HAL
open science

ÉTUDE NUMÉRIQUE DE LA DIRECTIVITÉ DES HAUT-PARLEURS À PAVILLON

T. Johansen, U. Kristiansen

▶ **To cite this version:**

T. Johansen, U. Kristiansen. ÉTUDE NUMÉRIQUE DE LA DIRECTIVITÉ DES HAUT-PARLEURS À PAVILLON. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C3), pp.C3-121-C3-128. 10.1051/jphyscol:1990313 . jpa-00230741

HAL Id: jpa-00230741

https://hal.science/jpa-00230741

Submitted on 4 Feb 2008

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.

COLLOQUE DE PHYSIQUE
Colloque C3, supplément au n°17, Tome 51, 1er septembre 1990

ÉTUDE NUMÉRIQUE DE LA DIRECTIVITÉ DES HAUT-PARLEURS À PAVILLON

T.F. JOHANSEN et U.R. KRISTIANSEN

Institutt for teleteknikk/akustikk, Universitetet i Trondheim, N-7034 Trondheim, Norvège

Résumé - Nous présentons ici les résultats d'une étude numérique sur le rayonnement des pavillons acoustiques. Les résultats prinsipaux donnent la preuve numérique qu'un pavillon conique rayonne comme une calotte vibrant dans une sphère pour une large bande de fréquences et jusque pour un angle d'ouverture de 180°. Pour un pavillon formé de plusieurs éléments coniques, chaque élément est responsable de la radiation d'une certaine bande de fréquences avec une zone de transition entre chacune. Pour construire un pavillion ayant un directivité constante il est convenable d'utiliser un cône pour la partie inférieure. Nous présentons quelques exemples sur la façon de terminer ce cône pour garder la directivité vers les fréquences les plus basses possibles.

Abstract - Numerical results from a study of radiation from acoustic horns are presented. Main results are that conical horns radiate like spherical caps on spheres for a large frequency band and for opening angles as large as 180°. For a horn made up by several conical elements, each element is responsible for the radiation of a certain frequency band and there is a transition frequency band in between.
A constant directivity horn can be constructed by using an inner conical section for the high frequency part of the spectrum. We present some examples on how to terminate such a cone to extend the constant directivity in the low frequency end.

1 - INTRODUCTION

L'object de la recherche presentée ici était d'etudier théoriquement le rayonnement d'un pavillon acoustique. Nous nous intéressons particulièrement aux changements des diagrammes de directivité causés par la variation de la forme du pavillon. Existe t'il une forme du pavillon donnant une directivité constante en fonction de la fréquence?

Pour les fréquences intéressantes, ayant une longeur d'onde comparable à la largeur de la source, les méthodes simplifiées ne conviennent pas pour le calcul du champ proche ou même lointain. Les méthodes géometriques (haute fréquence) sont exclues. Dans le cas qui nous intéresse, on ne peut supposer que les ondes se propagent uniformément à travers une section. Par conséquent, les methodes "seul paramètre" (comme celui de l'équation de Webster) sont inadéquats. Les solutions analytiques pour le chàmp sonore dans un guide n'existent que pour très peu de formes. Dans notre étude nous avons donc utilisé une méthode numerique basée sur la theorie des équations intégrales. Par rapport a la méthode des éléments finis, la méthode des équations integrales donne un moyen plus direct de calcul du champ lointain; comme on discrètise uniquement la surface du pavillon, elle procure un outil simple et rapide qui permet de faire varier facilement la forme du pavillon.

Il est bien connu qu'une forme conique donne un bon point de départ pour construire un pavillon ayant une directivité constante. L'experience montre que si les longeurs d'ondes sont beaucoup plus petites que l'embouchure, la directivité d'un pavillon conique est égale à l'angle d'ouverture. Un objectif pour les constructeurs est de terminer ce cône de façon à obtenir la même directivité vers les fréquences les plus basses possibles. "L'angle de couverture" est souvent utilisé comme paramètre pour décrire la directivité. L'angle de couverture est deux fois ce compris entre l'axe du pavillon et l'angle ou la pression est inférieure de 6 dB à celle de l'axe.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1990313

