

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

Modèle de bruit ambiant en très basse fréquence *
Ambient noise model at low frequency.

MM. A. PLAISANT et G. BIENVENU

THOMSON-C.S.F. Division des Activités Sous-Marines, B.P. 53 - 06801 CAGNES-sur-MER CEDEX - FRANCE

RESUME

On présente une méthode de calcul de la valeur moyenne et de la variance de la puissance de bruit reçue due au trafic maritime lointain qui est souvent prépondérant aux fréquences inférieures à 200 Hz. Le calcul fait intervenir les caractéristiques des bruits émis par plusieurs types de bruiteurs, la répartition géographique de ceux-ci, ainsi que les conditions de propagation qui peuvent être quelconques.

On en déduit un modèle de bruit ambiant qui donne, pour une configuration donnée de trafic tirée au hasard selon des lois de répartition des positions des bâtiments dans une zone donnée et de leur type, la puissance de bruit en sortie de la formation de voie d'une antenne située au centre de la zone considérée. On donne des exemples de résultats obtenus avec ce modèle. On met en particulier en évidence l'anisotropie en gisement du bruit ambiant en très basse fréquence.

SUMMARY

We present a method for the calculation of the mean and the variance of the noise power received from the sea traffic which is often dominant for frequencies below 200 Hz. Calculation utilizes the features of noises emitted by several noise source types, their geographic distribution as well as the propagation conditions, which can be of any kind.

From it, is deduced an ambient noise model which gives, for a fixed traffic configuration obtained from a random sampling following probability laws for ships positions and types, the output noise power of conventional beamforming from an array at a fixed position. Results obtained with this model are given. We show particularly the anisotropy versus bearing of ambient noise.

* Etude financée par la D.R.E.T (Paris)



1 - INTRODUCTION

En acoustique sous-marine, pour des fréquences comprises entre approximativement 20 Hz et 200 Hz, le bruit ambiant dominant est dû au trafic maritime lointain; pour les fréquences plus élevées, c'est en général le bruit dû à l'agitation de la surface qui est prépondérant, la limite dépendant de l'importance relative des deux phénomènes (1) à (4). On s'intéressera d'abord aux propriétés statistiques du bruit de trafic observé sur une période longue, de l'ordre d'un mois; puis aux propriétés du champ de bruit total, y compris le bruit de mer sur une période d'observation courte, de quelques secondes, tel qu'il peut être observé par une antenne directive en gisement. Dans cette deuxième partie, on effectue en fait une simulation du champ de bruit de trafic en prenant une répartition des bruiteurs en surface tirée au hasard selon des lois de répartition géographiques connues puis on introduit un bruiteur cible. Le modèle ainsi élaboré permet d'étudier les possibilités de détection de ce bruiteur particulier en fonction de différents paramètres : zone géographique, distance au récepteur, fréquence, largeur de bande, directivité de l'antenne, azimut de la cible; il peut être utilisé pour la prévision de performances d'un système sonar passif en Très Basse Fréquence.

2 - Calcul des propriétés statistiques à long terme du bruit de Trafic :

La formulation du problème doit être adaptée au format des données d'entrée disponibles. Ces données concernent la répartition géographique des bruiteurs ainsi que les caractéristiques des bruits émis.

2.1 - Répartition spatiale des bruiteurs

Les informations nécessaires sur la répartition spatiale des bruiteurs sont difficiles à obtenir. On a adapté ici le type de répartition donné dans un article de Ira DYER (5) c'est à dire un nombre moyen de navires observés pendant une période de un mois par case de $5^\circ \times 5^\circ$ en longitude et latitude en Atlantique Nord. La figure 1 donne un exemple d'une telle répartition en été.

