induit pour des antennes de quelques 100 λ des déformations de quelques λ .

INDEX IBB

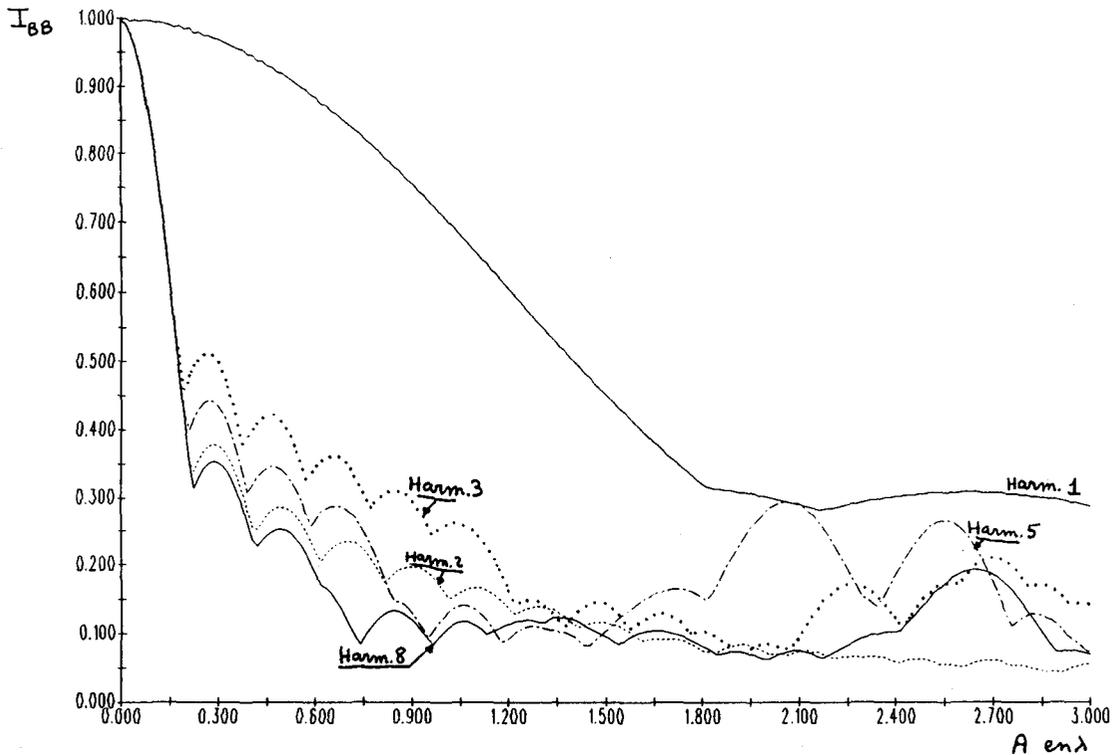


Figure 1. – Évolution de l'index de directivité d'une antenne inélastique en fonction de l'amplitude d'une déformation harmonique.

3. Influence acoustique des déformations

Il est intéressant de pouvoir mesurer les dégradations apportées par les déformations aux performances de l'antenne.

Le critère choisi pour évaluer ces performances est l'index de directivité en présence de bruit blanc I_{BB} , défini pour une source sous le gisement θ_o par :

$$I_{BB}(\theta_o) = \max_{\theta} D(\xi, \xi_o, \theta, \theta_o)$$

avec

$$D(\xi, \xi_o, \theta, \theta_o) = \frac{1}{M^2} |a(\xi, \theta) * a(\xi_o, \theta_o)|^2$$

a est le vecteur directionnel, θ le gisement, ξ un vecteur de paramètres décrivant l'antenne, M le nombre de capteurs.

Ce choix vient du fait que cet index, qui est facile à calculer, est directement représentatif du pouvoir détecteur de l'antenne pour une source en présence de bruit blanc, configuration pour laquelle la formation de voie classique est le traitement optimal (c'est alors l'estimateur du maximum de vraisemblance). Le choix d'un autre critère aurait de toute façon amené des résultats sinon identiques, du moins aboutissant à des conclusions similaires.

Sur la figure 1, on a tracé, pour les différentes déformations harmoniques, l'index I_{BB} en fonction de l'amplitude de la déformation. Comme exposé en annexe, l'antenne est paramétrée en fonction de ses déformées harmoniques en y . (L'antenne étant inélastique les positions en x se déduisent de celles en y dans le problème bidimensionnel). L'antenne vraie (paramètre ξ_o) est sans déformation, l'antenne supposée (paramètre ξ) est en déformation harmonique de phase nulle et d'amplitude variable. L'index est mesuré pour une source à $\theta_o = 0$ degré. Les autres paramètres sont : $M = 30$, $L = 10$ m, $\nu_o = 12$ kHz (signal à bande étroite).

