



HAL
open science

PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE : INFLUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

M. Berengier, V. Zouboff, J. Bertrand, F. Curran

► **To cite this version:**

M. Berengier, V. Zouboff, J. Bertrand, F. Curran. PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE : INFLUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES. *Journal de Physique Colloques*, 1990, 51 (C2), pp.C2-1157-C2-1160. 10.1051/jphyscol:19902271 . jpa-00230603

HAL Id: jpa-00230603

<https://hal.science/jpa-00230603>

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.

PROPAGATION ACOUSTIQUE À GRANDE DISTANCE : INFLUENCE DES CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES

M. BERENGIER, V. ZOUBOFF*, J. BERTRAND* et F. CURRAN*

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Division G.E.R., BP. 19,
F-44340 Bouguenais, France

*Laboratoire Régional d'Angers, BP. 66, 23 Avenue de l'Amiral Chauvin,
F-49130 Les Ponts de Ce, France

Résumé - Prédire des niveaux sonores à grande distance n'est point aisé, tant la propagation acoustique en milieu extérieur est complexe. Cet article détaille deux approches permettant d'appréhender ce phénomène. L'une théorique qui modélise à la fois les effets de sol et les effets atmosphériques, l'autre expérimentale qui définit à partir d'une banque de données, diverses classes mettant en relation des états atmosphériques et des atténuations sonores.

Abstract - Because of the complexity of the phenomenon, it is difficult to predict acoustic levels on outdoor long distance propagation. This paper deals with two different ways to approach it. A theoretical model which takes into account both ground effect and meteorological conditions and an experimental study which defines several acoustical/meteorological classes from a databank.

1) INTRODUCTION

Les turbulences atmosphériques sont actuellement reconnues comme étant des facteurs majeurs influençant la propagation acoustique en milieu extérieur. Ces perturbations produites par des modifications aléatoires du milieu de propagation peuvent être approchées soit d'une façon théorique, soit d'une façon expérimentale par classification des effets par ordre d'importance et mise en corrélation avec des résultats de mesure sur site. Ces deux approches sont complémentaires et très utiles dans l'optique d'estimations prévisionnelles des niveaux sonores autour de site bruyants (réseau routier, installations classées...)

2) APPROCHE PAR LA MODELISATION

Il s'agit de résumer la théorie [1] de la propagation des ondes au voisinage des sols d'impédance finie. Dans le cas où le milieu est turbulent, le champ acoustique en provenance d'une source S en un point de réception R est donné par la relation:

$$p = \frac{A_d}{r_d} \cdot \exp [i k_d r_d] + Q \cdot \frac{A_r}{r_r} \cdot \exp [i k_r r_r] \quad (1)$$

où A_d , A_r , k_d , k_r représentent les fluctuations d'amplitudes et de nombre d'ondes, en présence de turbulence, des ondes directes et réfléchies. En milieu cohérent, $A_d=A_r=A_0$ et $k_d=k_r=k_0$.

- r_d et r_r représentent les distances respectives source-récepteur et source image-récepteur.

- Q est le coefficient de réflexion en onde sphérique calculé à partir de la relation $(R_p + (1-R_p)F(w))$ [2] (R_p : coefficient de réflexion en onde plane).

La pression acoustique réellement mesurée est en fait $\langle p^2 \rangle$. En considérant que $A_d=1+a_d$, $A_r=1+a_r$, $k_d r_d = k r_d + \delta_d$ et $k_r r_r = k r_r + \delta_r$ où k est le nombre d'onde en absence de turbulence, et sachant que les quantités a_d , a_r , δ_d , δ_r sont des variables gaussiennes avec $\langle a_r^2 \rangle^{1/2}$, $\langle a_d^2 \rangle^{1/2}$, σ_{δ_d} , σ_{δ_r} pour écarts types respectifs, nous obtenons dans le cas où $\langle a_r^2 \rangle = \langle a_d^2 \rangle = \langle a^2 \rangle$,

