



**LOCALISATION DE SOURCES ACOUSTIQUES COMPLEXES
PAR ANTENNE FOCALISEE
A L'AIDE D'UN MODELE A DEUX SOURCES**

Luc Bondant et Patrice Malbéqui

Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales,
BP 72, 92322 Châtillon Cedex

RÉSUMÉ

La localisation de sources acoustiques est souvent effectuée à l'aide d'un réseau linéaire de capteurs. Le traitement d'antenne focalisée (dans la zone de Fresnel de l'antenne) par formation de voies, fondé sur une représentation du champ acoustique rayonné à l'aide d'un modèle à une source ponctuelle omnidirectionnelle, ne permet pas toujours de localiser avec précision des sources complexes. On montre dans cette communication que l'on peut élargir sensiblement le champ d'application des antennes focalisées, tout en gardant un temps de calcul raisonnable, en utilisant un modèle à deux sources. Des expériences de base ont été réalisées en chambre anéchoïque afin d'évaluer les performances de ce modèle. La comparaison avec les résultats obtenus avec le modèle à une source montre l'efficacité en localisation du modèle à deux sources pour des sources de type dipolaire ou directives, et cela en particulier en présence de faible rapport signal sur bruit.

1. INTRODUCTION

La formation de voies a été appliquée avec succès aux antennes focalisées afin de localiser les sources sonores rayonnées par une structure ou un écoulement bruyant [1]. La formation de voies, fondée sur un modèle à une source ponctuelle omnidirectionnelle, est suffisante pour assurer une localisation précise dans la majorité des cas. Les situations telles que source très directive (dans l'ouverture angulaire de l'antenne), distribution continue de sources ou nombreuses sources discrètes, appelées par la suite "sources complexes", échappent à cette robustesse. L'inconvénient majeur de la formation de voies appliquée à ces cas complexes est qu'elle conduit parfois, non pas à une absence de localisation, mais à une localisation erronée [2]. Lorsque la formation de voies n'est plus adaptée, on peut utiliser un modèle à deux sources ponctuelles omnidirectionnelles, cohérentes ou non, qui permet de retrouver une localisation correcte. Le but de cette

ABSTRACT

The localization of acoustic sources using a linear sensors array (antenna) is of interest in many practical cases. The focused antenna processing by beamforming, based on one monopolar source model, does not always allow an accurate localization of complex sources located in the near-field of the antenna. The two point sources model enables us to improve the performances of the focused antennas without being excessively time consuming. Experiments were carried out in order to evaluate the efficiency of the two sources model. Comparisons between the one source and the two sources models show the robustness of the two sources model, particularly in cases of dipole sources or directive sources and low signal to noise ratio.

communication est de présenter ce modèle, ainsi qu'une application dans un cas de sources dipolaires.

2. MODELES DE CHAMPS

Pour le modèle à une source, la fonction de localisation est la fonction de cohérence d'antenne, fondée sur un modèle à une source ponctuelle omnidirectionnelle, et donnée à

$$\text{chaque fréquence } \nu \text{ par : } \gamma^2(\nu, F) = \frac{\underline{u}^* \hat{\Gamma} \underline{u}}{\underline{u}^* \underline{u} \cdot \text{tr}(\hat{\Gamma})}$$

où $\hat{\Gamma}$ est la matrice interspectrale estimée des signaux de l'antenne, $\text{tr}(\hat{\Gamma})$ la trace de cette matrice et $\underline{u}(F)$ le vecteur de focalisation au point F. Sa $j^{\text{ème}}$ composante est donnée par : $(\underline{u})_j = \exp(ikR_{Fj})/R_{Fj}$ où R_{Fj} est la distance radiale de F au $j^{\text{ème}}$ microphone et k le nombre d'onde acoustique. $\gamma^2(\nu, F)$ fournit la proportion de la puissance totale reçue sur l'antenne que l'on peut "expliquer" par la présence d'un monopôle placé



en F . Elle est ainsi un indicateur, non seulement pour la localisation, mais aussi pour l'adéquation du modèle au champ reçu sur l'antenne. En l'absence de bruit et en présence d'une source monopolaire au point S , elle est égale à l'unité lorsque F coïncide avec S .

