



NICE du 20 au 24 MAI 1985

REDUCTION DU BRUIT INDUIT PAR L'ÉCOULEMENT TURBULENT
AUTOUR DES ANTENNES TRACTÉES
OPTIMISATION DES GEOMETRIES

Edmond BENARROUS

Société METRAFLU - 64, chemin des Mouilles - 69130 ECULLY

RESUME

On considère une antenne tractée schématisée par une ligne d'hydrophones placés en montage affleurant dans une flûte soumise à un bruit d'écoulement induit par une couche limite turbulente.

Reprenant les travaux de R.M. KENNEDY et N.K. OWSLEY-J.W. FAY, on calcule la réduction du bruit qu'il est possible d'obtenir théoriquement à travers deux schémas de traitement d'antenne. A cet effet, on introduit dans la matrice interspectrale un modèle de champ de pression prenant en compte les composantes convectives et propagatives du bruit d'écoulement. Les résultats montrent le gain d'antenne obtenu avec diverses configurations d'antenne.

SUMMARY

In this paper, the response of a towed line array of flush mounted sensors, subjected to its own turbulent boundary layer is analysed. The method of R.M. KENNEDY and N.K. OWSLEY-J.N. FAY is used to evaluate the theoretical cancellation of this flow noise by a classical and M.V.D.L. signal processing scheme. A model of wall pressure fluctuations is introduced in the spectral matrix, taking into account the propagative and convective components of the field : i.e. the low wave number spectral components as well as turbulent components. The results show the array gain obtained with particular design of antenna.



REDUCTION DU BRUIT INDUIT PAR L'ÉCOULEMENT TURBULENT AUTOUR DES ANTENNES TRACTÉES.

OPTIMISATION DES GEOMETRIES

INTRODUCTION

Le bruit d'écoulement est une cause sérieuse de dégradation des performances de détection et de localisation du système d'antenne tractée, car la présence d'une couche limite turbulente autour du corps de l'antenne induit un champ de pression qui vient se superposer au signal acoustique sur chaque hydrophone. L'étendue spectrale de ce bruit est particulièrement grande (jusqu'à 10 kHz à 20 mds) et le niveau énergétique évolue rapidement avec la vitesse d'avance ($\approx U^4$).

Dans cette étude, nous évaluons la réduction du bruit d'écoulement qu'il est possible d'obtenir à travers deux schémas de traitement d'antenne déjà proposés par R.N. KENNEDY [1] et N.K. OWSLEY et J.W. FAY [2], en introduisant un modèle de champ de pression développé à METRAFLU, tenant compte des effets de compressibilité.

MODELISATION DU BRUIT D'ÉCOULEMENT

Ce bruit résulte de deux contributions, l'une associée aux petites structures chaotiques de la turbulence convectées sensiblement à la vitesse de l'écoulement et corrélées sur des distances de l'ordre de l'épaisseur de la couche limite, l'autre associée au bruit propre de la couche limite et corrélée sur tous les hydrophones, eu égard aux longueurs d'ondes mises en jeu.

Le modèle adopté résulte d'un ajustement de deux solutions asymptotiques. La première solution, fondée sur l'empirisme et l'hypothèse de CORCOS [3] permet de modéliser la région spectrale subsonique centrée autour d'un nombre d'onde caractéristique $k_T = \omega/U_c$ où U_c est une vitesse de convection caractéristique de l'écoulement qui dépend en toute rigueur de la fréquence $\omega = 2\pi f$. La seconde solution prend en compte les phénomènes de compressibilité responsables du bruit propre de la couche limite, et gouvernés par le formalisme de LIGHTHILL [4].

On s'intéressera aux quantités interspectrales $\Phi_{PP}(k, \omega)$ et $\Phi_{PP}(r, \omega)$ qui interviennent explicitement dans la matrice interspectrale lorsqu'il n'y a que le bruit à l'entrée du système. Ces deux termes se correspondent par transformée de Fourier spatiale et sont définis à partir de la relation :

$$\Phi_{PP}(k, \omega) = \frac{1}{(2\pi)^3} \iiint R_{PP}(r, t) e^{-i(\omega t - k \cdot r)} d\vec{r} dt$$

où R_{PP} est la fonction de corrélation spatio-temporelle du champ de pression supposé stationnaire et homogène.

La figure (1) schématise les différents domaines spectraux du champ de pression et la figure (2) est une représentation tridimensionnelle du modèle adopté.