2.2 - Caractéristiques des bruits émis par les navires marchands

Les navires émettent deux types de bruit : un bruit de type large bande qui couvre de façon continue une partie du spectre des fréquences; ce bruit est dû essentiellement à la cavitation des hélices; et un bruit de type raies spectrales qui est produit par les machines en rotation. Pour le bruit de type large bande, on trouve dans les références (6) et (7) les informations nécessaires pour calculer des histogrammes de niveaux pour trois catégories de bruiteurs : les bateaux de pêche, les petits navires marchands, les grands navires marchands. Un exemple est donné sur la figure 2 pour une fréquence de 100 Hz. Pour le bruit de type raies spectrales, on trouve des histogrammes de niveaux pour le fondamental de la fréquence de pale de l'hélice dans (8) et pour la raie correspondant aux explosions dans le moteur diesel dans (7). Connaissant les statistiques sur la fréquence du fondamental et en supposant qu'on a un nombre d'harmoniques donné avec leur amplitudes respectives, on peut calculer la probabilité d'avoir une ou plusieurs raies dans une bande de fréquence donnée et ensuite la densité de probabilité pour le niveau global dans cette bande de fréquence. Un exemple d'un tel calcul est donné sur la figure 3.

2.3 - Calcul des deux premiers moments de la puissance moyenne du bruit reçu par l'antenne en sortie de formation de voie :

La méthode employée est celle de MOLL, ZESKIND et SULLIVAN (7) modifiée pour tenir compte d'une répartition de bruiteurs donnée par un nombre moyen dans un maillage en longitude et latitude.

La quantité à laquelle on s'intéresse est la puissance ou intensité moyenne du bruit vue à travers un récepteur directif, dans une bande de fréquence Δf centrée autour de f_0 et calculée sur un temps long par rapport à $1/\Delta f$ mais beaucoup plus court que le temps sur lequel le phénomène peut-être considéré comme stationnaire.

Les intensités qui sont des moyennes quadratiques s'ajoutent pour tous les bruiteurs, pondérées par les pertes de propagations et le diagramme de directivité de l'antenne si bien qu'on peut écrire l'intensité B du bruit reçu sous la forme :

$$(1) B = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{N_{ij}} S_{ijk} P_{ijk} G_{ijk} \quad \text{où}$$

- m est le nombre de cases du maillage géographique
- n est le nombre de types de navires
- N_{ij} est le nombre de bruiteur de types présents dans la case i
- S_{ijk} est l'intensité du bruit émis par le bruiteur k de type j appartenant à la case i
- P_{ijk} est la perte de propagation entre le bruiteur ijk et le point récepteur. C'est une fonction certaine de la position aléatoire du bruiteur ijk
- G_{ijk} est le gain de directivité de l'antenne dans la direction du bruiteur ijk

Pour calculer la moyenne et la variance de la variable aléatoire B, on passe par l'intermédiaire de sa fonction caractéristique $\phi_B(\omega)$ qui par définition est :

$$(2) \phi_B(\omega) = E [\exp(i\omega B)]$$

En effet, la moyenne et la variance de B sont données par :

$$(3) \bar{B} = \frac{d}{d\omega} [\ln \phi_B(\omega)]_{\omega=0}$$

$$(4) \sigma_B^2 = \frac{d^2}{d\omega^2} [\ln \phi_B(\omega)]_{\omega=0}$$

La fonction caractéristique $\phi_B(\omega)$ peut se calculer facilement si on fait les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : Le nombre de bruiteurs N_{ij} dans chaque case est distribué suivant une loi de Poisson dont on connaît la valeur moyenne a_{ij}

(5) $P(N_{ij}=x) = p_{ij}(x) = \frac{e^{-a_{ij}} a_{ij}^x}{x!} \quad x \text{ entier } > 0$

Hypothèse 2 : Dans chaque case, les bruiteurs sont uniformément répartis en longitude (l) et latitude (t) :

$$(6) p_{il}(l) = \frac{1}{l_{i\max} - l_{i\min}} \quad \text{si } l_{i\min} \leq l < l_{i\max}$$

$$= 0 \quad \text{sinon}$$

$$(7) p_{ti}(t) = \frac{1}{t_{i\max} - t_{i\min}} \quad \text{si } t_{i\min} \leq t < t_{i\max}$$

$$= 0 \quad \text{sinon}$$

Hypothèse 3 : Les coordonnées l_{ijk} et t_{ijk} de chaque bruiteur sont statistiquement indépendantes

Hypothèse 4 : Les niveaux d'émission S_{ijk} de tous les bruiteurs dans la bande d'écoute Δf sont statistiquement indépendants