Il est intéressant de constater que, pour l'ensemble des déformations harmoniques envisagées (mis à part l'harmonique 1), une déformation d'amplitude $0,18 \lambda$ correspond à une perte d'index de 3 dB.

Notons qu'au delà de $0,18 \lambda$ de déformation, la perte d'index est insuffisante pour qualifier la dégradation de l'image. En effet, aux lobes secondaires des courbes d'index I_{BB} en fonction de l'amplitude de la déformation correspondent des remontées de lobes secondaires du diagramme de directivité de l'antenne qui font qu'en pratique, les échos présents se mélangent et l'information visuelle contenue dans l'image devient inexploitable (voir exemple figure 2).

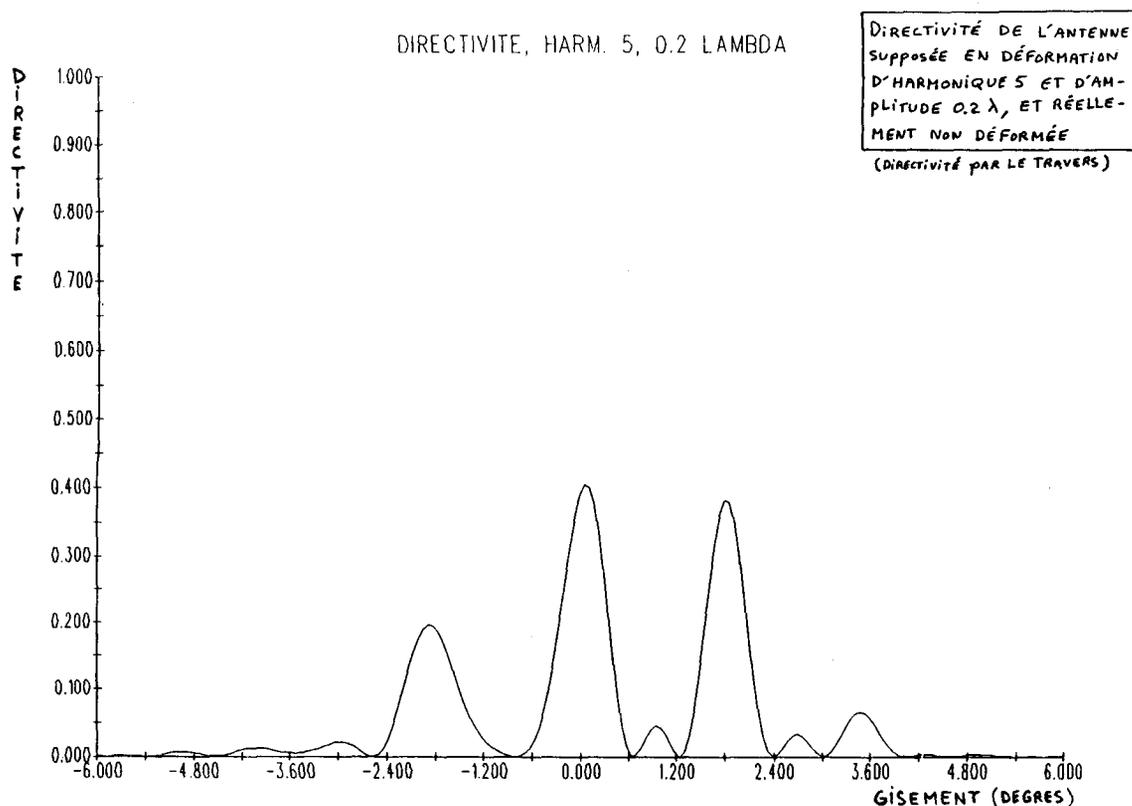


Figure 2. – Exemple de diagramme de directivité pour une déformation harmonique d'ordre 5 et d'amplitude 0,2.

4. Conclusion

On s'aperçoit que, pour des déformations harmoniques, d'amplitude supérieure à $0,18 \lambda$, les critères de performances classiques comme l'index de directivité, le $2\theta_3$, le biais d'estimation fluctuent très vite et perdent toute signification. A ce stade, les images obtenues sont ininterprétables : les remontées de lobes secondaires du diagramme de directivité atteignent le lobe principal.

Ainsi, l'effet de la défocalisation sur les antennes peut apparaître non pas comme une perte de quelques dB en niveau de détection ou de quelques pourcents sur la largeur du $2\theta_3$ qui se traduiraient par un léger empâtement et un flou artistique sur les images, mais bien comme un véritable brouillage de l'image et par l'inutilité totale de l'antenne sonar (tout au plus récupère-t-on une information sur la quantité d'énergie acoustique reçue).