$$\langle p^2 \rangle = (1 + \langle a^2 \rangle) \cdot \left\{ \frac{1}{r_d^2} + |Q|^2 \cdot \frac{1}{r_r^2} \right\} + \frac{2|Q|}{r_d \cdot r_r} \cdot (1 + \langle a^2 \rangle \cdot \rho_a) \cdot \cos(\phi + \gamma) \cdot e^{-\sigma_d^2(1-\rho_d)} \quad (2)$$

où, $\phi = k(r_r - r_d)$; γ est la phase de Q ($Q = |Q| \cdot e^{i\gamma}$), ρ_d et ρ_a sont respectivement les covariances d'amplitude et de phase.

En effectuant divers calculs, nous pouvons ramener les expressions des variables statistiques en fonction d'une corrélation spatiale $\langle \mu^2 \rangle$ qui traduit une intensité de turbulence et d'une mesure d'échelle de turbulence L . Pour un état atmosphérique classique (vitesse du vent comprise entre 0 et 4-5 m/s) $\langle \mu^2 \rangle$ peut prendre une valeur comprise entre 2 et $25 \cdot 10^{-6}$ et L est voisine de 1 [3]. Pour un milieu cohérent, $\langle \mu^2 \rangle = 0$. L'exemple représenté sur la figure 1 répond à ces conditions.

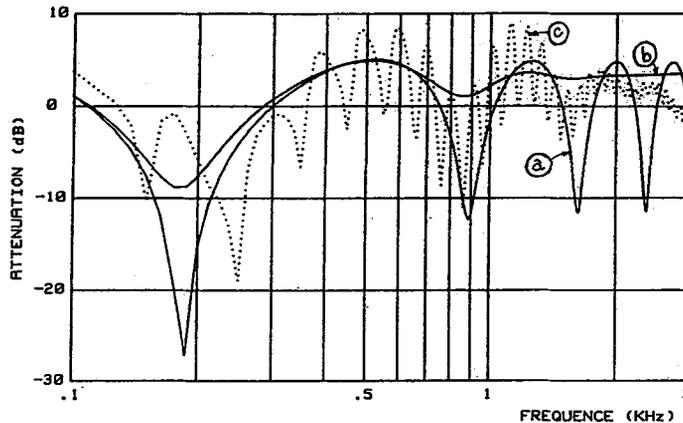


Fig. 1 - Atténuation excédentaire relative au champ libre à 160 m ($h_s = h_r = 6m$)
 a) Acoustique cohérente
 b) $\langle \mu^2 \rangle = 20 \cdot 10^{-6}$; $L = 1$
 c) Expérimentation

Lorsque les effets de gradient (température et vitesse de vent) sont très fortement marqués, nous sommes en présence de zone d'ombre acoustique avec des rayons sonores incurvés. Pour le cas d'un fort gradient négatif (cas d'une propagation pendant une journée très ensoleillée), les rayons sont incurvés vers le haut. Nous avons donc une zone réfractive à l'intérieur de laquelle la propagation acoustique est régie par la théorie des "ondes rampantes" [4] qui exprime la pression acoustique en termes de modes de propagation. La figure 2 illustre ce phénomène.

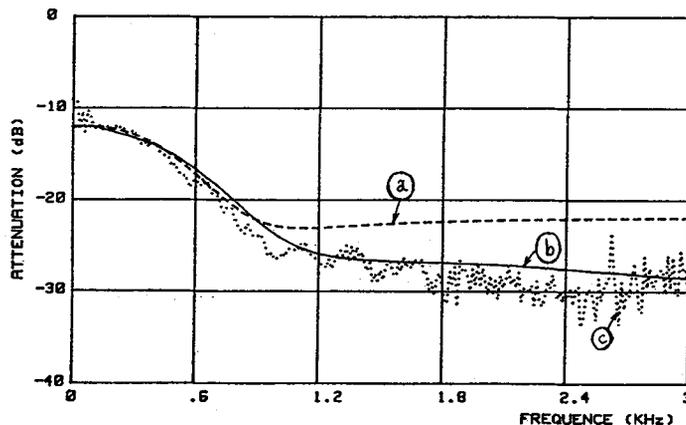


Fig. 2 - Atténuation excédentaire entre 4 et 16 m ($h_s = 0.05m$, $h_r = 0.5m$)
 a) Théorie des rayons rectilignes
 b) Théorie des "ondes rampantes" (zone d'ombre)
 c) Expérimentation