2 - RADIATION D'UNE CALOTTE VIBRANT DANS UNE SPHÈRE

Dans un pavillon conique se propage principalement l'onde sphérique, de la gorge à l'embouchure. On suppose donc souvent que la radiation d'un pavillon conique est égale à la radiation d'une calotte sphérique vibrant dans une sphère. Cette calotte a la même géométrie que l'onde sphérique à l'embouchure. Pour tester cette hypothèse nous avons calculé la directivité d'une telle calotte utilisant les expansions analytiques données par Morse et Ingard /1/. Au paragraph 4 nous avons calculé la radiation d'un pavillon conique pour faire la comparaison.

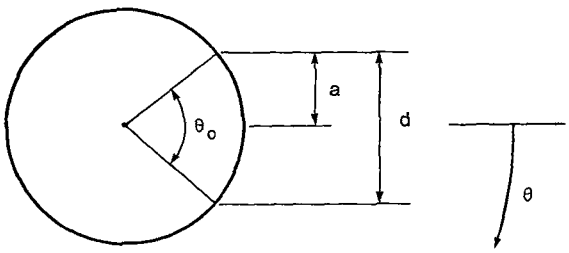


Figure 1. Géométrie.

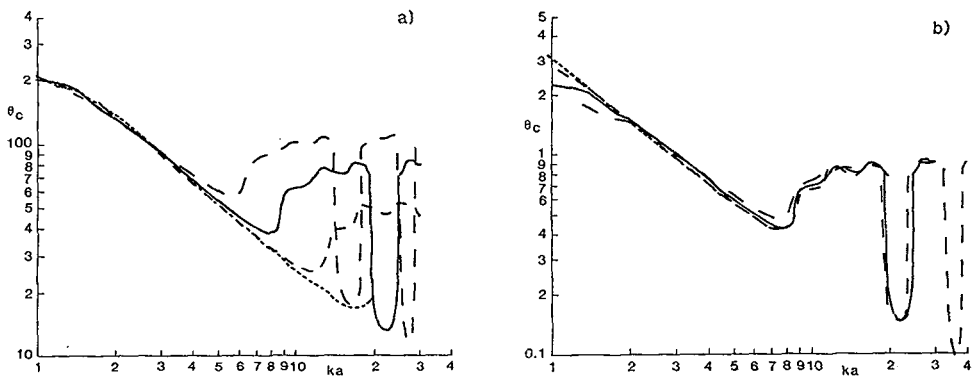
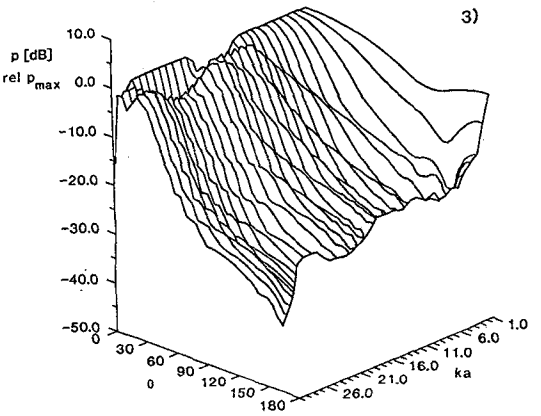


Figure 2. a) Angle de couverture, θ_c, pour une calotte vibrant dans une sphère. d=2 m, ... θ_0=40°, --- 60°, —— 90°, — — 120°.

d) Si on fait varier les d de maniere à garder le produit $d \cdot \theta_0$ constant les courbes se superposent.

Les resultats sont les suivantes:

- pour des calottes ayant le même diamètre, et jusqu'à un nombre d'onde $k = K/(\theta_0 \cdot d)$ où la constante $K \approx 540$, les angles de couverture sont très proches
- dans la région $k \cdot a \approx 2.5 \cdot K/(\theta_0 \cdot d)$ il y a un amincissement du lobe principal (dit "l'amincissement en basse fréquence") jusqu'à $0.5 \cdot \theta_0$.
- En haute fréquence l'angle de couverture $\approx \theta_0$
- il est possible superposer les résultats sur une seule courbe.