Remerciements

L'auteur de ce chapitre tient à exprimer toute sa gratitude à la DRET pour son soutien et l'intérêt qu'elle porte au problème de l'autocalibration des systèmes d'imagerie acoustique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W. BRANDENBURG, « A point mechanical model for the dynamics of towed arrays », *ICASSP 84*, San Diego, pp. 40.3.1, 40.3.4.
- [2] T.C. CANNON, J. GENIN, « Three-Dimensionnal Dynamical Behaviour of a Flexible Towed Cable », *Aeronautical Quarterly*, Aug. 1972, pp. 201-210.
- [3] R. CHEUNG, « Towed Array Sonar Developments; Keeping Track of the Tail », *Navy International*, Janv. 1989, pp. 7-8.
- [4] A.P. DOWLING, « The dynamics of towed flexible cylinders », Part 1 & Part 2, *J. Fluid. Mech.*, 1988, Vol. 187, pp. 507-571.
- [5] J.W. KAMMAN, T.C. NGUYEN, « Modeling towed cable system dynamics », Rapport N°AD-A223 610, Tech. Memor. NCSC TM 492-88, Naval Coastal Systems Center, Panama City, Florida, USA, Mai 1990.
- [6] Q. LI, « On problem of the determination of operational mode of towed line array with distorted shape », *Chinese Journal of Acoustics*, Vol. 9, N°2, 1990, pp.139-144.
- [7] D. TAVORA DE QUEIROZ COBRA, « Estimation and correction of geometric distortions in side-scan sonar design », Doct. Dissert., WHOI-90-25, Woods Hole Oceano. Inst., Woods Hole, Massachusetts 02543, Juin 1990.
- [8] E.C. VAN BALLEGOOIJEN, G.W.M. VAN MIERLO, P.P.M. VAN DER ZALM, A.T. PARSONS and N.H. FIELD, « Measurement of Towed Array Position, Shape, and Attitude », *IEEE journal of Oceanic Engineering*, vol. 14, N°4, pp. 375-383, Oct. 1989.

5. Annexe : Modélisation mécanique statique de l'antenne

L'antenne est supposée constituée d'une structure continue souple inélastique au sein de laquelle sont répartis M capteurs.

On s'intéresse uniquement aux déformations bidimensionnelles dans le plan (x, y) .

L'inélasticité longitudinale de l'antenne permet de repérer celle-ci par rapport à son abscisse linéique s .

On a ainsi la relation :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (1)$$

qui induit en posant : $y'(s) = \frac{dy}{ds}$

$$x(s) = \int_0^s \sqrt{1 - (y'(u))^2} du \quad (2)$$

Il suffit donc de connaître $y(s)$ pour déterminer $x(s)$.

Lorsque $y(s)$ est une fonction harmonique du type :

$$y(s) = \xi \cos(\omega s + \varphi)$$

$x(s)$ devient :

$$x(s) = \frac{1}{\omega} \int_{\varphi}^{\omega s + \varphi} \sqrt{1 - \xi^2 \omega^2 \sin^2(u)} du \quad (3)$$

$$= \frac{1}{\omega} [F(\omega s + \varphi, \xi \omega) - F(\varphi, \xi \omega)] \quad (4)$$

où

$$F(\psi, K) = \int_0^{\psi} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 x} dx$$

est par définition une intégrale elliptique de deuxième espèce, de module K .

Remarquons que la relation (2) **n'est pas** une transformation **linéaire** de y .

On cherche à décomposer $y(s)$ sur une base de fonctions $\{\varphi_i(s)\}$ telle que la convergence **uniforme** de la décomposition vers $y(s)$ soit assurée. (L'uniformité s'impose par la représentation ponctuelle des capteurs) $y(s)$ étant a priori défini sur $[0, L]$, il est tout à fait possible de la prolonger par symétrie par rapport à l'axe des y . La fonction obtenue est alors paire et continue sur $[-L, L]$. On suppose que sa dérivée est également continue par morceaux sur cet intervalle. Dès lors sa série de Fourier converge uniformément vers elle, et en raison de la parité, on peut écrire :

$$\forall s \in [-L, +L] \quad y(s) = \sum_{k=1}^{\infty} b'_k \cos\left(\frac{k\pi s}{L}\right)$$

Du point de vue acoustique, on ne s'intéresse qu'aux abscisses :

$$s_m = (m-1) \frac{L}{M} \quad m = 1, \dots, M$$

et on notera :

$$y_m = y(s_m) = b \cos\left(\frac{k(m-1)}{M} \pi\right)$$

les valeurs de la position en y du même capteur pour une composante harmonique d'amplitude b et d'ordre k .