L'ensemble de ces modèles font appels à la connaissance des caractéristiques d'impédance des sols au voisinage desquels se propage l'onde acoustique. Pour l'ensemble de nos expérimentations, nous avons fait appel à deux modèles de conceptions voisines; celui de Delany et Bazley [5] qui exprime l'impédance du sol en fonction du seul paramètre σ (Résistance spécifique au passage de l'air) et celui mis au point au LCPC [6] qui est un modèle paramétrique dont chaque paramètre est obtenu après un calage sur des mesures d'atténuation sous incidence rasante.

3) APPROCHE EXPERIMENTALE

3-1. Buts

Parallèlement aux aspects théoriques, nous menons une approche expérimentale dont les buts sont essentiellement de constituer une base de données, d'établir une classification des conditions atmosphériques et de tenter de définir des relations quantitatives empiriques, utiles pour des applications opérationnelles. Cette recherche est donc destinée à fournir, au moins qualitativement dans un délai assez bref, des informations directement utilisables par des techniciens confrontés aux problèmes de terrain.

3-2. Description de l'expérimentation

Les mesures se sont déroulées dans la plaine de la Crau, constituant un espace parfaitement plan et dégagé sur plusieurs kilomètres, et présentant de faibles variations d'impédance acoustique. Au cours de l'expérimentation, des mesures régulières d'impédance du sol ont toutefois été réalisées, afin d'en connaître la valeur et d'en quantifier son effet. Le dispositif expérimental comprenait une source située à 6 m de hauteur, constituée d'un haut-parleur électro-pneumatique émettant un bruit aléatoire dans les quatre octaves: 250, 500, 1000 et 2000 Hz. Des microphones placés à 1.5 m et 6 m de hauteur étaient disposés en ligne à 20, 40, 80, 160, 320 et 640 m de distance par rapport à la source. Un mât de 22 m de hauteur, placé au milieu de la ligne de mesure supportait un ensemble de capteurs fournissant l'état météorologique à 0, 5, 10 et 22 m (vitesse horizontale du vent, température, ensoleillement au sol, hygrométrie à 2m, direction horizontale du vent à 10 m). Parallèlement, la couverture nuageuse, la nature des nuages et la hauteur du soleil étaient notés. Un fichier de 195 échantillons a pu ainsi être constitué. Il associe les niveaux de bruit et les états météorologiques. Chaque échantillon représente une durée de 10 minutes regroupant les variables bruit et météorologiques.

3-3. Analyse des premiers résultats

L'analyse des résultats est en cours. Il est toutefois possible de donner quelques indications provisoires. Une première analyse effectuée sur ces données confirme l'importance primordiale des profils verticaux de température et de vitesse horizontale du vent. Dans notre cas, le profil de température est prépondérant. Une classification hiérarchique montre par ailleurs que l'on peut classer les échantillons en 5 catégories provisoires, correspondant chacune à des caractéristiques particulières des variables météorologiques et des variables de bruit associées. Cette constatation permet d'envisager valablement une classification acoustique des états atmosphériques, ce qui rejoint les travaux de MARSH [7].

L'analyse actuelle peut se synthétiser en considérant la projection de tous les échantillons sur le plan constitué par les deux premiers axes factoriels de l'analyse des correspondances représentée par la figure 3. L'axe 1 horizontal est un axe thermique. Il oppose les forts et les faibles ensoleillements. L'axe 2 est en revanche un axe aérodynamique qui oppose les vents portants aux vents contraires. Les projections des individus par leur classe montre leur répartition:

- Classe 1: Gradient de température très positif et vent généralement portant, raies acoustiques redescendants, atténuations de bruit faibles.