Compte-tenu des hypothèses 3 et 4, les termes de la somme (1) sont indépendants

$$(8) \phi_B(\omega) = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \phi_{ij}(\omega) \quad \text{avec:}$$

$$(9) \phi_{ij}(\omega) = E \left[\prod_{k=1}^{N_{ij}} \exp(i\omega S_{ijk} P_{ijk} G_{ijk}) \right]$$

Il s'agit maintenant de calculer l'espérance mathématique d'une variable pouvant prendre un nombre discret de valeurs dépendant du nombre entier N_{ij} ; on a donc :

$$(10) \phi_{ij}(\omega) = \sum_{x=0}^{\infty} p_{ij}(x) \left\{ E \left[\exp(i\omega S_{ijk} P_{ijk} G_{ijk}) \right]^x \right\}$$

où $p_{ij}(x)$ est la loi de Poisson (5).

Les variables aléatoires sont S_{ijk} et les coordonnées l_{ijk} et t_{ijk} des bruiteurs, elles sont supposées indépendantes entre elles (Hyp 3 et 4) :

$$(11) \phi_{ij}(\omega) = \sum_{x=0}^{\infty} p_{ij}(x) \left[\int_{l_{i\min}}^{l_{i\max}} \int_{t_{i\min}}^{t_{i\max}} \int_S \exp(i\omega S_{ijk} P_{ijk}(l,t) G_{ijk}(l,t)) p_{S_j}(s) p_{l_i}(l) p_{t_i}(t) ds dl dt \right]^x$$

L'intégrale sur la variable S peut s'exprimer sous forme de fonction caractéristique ϕ_{S_j} de l'intensité émise par les bruiteurs de type j :

$$(12) \phi_{ij}(\omega) = e^{-a_{ij}} \sum_{x=0}^{\infty} \frac{a_{ij}^x}{x!} \left[\int_{l_{i\min}}^{l_{i\max}} \int_{t_{i\min}}^{t_{i\max}} \phi_{S_j}(\omega P_{ijk} G_{ijk}) p_{l_i}(l) p_{t_i}(t) dl dt \right]^x$$

On remarque qu'on a affaire à une série de la forme $\sum_{x=0}^{\infty} y^x / x!$

qui n'est autre que le développement de la fonction $\exp(y)$; si bien que :

$$(13) \phi_{ij}(\omega) = \exp \left\{ a_{ij} \left[\int_{l_{i\min}}^{l_{i\max}} \int_{t_{i\min}}^{t_{i\max}} \phi_{S_j}(\omega P_{ijk} G_{ijk}) p_{l_i}(l) p_{t_i}(t) dl dt - 1 \right] \right\}$$

qui, compte-tenu de (6) et (7) s'écrit

$$\phi_{ij}(\omega) = \exp \left\{ a_{ij} \left[\frac{1}{\Delta l_i \Delta t_i} \int_{l_{i\min}}^{l_{i\max}} \int_{t_{i\min}}^{t_{i\max}} \phi_{S_j}(\omega P_{ijk} G_{ijk}) dl dt - 1 \right] \right\}$$



De cette expression, et compte-tenu de (3), (4) et (8) on déduit :

$$(14) \bar{B} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} m_{S_j}}{\Delta \ell_i \Delta t_i} \iint_{\ell, t} PL(\ell, t) G_i(\ell, t) d\ell dt$$

$$(15) \sigma_B^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} (m_{S_j}^2 + \sigma_{S_j}^2)}{\Delta \ell_i \Delta t_i} \iint_{\ell, t} PL^2(\ell, t) G_i^2(\ell, t) d\ell dt$$

où m_{S_j} et $\sigma_{S_j}^2$ sont la moyenne et la variance du bruit à l'émission du bruiteur de type j . Le problème est résolu si on sait calculer les intégrales doubles figurant dans les expressions (14) et (15). Si on veut admettre des pertes de propagation et des directivités d'antenne quelconques, on est obligé de calculer ces intégrales de façon numérique. Les Figures 4 et 5 présentent des exemples de calcul de l'intensité moyenne à long terme. Sur la figure 4, on montre l'influence de la densité des bruiteurs par case supposée constante dans toutes les cases et on voit comment le bruit de trafic se situe par rapport au bruit de mer. Pour la figure 5, le récepteur est directif, et les bruiteurs sont répartis comme l'indique la figure 1; cette figure montre comment le niveau de bruit moyen à long terme varie en fonction de la direction d'observation.