La figure 3 montre les diagrammes de directivité pour une calotte de d = 2 m, $\theta_0 = 90^0$. On voit que les diagrammes pour des nombres d'onde superieurs à $k \cdot a \approx 10$ sont pratiquement identiques. "L'amincissement en basse fréquence" est un phénomene qui se manifeste seulement près de l'axe de la source.

3 - MODELE THEORIQUE

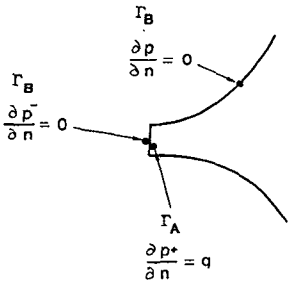


Figure 4.

Les calculs sont basées sur l'intégrale de Helmholtz. Le champ $\phi(M)$ au point M est exprimé par

$$\phi(M) = \int_{\Gamma_A+\Gamma_B} \mu(P) \frac{\partial g(P)}{\partial n(P)} dP$$ ou $\mu(P)$ est la densité d'une double couche au point P.

$\mu(P)$ est trouvée par résolution numérique d'une version discretisée de l'équation

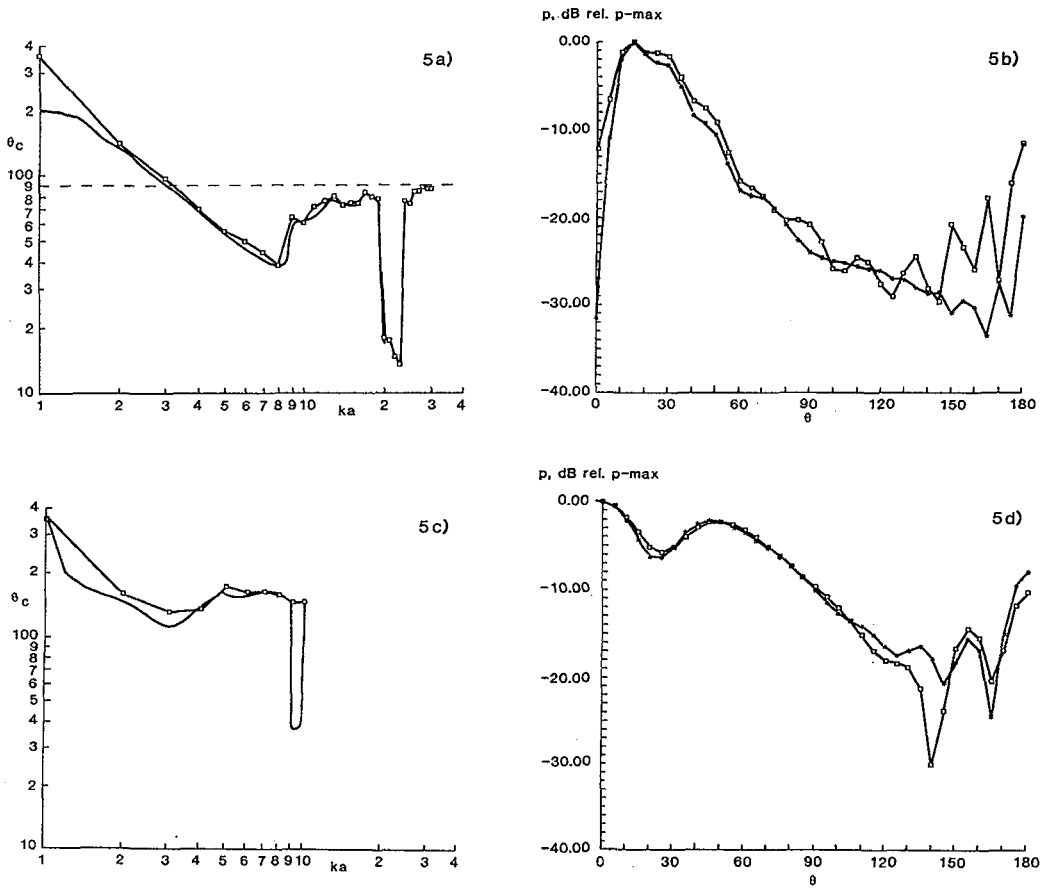
$$\frac{1}{2} q(P) - \int_{\Gamma_A+\Gamma_B} q(P_0) \frac{\partial g(P|P_0)}{\partial n(P|P_0)} d\Gamma(P_0) = - \int_{\Gamma_A+\Gamma_B} \mu(P_0) \frac{\partial^2 g(P|P_0)}{\partial n(P_0)\partial n(P)} d\Gamma(P_0)$$