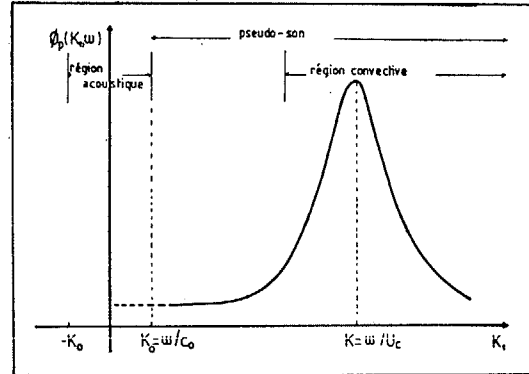


Figure 1

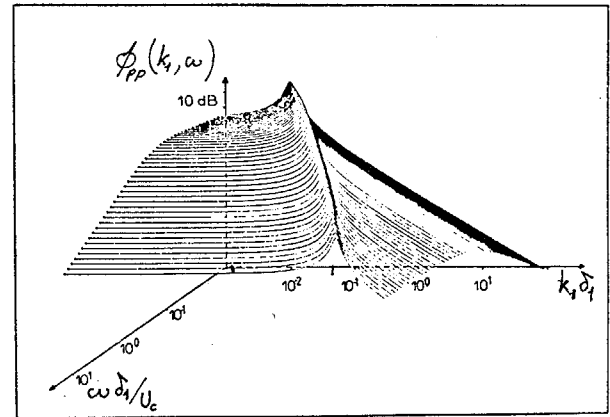
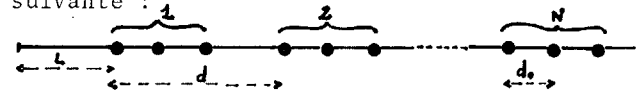


Figure 2

SCHÉMATISATION DE LA CONFIGURATION D'ANTENNE

On considère une antenne linéaire schématisée par une ligne d'hydrophones placés en montage affleurant dans une flûte. La configuration géométrique envisagée est la suivante :



L'antenne est constituée de N cellules (clusters) formées chacune de 2 ou 3 hydrophones uniformément espacés d'une distance d_0 , chaque cellule étant espacée d'une distance d . La position du premier capteur est située à la distance L du nez de la flûte.

Deux types de traitement d'antenne sont analysés :

- un traitement d'antenne classique consistant à réaliser un retard sur les différentes voies (préformation en site), puis une sommation directe ;

- un traitement d'antenne M.V.D.L. (Minimum Variance Distorsionless Look) [5] qui réalise un estimateur de la variance du signal provenant d'une direction donnée, en minimisant les composantes provenant des autres directions.

La matrice interspectrale de bruit peut s'écrire d'après [2]

$$[G] = \Phi_p(\omega) [T] + \Phi_b(\omega) [I]$$

REDUCTION DU BRUIT INDUIT PAR L'ÉCOULEMENT TURBULENT AUTOUR
DES ANTENNES TRACTÉES.
OPTIMISATION DES GEOMETRIES

où $[T]$ est la matrice de cohérence du bruit d'écoulement.
 $[I]$ est la matrice unité.
 ϕ_p la densité spectrale du bruit d'écoulement.
 ϕ_b la densité spectrale du bruit de fond non corrélé.

METHODE DE CALCUL

L'idée générale consiste à espacer les éléments d'une même cellule de manière à obtenir une bonne corrélation du bruit d'un hydrophone à l'autre, et à espacer les cellules de manière à décorréliser les signaux d'une cellule à l'autre. Cela suppose que la distance d soit suffisamment grande devant la longueur de corrélation du champ de pression. Cette condition est satisfaite dès que d vérifie la relation :

$$d > 50.U_c/\omega$$

Ce faisant, la matrice de bruit peut se mettre sous la forme :

$$[T] = \begin{bmatrix} [T'_1] & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & [T'_N] \end{bmatrix}$$

où $[T']$ est une sous-matrice 2 x 2 (ou 3 x 3) caractérisant la cohérence du bruit au niveau de chaque cellule.