3 - Simulation du champ de bruit instantané

On s'intéresse ici au champ de bruit observé sur une période courte de l'ordre de quelques secondes pendant laquelle les bruiteurs de surface paraissent figés.

3.1 - Bruit de Trafic

Le nombre et la position des bruiteurs sont tirés au hasard suivant leur loi de probabilité donnée en hypothèses 1 et 2.

On prend pour valeur moyenne du nombre total de bruiteur par case les valeurs données sur la figure 1.

Le type de bruiteur se répartit en pourcentage de la façon suivante pour toutes les cases :

bateaux de pêche	: 56 %
petits navires marchands	: 35 %
grands navires marchands	: 9 %

et on prend pour niveau d'émission pour chaque bruiteur un niveau moyen égal à la somme des niveaux de chaque type pondéré par son pourcentage d'apparition.

Les pertes de propagation entre chaque bruiteur et l'antenne de réception sont celles adoptées par SHORT et TOOMEY (9)

$$PL_{dB}(r) = 22,12 + 15 \log r + \alpha(f) 10^{-3} r$$

$$\text{avec } \alpha(f) = 5 \cdot 10^{-4} + 0,088 f^0 (1 - f^0)^{-1} + 0,011 f^2$$

f en KHz

Le diagramme de directivité de l'antenne peut être quelconque, soit de forme analytique, soit lu dans un tableau.

3.2 - Bruit de mer

On a considéré le bruit de mer comme isotrope en gisement, de niveau variable en fréquence et suivant la force du vent (voir (10)).

3.3 - Bruiteur cible

Afin de pouvoir étudier la détectabilité d'une cible particulière, on peut introduire cette cible dans le modèle en précisant les paramètres suivants :

- Position géographique
- Niveau de bruit émis de type large bande et raies spectrales

3.4 - Exemples de résultats obtenus avec le programme de simulation

On s'est placé en un point de réception situé au milieu de l'Atlantique Nord : Point R4 de la figure 1 ayant pour coordonnées 28° de Longitude Ouest, 47° de Latitude Nord.

En ce point, on observe le champ de bruit sur tout l'horizon en faisant tourner l'antenne de l'azimut 0° à l'azimut 360°. Dans cette opération, le diagramme de directivité de l'antenne à la même forme, quelle que soit la direction. On a pris un diagramme de la forme $\frac{\sin x}{x}$ avec des lobes sur le demi-secteur arrière de -40 dB.

Dans les exemples qui suivent, on s'intéresse à la détectabilité d'une cible placée dans un champ de bruit composé de bruit de trafic et de bruit de mer de force 3. Les paramètres qui varient sont la distance cible récepteur et l'ouverture de 3 dB du lobe principal de directivité de l'antenne. La cible a été placée dans l'azimut 30°. Le nombre et la position des bruiteurs responsables du bruit de



trafic a été tiré au hasard comme il est indiqué plus haut. On se place à la fréquence de 100 Hz dans une bande de fréquence de 1 Hz. Les figures (6) et (7) présentent une simulation de l'intensité du bruit reçu en sortie d'antenne en fonction de la direction d'observation. La figure (6) correspond à une antenne d'ouverture $2\theta_3 = 10^\circ$ et la figure (7) à une antenne d'ouverture plus fine :

$$2\theta_3 = 1^\circ,9.$$

Sur ces deux figures, plusieurs courbes sont représentées du haut vers le bas :

- Bruit de trafic seul
- Bruit de trafic + bruit de mer
- Bruit de trafic + bruit de mer + cible dans la direction 30° à des distances croissantes

Les courbes bruit de trafic seul montrent le caractère anisotrope de ce type de bruit : vers le Nord où le trafic est faible, le niveau de bruit est nettement plus bas que vers l'Est où on observe tout le trafic en direction de la Manche.

