

Identification des sources de bruit en présence d'une turbulence cinématique

M. SIDKI, M. BENNOUNA et D. JUVÉ*

Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Département Génie Electrique, BP. 765, Agdal Rabat, Maroc

** Ecole Centrale de Lyon, BP. 163, 69131 Ecully, France*

RESUME

On présente les résultats concernant l'influence de la propagation à travers une turbulence, sur les performances d'une méthode d'imagerie super-résolvante.

Cette méthode fait appel au traitement de la matrice des cohérences complexes entre les différents capteurs d'une antenne linéaire et ses performances sont dégradées par la turbulence qui introduit une perte de cohérence des signaux le long de l'antenne. Cette perte de cohérence spatiale peut-être reliée aux caractéristiques du milieu aléatoire traversé à partir d'une équation de moment déduit de l'approximation parabolique de l'équation de Helmholtz stochastique.

ABSTRACT

In recent years high resolution passive methods have been developed to estimate the directions and the power spectral densities sources. The influence of sound propagation through turbulence on a high resolution imaging technique is studied. We give results obtained by use of the detection and localization of two sources.

INTRODUCTION

L'imagerie des sources de bruit, c'est à dire la détermination des direction des sources et de leurs intensités relatives en fonction de la fréquence, est un problème dont les applications sont nombreuses tant en acoustique sous-marine qu'en acoustique aérienne. A titre d'exemples citons l'identification des sources de bruit sur un site industriel ou sur des véhicules en mouvement.

Si l'on veut discerner des sources plus rapprochées, il faut avoir recours soit à la déconvolution sous contrainte de positivité de l'intensité des sources soit à des méthodes de super-résolution utilisant des Hypothèses à priori sur le champ des sources et le milieu de propagation. Parmi ces méthodes la technique de Pisarenko spatiale adaptée à

l'analyse spectrale. Certes cette méthode dont nous avons décidé d'étudier le comportement vis à vis des fluctuations aléatoires du milieu.

VECTEUR SOURCE

Pour représenter la direction apparente de chaque source, on définit un vecteur dit "vecteur source" associé à la source (k) par :

$$\underline{S}^k = \sqrt{\Gamma^k(f)} [1, \phi_2^i, \dots, \phi_n^i]$$

où ϕ_j^i désigne la fonction de transfert entre le capteur (i) et le capteur (j) lorsque la source (k) émet toute seule, et où $\Gamma(f)$ est la densité spectrale de la source vue par le capteur de référence (1). Le vecteur source \underline{S} apparent est aussi déterminé par les différences de phases entre capteurs de l'antenne, qui sont elle mêmes la traduction à la fréquence f de différences entre temps de trajets. Le problème d'imagerie revient donc à déterminer la direction de la source θ^k et ceci peut être fait de deux façons:

soit en utilisant le sous espace associé aux valeurs propres non nulles, soit en travaillant dans le noyau de la matrice Interspectrale, c'est cette dernière solution que nous avons retenue; elle consiste à écrire l'orthogonalité du vecteur source et des vecteurs propres (\underline{V}_j) associés aux valeurs propres inférieures au seuil de signification, tel que :

$$\underline{V}_j^* \cdot \underline{S} = 0 \quad (* \text{ désigne conjugué transposé})$$

MODELISATION DU SPECTRE DE TURBULENCE

Pour étudier les effets de la turbulence cinématique sur la propagation d'une onde acoustique, dans le domaine des hautes fréquences, la vitesse de propagation des ondes en présence d'une turbulence cinématique est exprimée localement par la relation $C_0 + u'$, (C_0 est la célérité du son, u' la fluctuation turbulente de vitesse), alors que la fluctuation de pression satisfait approximativement à une équation de Helmholtz à indice aléatoire.

$$[\Delta + K_0^2(1 + \varepsilon(\vec{x}))] \hat{P}(\vec{x}) = 0$$

avec

$$\varepsilon(\vec{x}) = \frac{-2u'_x(\vec{x})}{C_0}$$

La quantité $\varepsilon(\vec{x})$ représente les fluctuations d'indice du milieu provoquées par l'écoulement turbulent, et $u'_x(\vec{x})$ désigne la composante de la vitesse fluctuante selon la direction de propagation \vec{x}

Diverses méthodes de résolution approchée de l'équation Helmholtz à indice aléatoire ont été proposées pour répondre à des spécifications particulières, nous avons utilisé l'approximation parabolique, et une modélisation du spectre de turbulence par une forme de Von Karman.

RESULTATS

Nous présentons les résultats d'une simulation numérique destinée à préciser

de façon quantitative l'effet de la turbulence sur la méthode de Pisarenko, pour un écartement entre sources de 2° .

Cette simulation est basée sur le fait que la décorrélation des ondes le long de l'antenne est convenablement prédite à partir de l'approximation parabolique et d'un modèle de Von Karman pour le spectre des fluctuations de vitesse.