Pour le modèle à deux sources, la fonction de localisation est aussi une fonction de cohérence, obtenue par la méthode du maximum de vraisemblance et définie comme l'estimateur de la position de deux sources ponctuelles omnidirectionnelles. Elle est donnée par :

$$\gamma^2(v, F_1, F_2) = \frac{\underline{u}_1^+ \cdot \hat{\Gamma} \cdot \underline{u}_1 \underline{u}_2^+ \cdot \hat{\Gamma} \cdot \underline{u}_2 - 2 \operatorname{Re}[\underline{u}_1^+ \cdot \hat{\Gamma} \cdot \underline{u}_2 \cdot \underline{u}_1^+ \underline{u}_2]}{(1 - |\underline{u}_1^+ \underline{u}_2|^2) \cdot \operatorname{tr}(\hat{\Gamma})}$$

où \underline{u}_1 et \underline{u}_2 sont les vecteurs de focalisation aux positions respectives F_1 et F_2 . De même que pour le modèle à une source, $\gamma^2(v, F_1, F_2)$ est un indicateur pour l'adéquation du modèle à deux sources et est égale à l'unité lorsque les deux points de focalisation coïncident avec les positions des deux sources monopolaires. On démontre que la forme de γ^2 est identique lorsque les deux sources sont cohérentes ou incohérentes.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Lors d'une expérience en chambre source, on place deux sources électro-acoustiques, séparées de 16 cm, en face d'une antenne constituée de onze microphones (figure 1). Les sources sont alimentées en opposition de phase et en large bande (500-4500 Hz). Elles réalisent en première approximation un dipôle aux basses fréquences.

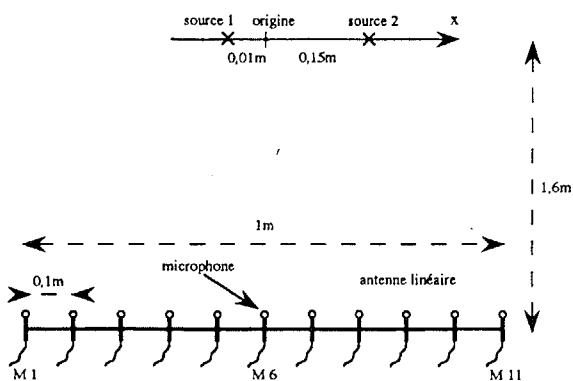


Figure 1 - Deux sources en opposition de phase.

γ^2 pour la formation de voies est calculée, à partir de la matrice interspectrale $\hat{\Gamma}$, pour 128 fréquences dans la bande 0 - 15 kHz et pour 100 points de focalisation. La focalisation est effectuée sur une droite contenant les deux sources, parallèle à l'antenne et sur une longueur de 3 m ($x = -1,5$ m à 1,5 m).

Dans les mêmes conditions, γ^2 pour le modèle à deux sources est calculée, à chaque fréquence, sur $100 \times 99/2$ couples de points de focalisation (γ^2 est symétrique en F_1 et F_2). Le temps de calcul attendu est donc 50 fois plus important que pour le modèle à une source. Pour le réduire, on procède au calcul de γ^2 après diagonalisation de $\hat{\Gamma}$. Pour une matrice $\hat{\Gamma}$ de dimension 11, le rapport des temps de traitement sur ordinateur est alors réduit à 7.

La figure 2 présente les résultats de la formation de voies. Les positions réelles des sources sont indiquées par deux traits horizontaux ($x = -1$ cm et 15 cm). Une autre représentation de γ^2 faisant apparaître à chaque fréquence les deux plus grands maxima est présentée figure 3. Aux fréquences élevées, la localisation est correcte (les régions de forme hyperbolique sont dues à un effet de repliement spatial). Aux basses fréquences, on trouve deux maxima à des niveaux de l'ordre de 0,6, qui s'écartent lorsque la fréquence décroît. Ce comportement est typique d'un dipôle. En effet, lorsque l'écartement des sources est inférieur au pouvoir de résolution de l'antenne, elles se comportent pratiquement comme un dipôle axial. Les positions des maxima ne correspondent plus à celles des sources et leur écartement est sensiblement égal à la largeur du lobe de l'antenne. Pour cette configuration de base, le modèle à une source ne permet donc pas de localiser correctement les sources en basse fréquence.

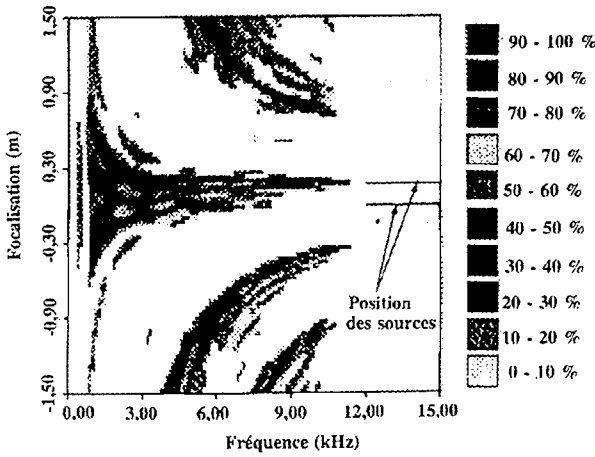


Figure 2 - Cohérence de la formation de voies.
Représentation standard.