L'addition du bruit de mer qui est lui isotrope en gisement tend à réduire l'anisotropie du bruit de trafic.

Dans les directions où le trafic est faible, c'est le bruit de mer qui domine (on a pris mer force 3).

La cible se trouve placée par hasard entre deux bruiteurs forts observés dans les gisements 22° et 36° .

A 30 km, la cible serait détectable par les deux antennes bien que l'antenne d'ouverture $2\theta_3 = 10^\circ$ ne permet pas de séparer les 2 bruiteurs forts voisins.

A 95 km, la cible ne serait pas détectable par l'antenne d'ouverture 10° mais resterait détectable par l'antenne d'ouverture $1^\circ,9$.

A 195 km, il serait peut-être encore possible de détecter la cible avec l'antenne d'ouverture $1^\circ,9$.

4 - CONCLUSIONS

On a présenté deux modèles de prédiction du bruit de trafic. Le premier modèle donne une estimation de la valeur moyenne et de la variance du niveau de bruit observé par un récepteur directif en gisement sur un temps d'observation long, de l'ordre d'un mois. Ce modèle apporte des informations utiles sur la directivité en gisement du bruit de trafic et sur l'importance relative de ce type de bruit par rapport au bruit de mer.

Le deuxième modèle donne une représentation moyennée sur quelques secondes de ce que pourrait être le champ de bruit dû au trafic et au bruit de mer en un point de l'océan.

On peut introduire un bruiteur cible dont les caractéristiques de bruit rayonné sont à fixer par l'utilisateur; ce modèle est un outil susceptible d'aider à la résolution de problèmes de détection passive, de localisation et de poursuite. Pour l'instant, le second modèle ne donne qu'une simulation de l'intensité du bruit de bande en fonction de la direction d'observation dans une bande de fréquence donnée. On prévoit une extension qui consisterait à simuler également la sortie de l'analyse spectrale en sortie des formations de voie.

Références

- (1) R.J. URICK : Principles of Underwater Sound
Mc Graw Hill, 1975
- (2) D. ROSS : Mechanics of Underwater Noise
Pergamon Press, 1976
- (3) G.M. WENZ : "Acoustic Ambient Noise in the Ocean : Spectra and Sources"
Jasa 34 (12) 1936, 1956, 1962
- (4) A.J. PERRONE : "Deep Ocean Ambient Noise Spectra in the North Atlantic"
JASA 46 (2) 762-770, 1969
- (5) Ira DYER : "Statistics of Distant Shipping Noise"
Jasa 53 (2) 564-570, 1973
- (6) M. MOLL, RM ZESKIND, WL SCOTT : "An Algorithm For beam Noise Prediction" Bolt Beranek and Newman Inc Rapport n° 3653, 1979
- (7) M. MOLL, RM ZESKIND, JM SULLIVAN : Statistical Measures of Ambient Noise Algorithms, Programs and Predictions
Bolt Beranek and Newman inc Report n° 3390, 1977
- (8) GLM GRAY and DSS GREELEY : "Source Level Model For Propeller Blade Rate Radiation of the World's Merchant Fleet"
Jasa 67 (2) 516-522, 1980
- (9) RD SMORT and JP TOOMEY, "Predicting the Post Detection Data Load For Passive Sonars"
Jasa 68 (2) 530-536, 1980
- (10) ROY : Rapport Technique n° 29950 ET/LD du 18.02.77 GERDSM Le Brusac