Si c est la cohérence du bruit entre deux hydrophones adjacents d'une même cellule, on peut écrire :

$$c = \exp(-a\omega d_0/U_c) \cdot \exp(-j\omega d_0/U_c)$$

et les sous-matrices ont la forme générale suivante :

$$\begin{bmatrix} 1 & c \\ c^* & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & c & c^2 \\ c^* & 1 & c \\ c^{2*} & c^* & 1 \end{bmatrix}$$

Définissant le gain d'antenne comme le gain obtenu en rapport signal à bruit, par l'emploi de l'antenne, comparativement à celui d'un hydrophone pris isolément, on peut développer analytiquement les formules matricielles donnant le gain d'antenne classique ou M.V.D.L. et l'on obtient :

- pour un traitement d'antenne classique :

$$GC2 = 2N \left\{ 1 + \frac{B}{1+B} A(\psi) \cos(\psi) \right\}^{-1}$$

$$GC3 = 3N \left\{ 1 + \frac{B}{1+B} A(\psi) \left[\frac{4}{3} \cos \psi + \frac{2}{3} A(\psi) \cos(2\psi) \right] \right\}^{-1}$$

- pour un traitement d'antenne M.V.D.L. :

$$GMVDL2 = 2N \left\{ 1 - \frac{B}{1+B} A(\psi) \cos \psi \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{B}{1+B} \right)^2 A^2(\psi) \right\}^{-1}$$

$$GMVDL3 = 3N \left\{ 1 - \frac{B}{(1+B)^2} A \left[\frac{AB}{3} (2+A^2) + \frac{4}{3} (1+(1-A^2)B) \cos \psi + \frac{2}{3} A \cos(2\psi) \right] \right\} \left\{ 1 - \frac{B^2}{(1+B)^3} A^2 \left[(2+A^2) + B(2-A^2) \right] \right\}^{-1}$$

$$A(\psi) = \exp(-0.12 \omega d_0 / U_c) ; B = \phi_p(\omega) / \phi_b(\omega)$$

RESULTATS NUMERIQUES

Ces expressions ont été calculées en introduisant notre modèle de champ de pression pariétale et en admettant une évolution de la puissance du bruit non corrélé ϕ_b semblable au bruit de fond de la mer 1.

Les résultats représentent le gain d'antenne en échelle de dB en fonction du paramètre adimensionnel $\omega d_0 / U_c$. Les courbes sont paramétrées par la vitesse de l'écoulement, le rapport δ_1 / d_0 où δ_1 est l'épaisseur de déplacement de la couche limite, et la distance L .

D'une manière générale, on constate que le traitement M.V.D.L. est plus performant qu'un traitement d'antenne classique, car il atténue le bruit d'écoulement sur une plus grande bande passante. Par ailleurs, il semble qu'un gain optimum soit obtenu pour une valeur de $\omega d_0 / U_c$ comprise entre 2 et 4. Ce résultat est en accord avec celui qui a été obtenu par KENNEDY qui proposait la relation :

$$\omega d_0 / U_c = 2.5 (K-1)$$

où K était le nombre d'hydrophones d'une antenne constituée d'une seule cellule.

La figure (3) représente l'évolution du gain d'une antenne constituée d'une seule cellule à 2 ou 3 hydrophones. La figure (4) permet de comparer les performances d'une antenne constituée de 10 cellules de 3 capteurs à 1 m/s. L'influence du nombre de cellules est mise en évidence dans la figure (5). L'influence du paramètre δ_1 / d_0 est mise en évidence dans la figure (6).

CONCLUSION

Au vu des résultats théoriques obtenus, il semble que l'on puisse améliorer les performances d'une antenne tractée si l'on sait judicieusement choisir l'emplacement des hydrophones. L'emploi de cellules à 2 ou 3 capteurs permet d'envisager un gain d'antenne de 10 à 20 dB. Il faut cependant tenir compte des caractéristiques de la couche limite si l'on veut optimiser le filtrage du bruit d'écoulement à une fréquence donnée. L'étude paramétrique des formules utilisées dans cette étude permet alors de définir la géométrie d'une antenne tractée à une vitesse donnée et fonctionnant dans une bande de fréquence donnée.



REDUCTION DU BRUIT INDUIT PAR L'ÉCOULEMENT TURBULENT AUTOUR
DES ANTENNES TRACTÉES.
OPTIMISATION DES GEOMETRIES

- [1] R.M. KENNEDY,
"Cancellation of turbulent boundary layer
pressure fluctuations",
J.A.S.A., vol. 57 (5) - 1975.
- [2] N.L. OWSLEY & J.W. FAY,
"Optimum turbulent boundary layer induced
noise suppression with suboptimum reali-
zations",
J.A.S.A., vol. 66 (5) - 1979.
- [3] E. BENARROUS,
"Bruit propre et bruit rayonné par
l'écoulement et ses interactions avec
les structures",
Rapport D.R.E.T. n° 78/528 - 1980.
- [4] J.E. FFOCWS-WILLIAMS,
"Boundary layer pressures and the Corcos
model : a development to incorporate
low wavenumber constraints",
J.F.M., vol. 125 - 1982.
- [5] A.H. NUTALL et D.W. HYDE,
"A unified approach to optimum and
suboptimum processing for arrays. Naval
underwater sound laboratory",
Rep. 992 - 1969.