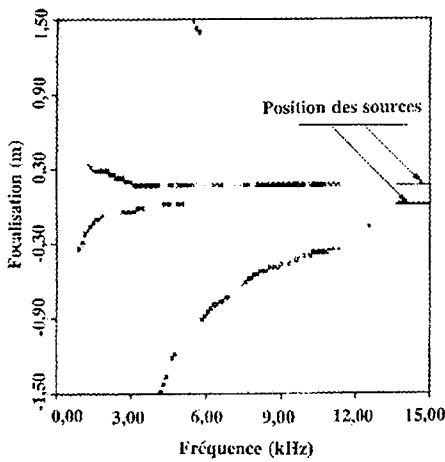


Figure 3
Cohérence de la formation de voies.
Représentation des maxima.

La figure 4 présente γ^2 calculée par le modèle à deux sources, à une fréquence donnée, en fonction des deux points de focalisation. γ^2 présente son maximum pour un couple F_{1max} et F_{2max} de points de focalisation. Après avoir calculé γ^2 à toutes les fréquences, les positions F_{1max} et F_{2max} sont reportées sur la représentation portée figure 5. Sur la figure 4, on observe une forme en double croix aux deux positions des sources, le maximum étant atteint aux intersections de ces croix. Cette forme est typique de la fonction de cohérence de l'antenne pour le modèle à deux sources. La figure 5 met en évidence la présence de deux sources. Contrairement à la figure 3, il apparaît que leurs positions sont proches des positions réelles des sources, y compris à basse fréquence. Enfin, la valeur de la cohérence à toutes fréquences est proche de l'unité ce qui montre, comme attendu, que le modèle à deux sources est bien adapté à cette configuration.

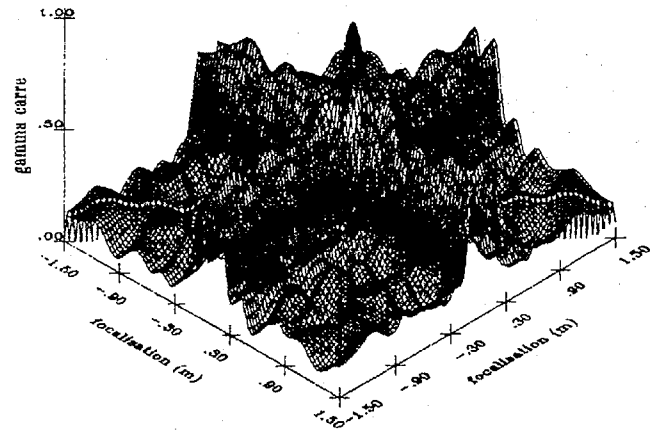


Figure 4
Cohérence du modèle à deux sources.
Représentation complète à 3,1 kHz.

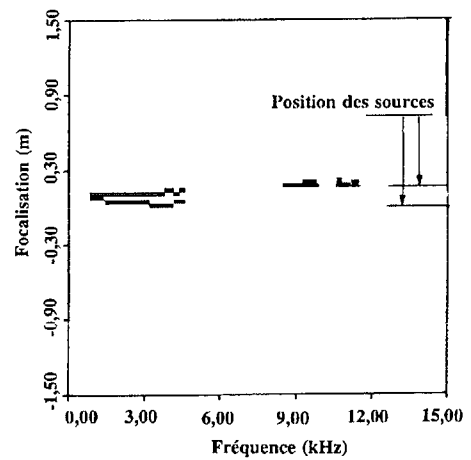


Figure 5
Cohérence du modèle à deux sources.
Représentation par maxima.

Pour tester la robustesse du modèle à deux sources au bruit, un bruit décorrélé numérique a été ajouté aux signaux des microphones. Le modèle à deux sources, de même que celui à une source, permet une détection et une localisation des sources jusqu'à un RSB de -15 dB par fréquence. En dessous de ce seuil, les deux méthodes s'avèrent inopérantes. Ceci est conforme aux estimations théoriques qui prévoient avec 11 capteurs un seuil de -10 dB.

4. CONCLUSION

On s'est attaché dans cet article à montrer qu'en utilisant une antenne linéaire focalisée, le modèle à deux sources permet de localiser correctement les sources, et cela, en particulier, en présence de faible rapport signal sur bruit, dans les cas de sources acoustiques complexes. Comme pour la



formation de voies, un bon critère de détection et de localisation des sources est donné par la fonction de cohérence associée au modèle. On a montré ici la supériorité du modèle à deux sources sur la formation de voies dans un cas expérimental simple. En fait, cette supériorité a également été démontrée sur d'autres configurations expérimentales, et est conservée en présence d'un faible RSB. Cependant, la méthode à deux sources requiert un volume de calcul important. On suggère donc de la réserver dans les cas où la formation de voies donne manifestement des localisations ambiguës.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - Elias G., Malmey C., "Utilisation d'antennes focalisées pour la localisation des sources acoustiques", 11ème Congrès International d'Acoustique, Paris, Revue d'Acoustique, Vol. 6, p. 163, juillet 1983.
- [2] - Elias G., "Localisation par antenne focalisée des sources de bruit en vue de leur réduction", Entretiens "Science et Défense", mai 1990.