$$q(P) = \begin{cases} 0 & P \in \Gamma_B \\ v & P \in \Gamma_A \end{cases} \qquad \forall P \in \Gamma_A + \Gamma_B$$

Pour un dévelopment et une solution plus detaillés voyez les réferences /2/, /3/.

4 - RESULTATS

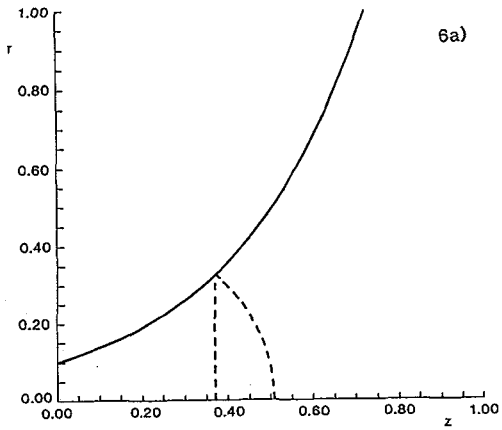
4.1 - Le pavillon conique

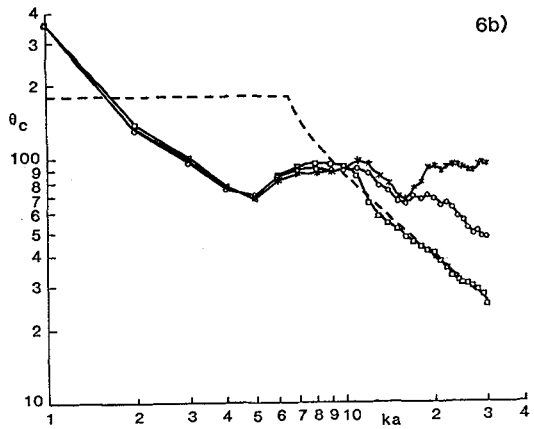


Les figures 5 a,b montrent les angles de couverture et diagrammes de directivité pour un pavillon conique (— ⊡ —) et une calotte (—,—x—) ou $\theta_0 = 60^0$ et $k \cdot a = 15$. Sur les figures 5c,d, l'angle $\theta_0 = 180^0$ et $k \cdot a = 9$. Même dans ce cas extrême il y a une bonne correspondance.

Les figures 5c,d montrent le probleme que peut poser l'utilisation d'un parametre comme l'angle de couverture pour decrire la directivité. Dans la region ou l'angle de couverture est 20^0, les deux sources donnent presque le même nivaux sonore, mais de chaque coté de -6dB par rapport a celui de leur axes. Par conséquent, les diagrammes des angles de couverture sont tres different dans cette région.

4.2 - Le pavillon exponentiel





Les pavillons exponentiels sont illustrés figure 6.

Un pavillon de référence (— o —) est fourni avec un petit piston plan dans la gorge. Dans les deux autres cas, la partie inférieure du pavillon est remplacée par un piston plan (—□—), ou sphérique (—x—). En basse fréquence, les angles de couverture sont proches. Vers les hautes fréquences, la courbe du piston rejoint celle d'un piston dans un baffle. Celle du piston sphérique s'approche des valeurs données par une calotte vibrant dans une sphère avec le même angle d'ouverture. Ce résultat montre que le front d'onde dans un tel pavillon n'est ni plan, ni sphérique, mais que l'onde se propage avec une courbure intermédiaire.

4.3 - Les pavillons "Manta-Ray" /4/

Un pavillon de type "Manta-Ray" peut être construit en joignant deux pavillons coniques. La figure 7 montre les résultats d'une etude paramétrique. La seule difference entre les pavillons est la longeur du premier élément.