Sur la figure (2-a) nous donnons l'évolution avec la vitesse d'écoulement des valeurs propres de la matrice interspectrale calculée pour une fréquence d'analyse de 40.125 Khz (antenne de réception a une longueur $L \sim 14\lambda$) On remarque que les valeurs propres calculées à partir de la matrice interspectrale correspondent très bien en particulier à λ_3 et λ_4 sont liées directement à l'écoulement. Les résultats de localisation des sources sont donnés sur la fig(2-b), pour les deux sources, les solutions des deux équations d'orthogonalité sont encore assez voisines pour des vitesses relativement faibles.

CONCLUSIONS

La présence de turbulence le long du chemin de propagation provoque une décorrélation partielle des ondes le long de l'antenne. Il en résulte une altération des propriétés de la matrice interspectrale avec en particulier une croissance des valeurs propres non associées aux sources qui rend plus difficile la détection du nombre de sources émettant simultanément. (nombre qui en l'absence de bruit est égale au rang de la matrice interspectrale). Parallèlement la localisation des sources devient moins précise à des vitesses d'écoulement supérieures à 5 m/s.

Donc la turbulence, telle que l'on peut la rencontrer lors d'expériences dans l'atmosphère, limite le facteur de super-résolution de la méthode de Pisarenko. Ce résultat qui correspond à l'application brutale d'un modèle de propagation en ondes planes dans des conditions où il n'est pas une bonne approximation de la réalité et il pourrait sans doute être amélioré en utilisant un traitement plus adapté, prenant en compte l'existence d'une décorrélation entre capteurs de l'antenne.

REFERENCES

Books:[1] V.I.Tatarski.The effets of turbulent atmosphere on wave propagation IPST, Keter Press, Jerusalem. 1971.

J.L.Lacoume: Modèles et traitements des signaux multidimensionnels. Rapport CEPHAG N°15/87.

D.Juvé, Ph.Blan-Benon, M.Sidki: Imagerie des sources ponctuelles en milieu aléatoire.Revue d'Acoustique 1985, 73, p:191-205.

M.Sidki, D.Juvé: Effet de la propagation en milieu turbulent sur l'imagerie acoustique, Revue du Cethedec, ondes et signal 1984 N° 79.

M.Sidki, M.Bennouna, D.Juvé: Detection et localisation des sources de bruit en milieu turbulent. International 90 Rabat conference, signals & systems Avril 9-11, 1990.

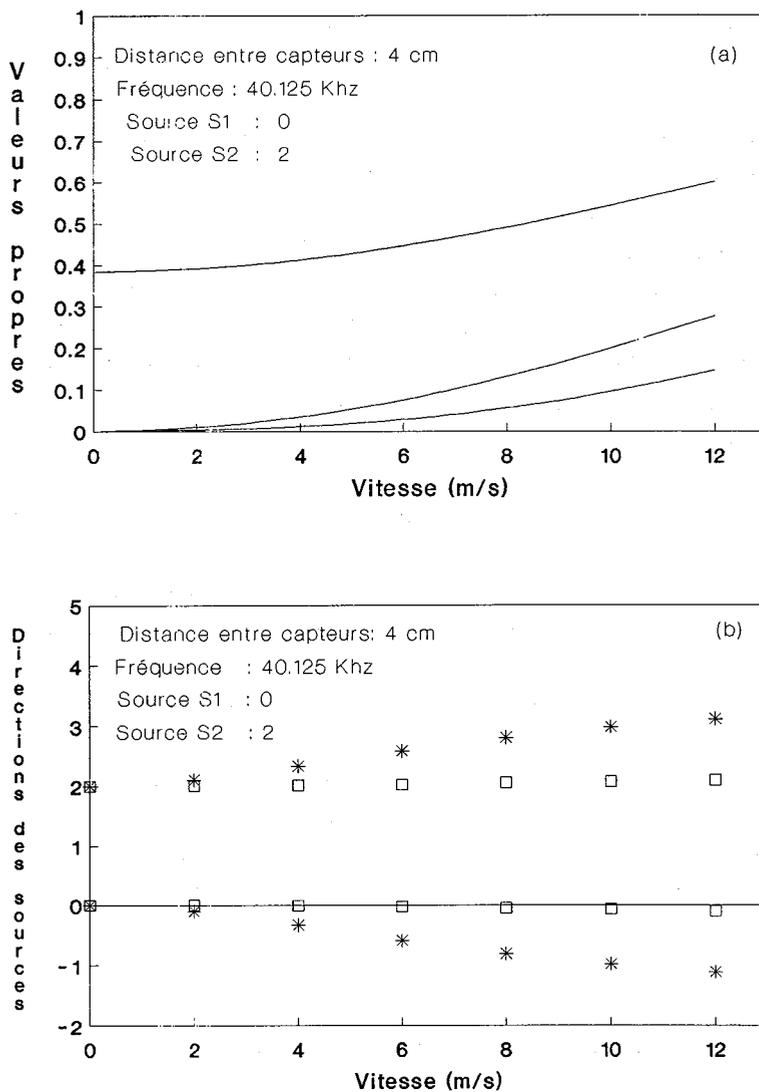


Figure (2) (a) : Evolution du rapport λ_i/λ_1 ($i=2,3,4$) avec la vitesse
 (b) : Evolution de la répartition angulaire avec la vitesse.
 Cas d'une antenne longue (14λ) en présence de turbulence avec 2 sources.