Modèle de bruit ambiant en très basse fréquence

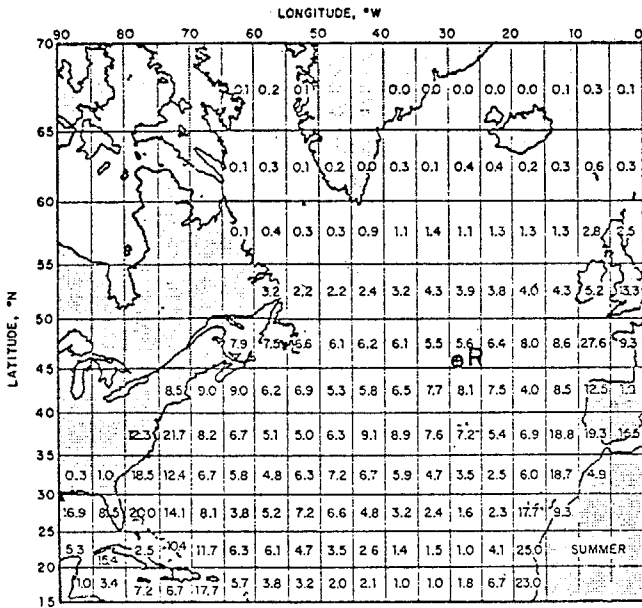


Fig. 1 - Répartition du nombre moyen de navires en Atlantique Nord sur une période de un mois en été - tiré de [5]

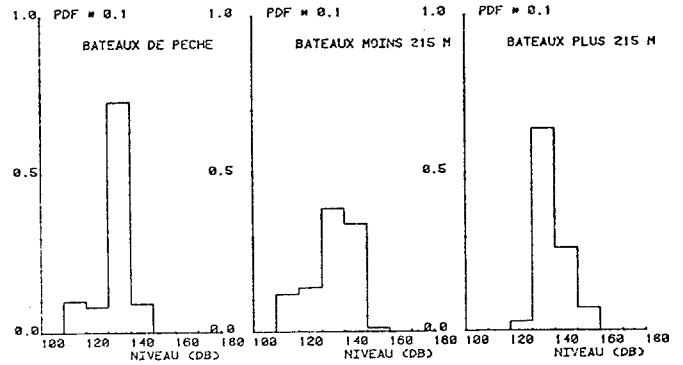


Fig. 2 - Densités de probabilité du niveau de bruit émis de type large bande pour trois types de bruiteurs. Fréquence 100 Hz.

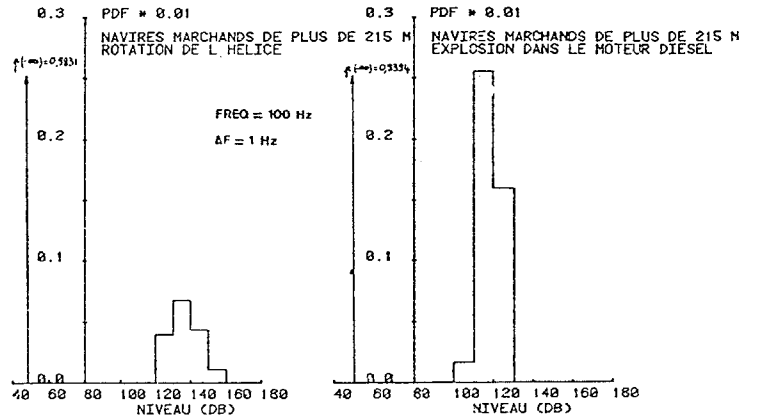


Fig. 3 - Densité de probabilité du niveau de bruit émis de type raie spectrale - Navires de plus de 215 m