En basse fréquence les courbes d'angle de couverture en fonction de ka sont pratiquement identiques à celle du pavillon extérieur.

En haut frequence elles s'approchent de celle du pavillon intérieur. Pour un ka bien précis commence une gamme de transition entre ces deux extrèmes. Les resultats montrent que le début de la zone de transition est determiné par deux conditions:

- Les modes axisymétriques autres que le mode principal doivent exister dans la totalité du pavillon extérieur.
- L'angle de couverture du pavillon intérieur doit être plus petit que l'angle d'ouverture.

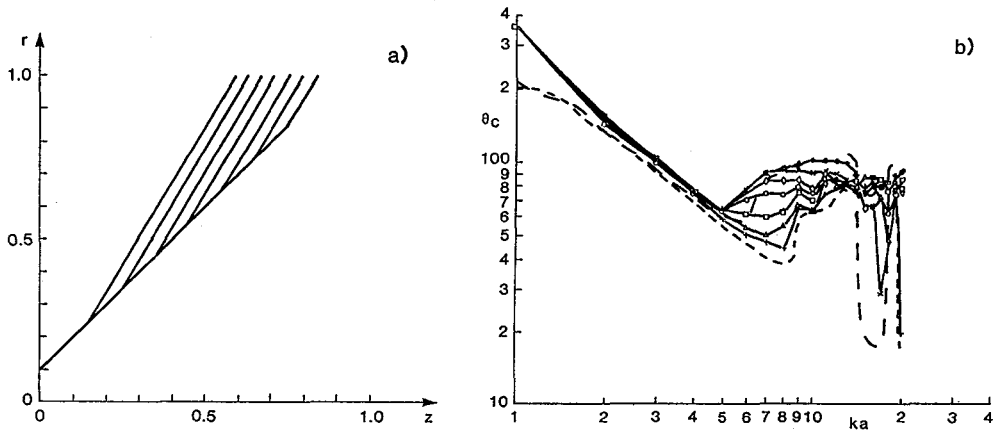


Figure 7. Pavillons "Manta-Ray"

5 - OPTIMISATION

Pour étudier les pavillons ayant une directivité constante, nous avons utilisé des "fonctions d'objet" afin de faire varier plusieurs paramètres à la fois. L'objectif a été de garder un angle de couverture constant dans la région de "l'amincissement en basse fréquence". La figure 8b montrent un pavillon conique terminé avec une fonction cubique. Dans ce cas, nous avons fait varier la longeur (x) du cône et le coefficient de la fonction cubique (A3) pour minimiser la fonction

$$F = \sum_n \{abs[p(\theta_c, k_n) - \frac{p_{max}(\theta, k_n)}{2}] / p_{max}(\theta, k_n)\}$$

Physiquement, le minimum de cette fonction est atteint lorsque la pression dans la direction θ_c est inferieure de 6 dB à p_{max} pour chaque nombre d'onde. Dans le cas actuel, nous avons choisi les nombres d'onde ka = 3, 4, 5.5, 7 (région d'amincissement en basse fréquence), et 9, 12, 16, 19 (region haute fréquence). La figure 8a donne une carte de valeurs de F par rapport à X et A3. Quelques formes correspondant à de petites valeurs de F sont données figure 8b et le diagramme de directivité correspondant figure 8d.

