PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE DANS LES BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE

P. Naz, G. Parmentier, S. Canard-Caruana

► To cite this version:

P. Naz, G. Parmentier, S. Canard-Caruana. PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE DANS LES BASSES COUCHES DE L'ATMOSPHERE. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-745-C1-748. 10.1051/jp4:19921162 . jpa-00251122

HAL Id: jpa-00251122

<https://hal.science/jpa-00251122>

Submitted on 1 Jan 1992

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.

PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE DANS LES BASSES COUCHES DE L'ATMOSPÈRE

P. NAZ, G. PARMENTIER et S. CANARD-CARUANA*

Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis (ISL), BP. 34, F-68301 Saint-Louis, France

**Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA), BP. 72, F-92322 Châtillon cedex, France*

Résumé - La propagation du son dans les basses couches de l'atmosphère a été étudiée avec des approches expérimentales et numériques pour des distances de propagation variant de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Les signaux expérimentaux montrent que la propagation acoustique est influencée par les paramètres météorologiques et par leurs fluctuations. Des expériences menées avec des sources sonores électro-acoustiques et avec des aéronefs montrent une évolution du niveau sonore au cours de la journée ainsi qu'une variabilité en fonction de la fréquence de la source sonore étudiée. Les fluctuations des données météorologiques ont été schématisées et une prise en compte simplifiée de ces fluctuations a été envisagée sous forme statistique et intégrée dans un programme de calcul de rayons.

Abstract - Acoustic noise propagation in the low atmosphere has been studied experimentally for propagation distances varying between some hundred meters and some kilometers. Experimental signals show that the acoustical propagation is influenced by the meteorological parameters and by their fluctuations. During experiments made with electroacoustic sources and with helicopters, variations of the sound level during the day and as a function of the frequency have been noticed. The fluctuations of the meteorological data are described by a statistical formulation and are included in a ray tracing model.

1 - INFLUENCE DES GRADIENTS METEOROLOGIQUES

La propagation d'un bruit appartenant à la gamme des fréquences audibles est affectée par la topographie du terrain, la nature du sol et les conditions atmosphériques.

L'ISL, en collaboration avec l'ONERA, a entrepris des expérimentations en extérieur, visant à mettre en évidence l'effet des conditions atmosphériques sur la propagation des ondes acoustiques [1]. Les paramètres météorologiques ont un poids important : compte tenu des effets conjugués des gradients de vent et de température, on peut observer un renforcement du niveau acoustique ou, au contraire, la création de zones d'ombre. Ces phénomènes sont observables soit au cours de journées différentes ayant des situations météorologiques très marquées, soit au cours de certaines journées compte tenu de l'évolution des paramètres météorologiques entre le lever et le coucher du soleil (fig. 1).

Fig. 1 : Evolution en cours de journée de l'atténuation ($f = 1000$ Hz)

2 - INFLUENCE DES FLUCTUATIONS METEOROLOGIQUES

La turbulence atmosphérique, due à la fois à des phénomènes thermiques et aérodynamiques, crée des fluctuations de l'indice de réfraction acoustique le long du chemin de propagation entre la

source et le récepteur. Ces fluctuations ont pour effet de moduler la phase et l'amplitude de la pression acoustique au niveau du récepteur et de diminuer la cohérence entre l'onde directe et l'onde réfléchiée par le sol.

2-1 Mesures acoustiques

Lors de l'expérience [1], des trains d'ondes successifs ont été émis par la source acoustique et reçus par des microphones placés à différentes distances de la source. A partir de ces mesures, l'ONERA a réalisé une analyse des fluctuations dues à la turbulence du niveau acoustique de chaque train d'ondes [2]. Les histogrammes des niveaux acoustiques des trains d'ondes montrent une dispersion des niveaux acoustiques croissant en fonction de l'éloignement à la source (fig. 2).