- Classe 2: Gradient de température également positif, (plus faible) et vent totalement contraire. L'effet du vent est prépondérant, les atténuations de bruit sont importantes.

- Classe 3: Gradient de température légèrement négatif à nul et vent portant. Les raies sont plutôt redescendants, voire rectilignes; l'atténuation est donc moyenne.

- Classe 4: Gradient de température moyennement négatif et vent très portant. Les raies sont redescendants et l'atténuation est également moyenne.
- Classe 5: Fort gradient négatif de température et vent contraire. Les raies sont remontants et produisent de fortes atténuations.

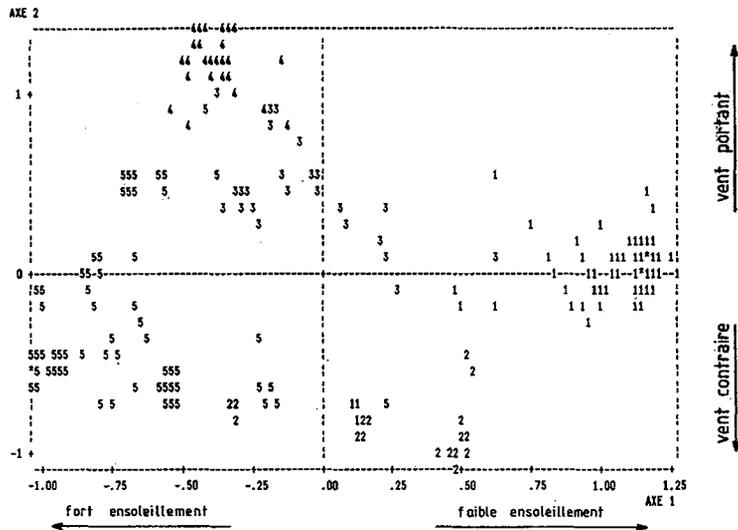


Fig. 3 - Représentation des échantillons par classes sur le premier plan factoriel.

Cette première analyse sur un nombre fini d'échantillons montre qu'une simple observation des conditions atmosphériques permet de définir qualitativement les conditions de propagation, et permet d'envisager une utilisation systématique de ce critère dans les mesures.

4) CONCLUSIONS

Une étude conjointe théorique et expérimentale des effets atmosphériques sur la propagation du bruit permet d'aborder ce problème sous deux aspects complémentaires: La modélisation utilisant l'approche turbulente, montre qu'il est possible de déterminer valablement l'atténuation du bruit dans un certain nombre de conditions réalistes. Elle devrait aboutir prochainement à un logiciel permettant d'intégrer une grande partie des conditions atmosphériques rencontrées couramment. L'approche expérimentale montre qu'à partir d'observations simples, il est possible de définir qualitativement, voire quantitativement les conditions de propagation de bruit à grande distance. Ces deux approches vont dans le sens des préoccupations actuelles des spécialistes de la mesure en extérieur. Elles permettront de leur fournir prochainement une partie des réponses aux problèmes qui leur sont posés.

5) BIBLIOGRAPHIE

- [1] DAIGLE G.A, JASA, vol 65, n°1, 1979, pp 45-49
- [2] EMBLETON T.F.W, PIERCY J.E, OLSON N, JASA, vol 59, 1976, pp267-277
- [3] JOHNSON M.A, RASPET R., BOBAK M.T, JASA, vol 81, n°3, 1987, pp 638-646
- [4] BERRY A.C, DAIGLE G.A, JASA, vol 83, n°6, 1988, pp 2047-2058
- [5] DELANY M.E, BAZLEY E.N, Appl. Acoust, vol 3, 1970, pp 105-106
- [6] LEGEAY V, BERENGIER M, 12^e ICA, Toronto, 1986, C 10-9
- [7] MARSH K.J, Appl. Acoust, vol 15, 1982, pp 411-428