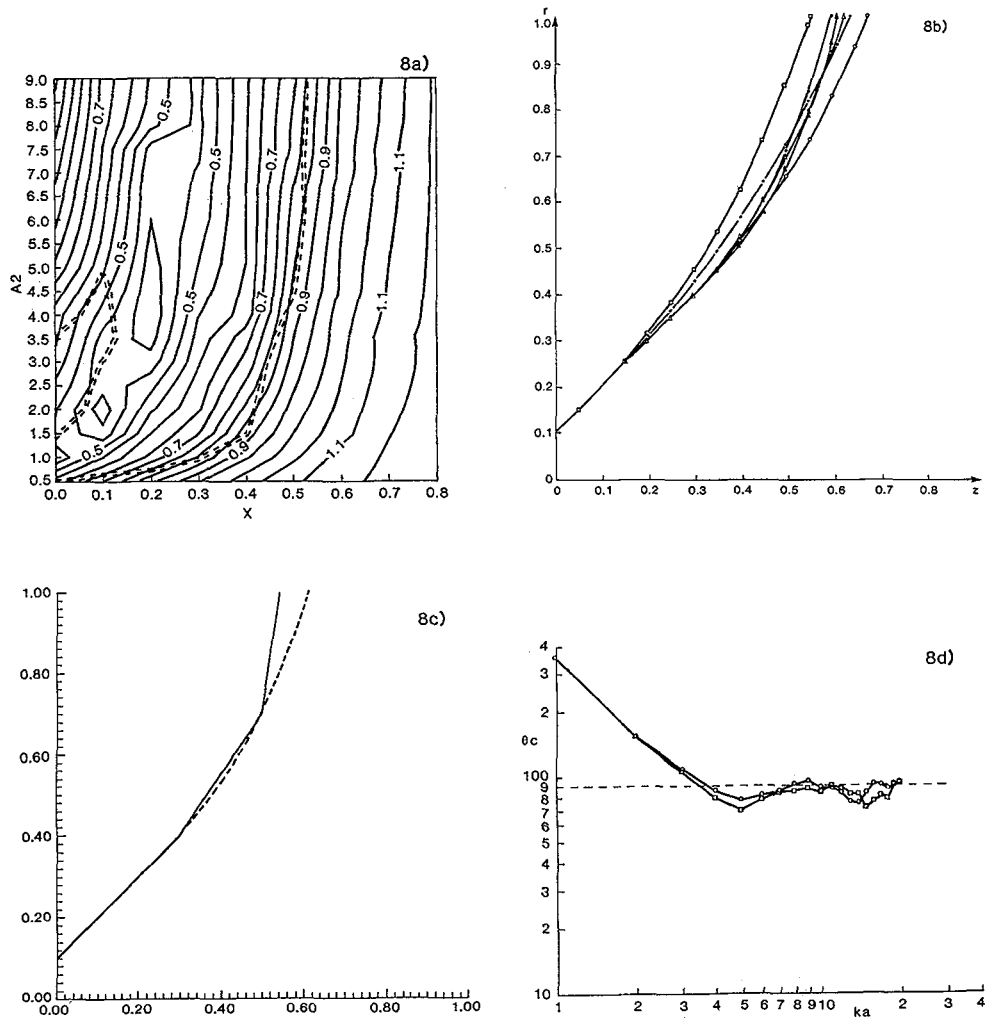


Figure 8. Pavillons ayant une directivite constante.

6 - CONCLUSIONS

L'étude nous a montré que la correspondance entre les directivites d'un cône axisymétrique et d'une calotte vibrante a un intéret dans l'analyse des pavillons acoustiques, en particulier parce que les calottes vibrantes ont un angle de couverture en fonction de la fréquence qui se superpose à une courbe unique.

Les conditions exprimées au paragraphe 4.3 concernant la transition entre deux sections coniques d'un pavillon, paraissent extensibles aux pavillons ayant trois sections ou plus.

En basse fréquence, la radiation est contrôlée par l'embouchure. Les differents éléments en partant de l'embouchure, sont successivement prépondérantes lorsque'on augmente la fréquence. Le nombre d'onde pour lequel commence la zone de transition est determiné par les conditions du paragraphe 4.3. La méthode est aussi applicable aux pavillons ayant une forme plus compliquée. Les calculs montrent qu'il y a peu de différence entre la directivité d'un pavillon à troi sections coniques et sa forme lissée, (figures 8c,d).

7 - BIBLIOGRAPHIE

/1/ Morse, P.M. et Ingard, K.U. Theoretical Acoustics. Princeton University Press 1986.

/2/ Kristiansen, U.R. et Johansen, T.F. The horn loudspeaker as a screen-diffraction problem. Journal of Sound and Vib. 133 (1989) 449.

/3/ Filippi, P. Layer Potentials and acoustic diffraction. Journ. of Sound and Vib. 54 (1977) 473.

/4/ Henricksen, C.A. et Ureda, M.S. The Manta-Ray horns. Journ. Aud. Eng. Soc. 26 (1978) 629.