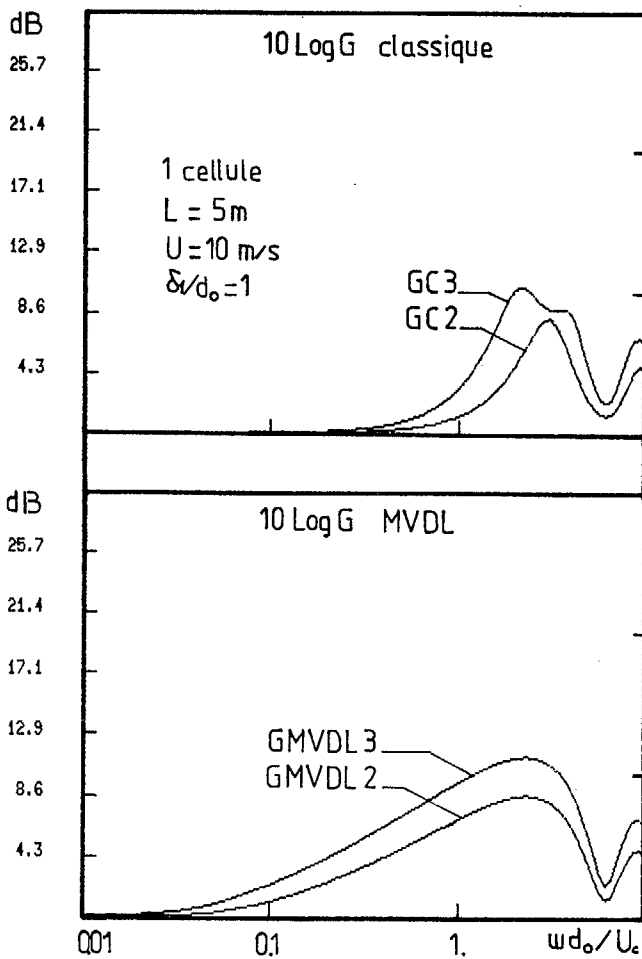


Figure 3 - Performances d'une antenne consti-
tuée d'une cellule à 2 ou 3 hydro-
phones.

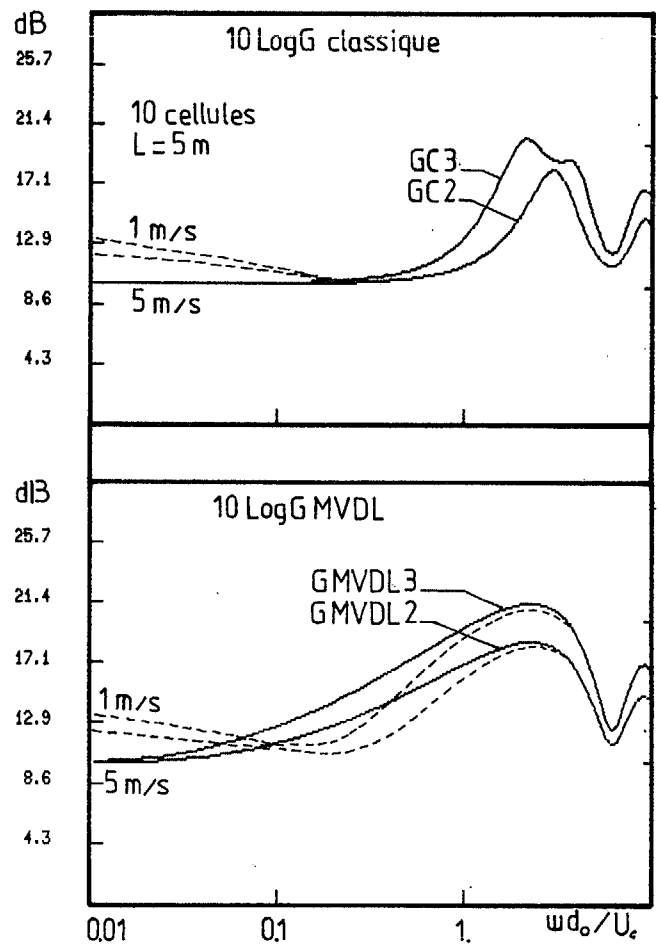


Figure 4 - Influence de la vitesse d'avance
de l'antenne sur ses performances.