Fig. 2 : Histogramme des niveaux acoustiques des trains d'ondes ($f = 100$ Hz)

En champ éloigné, le bruit d'un hélicoptère est formé en grande partie de deux séries de raies discrètes dues au bruit aérodynamique du rotor principal d'une part et du rotor arrière d'autre part. Les niveaux de bruit correspondant aux fréquences principales du rotor avant et du rotor arrière ont été dépouillées en fonction de la distance de propagation. Conformément à la théorie, on retrouve une atténuation plus marquée pour les hautes fréquences que pour les basses fréquences (fig. 3). En se basant sur plusieurs analyses spectrales successives, on retrouve le fait que les fluctuations du niveau de bruit augmentent avec la distance et ce d'autant plus que la fréquence est élevée (dans la gamme 10 - 1000 Hz).

Fig. 3 : Fluctuation de l'atténuation en fonction de la distance de propagation

2-2 Mesures micrométéorologiques

Les fluctuations acoustiques dépendent des variations des paramètres thermodynamiques et dynamiques sur le terrain au cours de l'expérience. Les variations "rapides" de la vitesse du vent et de la température sont aléatoires mais ont des propriétés statistiques déterministes, dont la caractérisation passe par la description et la quantification de la turbulence atmosphérique et de ses

propriétés statistiques au cours de l'expérience (échelle et intensité). Afin de caractériser quelques aspects quantitatifs de la turbulence atmosphérique, un sodar Doppler à trois antennes a été utilisé par le CRPE [3]. Dans les basses couches de l'atmosphère, le sodar permet de mesurer la distribution spatiale (altitude comprise entre 20 et 500 m) et temporelle de la turbulence (mesure élémentaire toutes les 4 s). L'évolution en fonction de l'altitude et du temps permet de se rendre compte de la variation de la vitesse du vent au cours de la journée (fig. 4). On observe que la vitesse du vent croît avec l'altitude et qu'elle est maximale en début d'après-midi. Pour l'intensité de la turbulence, la tendance est identique avec des maxima en milieu de journée pour les trois jours reportés figure 5.

Fig. 4 : Profil du module de la vitesse du vent

Fig. 5 : Intensité de la turbulence

3 - SIMULATIONS NUMERIQUES

Les simulations numériques de la propagation acoustique permettent de vérifier l'influence des conditions atmosphériques et d'en quantifier les effets. L'ONERA [4] a plus particulièrement développé des codes de calcul basés sur l'équation parabolique, tandis que l'ISL a réalisé des modélisations fondées sur la méthode des rayons [5]. Ce dernier type de code permet d'obtenir les trajectoires des rayons sonores ainsi que le champ des pressions acoustiques au sol ou en altitude. Ces calculs sont réalisés à partir des équations de base (1) à (3), suivant le schéma de principe de la figure 6.

Fig. 6 : Rayon sonore

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{C}_g = \vec{V}_E + \frac{\vec{k}}{|\vec{k}|} \cdot C \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{k}}{dt} = -\vec{k} \cdot \text{grad } C - k_j \cdot \text{grad } V_{Ej} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = 0 \quad (3)$$

avec

C	: célérité du son
$\vec{k}$	: vecteur d'onde
t	: temps
$\vec{V}_E$	: vitesse du vent
ψ	: phase
$\vec{r}$	: coordonnées

Suivant une démarche introduite par KRAICHNAN [6] et reprise par BLANC-BENON et JUVÉ [7], la turbulence cinématique du milieu est modélisée par un champ de vitesse turbulente schématisé par la superposition de n ondes planes transverses (modes de Fourier) (4). Dans cette première étape de la modélisation, la turbulence est supposée homogène isotrope. La répartition énergétique de structures de tailles différentes est définie par un spectre de type von Kàrmàn (5). Après avoir généré un champ aléatoire de vitesse, la propagation des rayons acoustiques est calculée dans ce milieu turbulent supposé "gelé" pendant le temps de traversée des ondes acoustiques. Les équations (1) et (2) sont modifiées en conséquence pour tenir compte du champ de vitesse turbu-

lente (4). Par souci de simplification, nous nous plaçons dans le cas d'une géométrie bidimensionnelle associée à une turbulence homogène isotrope. Après le tirage statistique des variables aléatoires, cette méthode permet d'obtenir différents tracés de rayons dont les trajectoires peu rectilignes sont dues aux inhomogénéités de l'atmosphère. De plus, un échantillon statistique des atténuations au sol est obtenu [8]. La figure 7 représente les tracés des rayons correspondant à 3 réalisations différentes.