REDUCTION DU BRUIT INDUIT PAR L'ECOULEMENT TURBULENT AUTOUR
DES ANTENNES TRACTEES.
OPTIMISATION DES GEOMETRIES

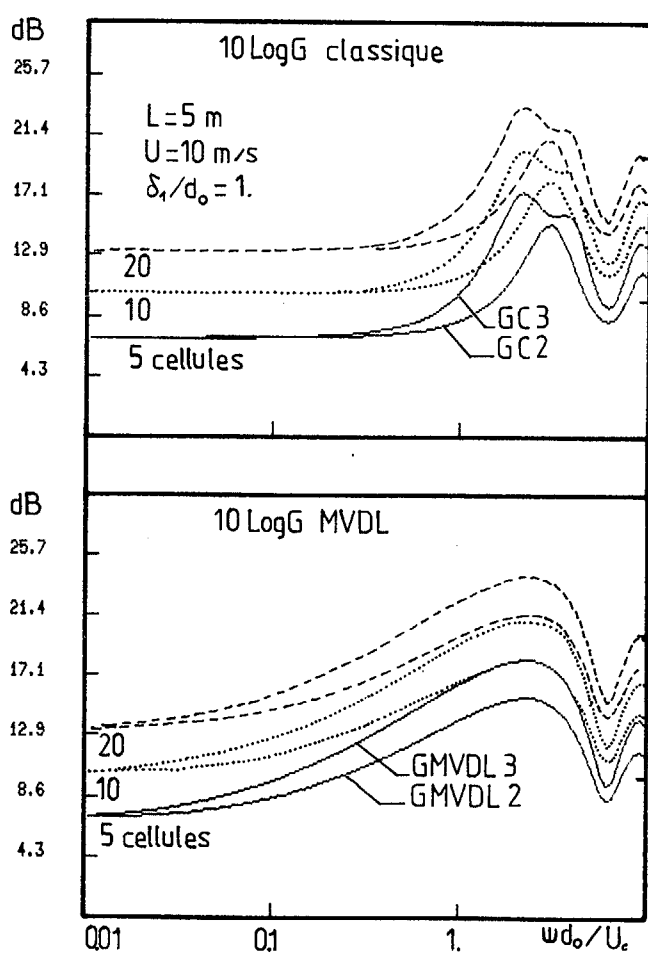


Figure 5 - Influence du nombre de cellules constituant l'antenne sur ses performances.

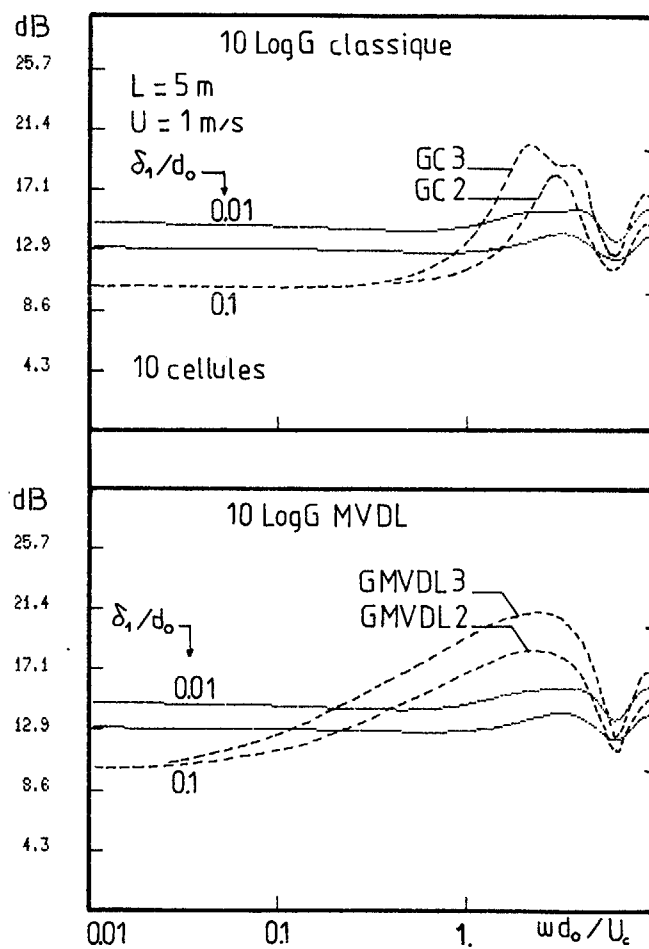


Figure 6 - Influence du paramètre δ_1/d_0 sur les performances d'une antenne à 10 cellules.