$$\vec{V}_t(\vec{r}) = \sum_{\ell=1}^n \vec{U}(k^\ell) \cos(\vec{K}^\ell \cdot \vec{r} + \psi^\ell) \quad (4)$$

$$|U^2(k^\ell)| = E(k^\ell) \Delta k^\ell$$

$$E(k) = \frac{\Gamma_{(5/6)}}{3\sqrt{\pi} \Gamma_{(1/3)}} \cdot \frac{L_0 <v^2>}{(1 + k^2 L_0^2)^{5/6}} \quad (5)$$

avec E : spectre d'énergie cinétique
 $\vec{K}^\ell$: vecteur d'onde (mode ℓ)
 k^ℓ : nombre d'onde (mode ℓ)
 Δk^ℓ : écart entre deux nombres d'onde
 Γ : fonction gamma
 $<v^2>$: valeur quadratique des fluctuations de vitesse
 $\vec{V}_t$: vitesse turbulente
 L_0 : échelle intégrale des fluctuations de vitesse
 ψ^ℓ : phase (mode ℓ)
 n : nombre de modes de Fourier

Fig. 7 : Rayons sonores - atmosphère turbulente (3 tirages)

4 - CONCLUSION

La propagation, dans la basse atmosphère, d'ondes sonores basses fréquences est sensible aux conditions météorologiques et à leurs fluctuations. A grande distance, ces fluctuations induisent des variations importantes de l'intensité acoustique. Ces variations aléatoires ont des propriétés statistiques déterministes, ce qui permet de quantifier de manière satisfaisante les effets grâce à des schématisations numériques.

La méthode présentée permet un calcul réaliste des atténuations au sol, mais nécessite les moyens de mesurer les paramètres caractéristiques de la turbulence dans des conditions expérimentales non définies a priori. Cette méthode pourrait être étendue en tenant compte du caractère anisotrope de l'atmosphère, ce qui nécessiterait une caractérisation accrue du milieu ambiant.

RÉFÉRENCES

- [1] PARMENTIER G., VERMOREL J., GNEMMI P., BURDE E., CANARD S., LEWY S., La propagation acoustique dans la basse atmosphère. Campagne d'essais à Villeau (Beauce). Rapport ISL, RT 501/88
- [2] CANARD-CARUANA S., Propagation acoustique à basse altitude : effet de la turbulence atmosphérique (essais de Villeau). Rapport ONERA, RT n°15/3641 PY
- [3] WEILL A., KLAPISZ C., BAUDIN F., The CRPE minisodar : Application in micrometeorology and in physics of precipitations. Atmospheric Research, 20, pp. 317-333, Elsevier, Pays-Bas, 1986
- [4] MALBEQUI P., Propagation acoustique en basse altitude. Rapport ONERA, TP n°1989-76
- [5] VERMOREL J., La propagation acoustique dans la basse atmosphère. Rapport ISL, R 126/87
- [6] KRAICHNAN R.H., Diffusion by a random velocity field. Phys. Fluids, Vol. 13, n° 1, pp. 22-31, 1970
- [7] BLANC-BENON Ph., JUVÉ D., Simulation numérique de la propagation des ondes acoustiques dans une turbulence bidimensionnelle par une méthode de rayons. Journal de Physique, Supplément n°2, Tome 51, pp. 1149-1152, Février 1990
- [8] NAZ P., PARMENTIER G., Influence des fluctuations des facteurs météorologiques sur la propagation du bruit des hélicoptères dans la basse atmosphère. Rapport ISL, R 112/90