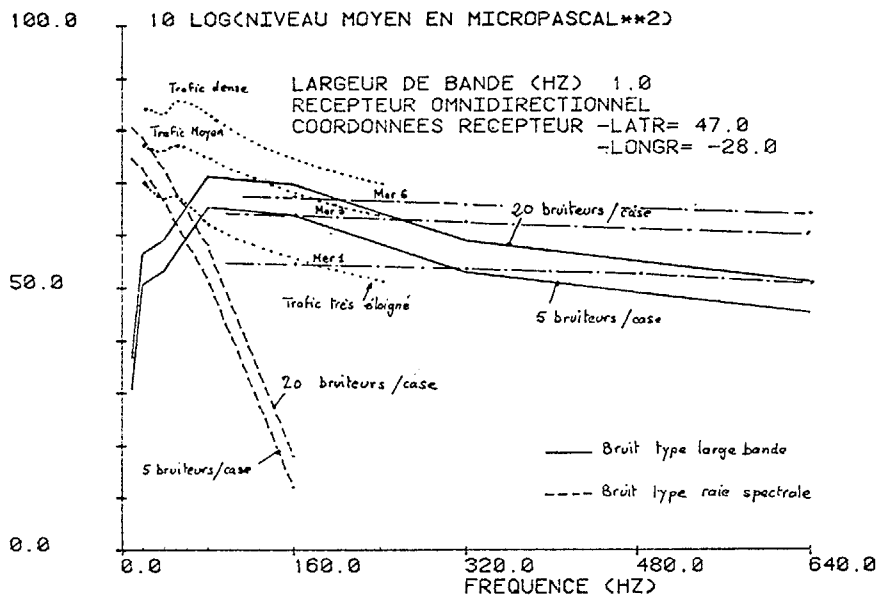


Fig. 4 - Niveau de bruit moyen à long terme - Influence de la densité des bruiteurs

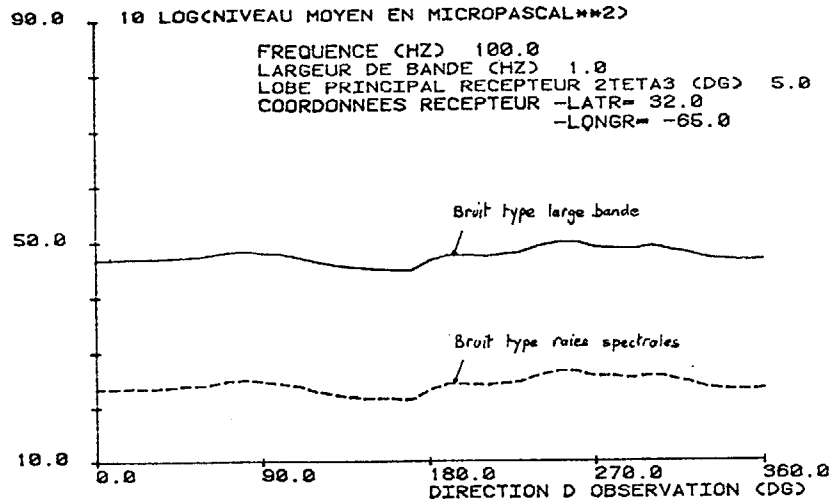


Fig. 5 - Moyenne à long terme en fonction de la direction d'observation.

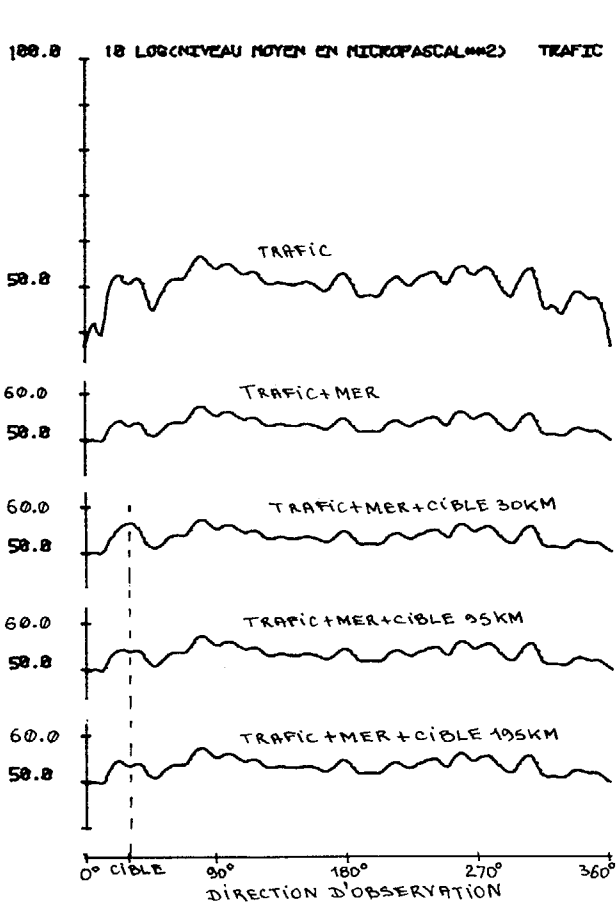


Fig. 6 - Intensité moyenne à court terme du bruit en fonction de la direction d'observation Antenne de lobe principal $2\theta_3 = 10^\circ$

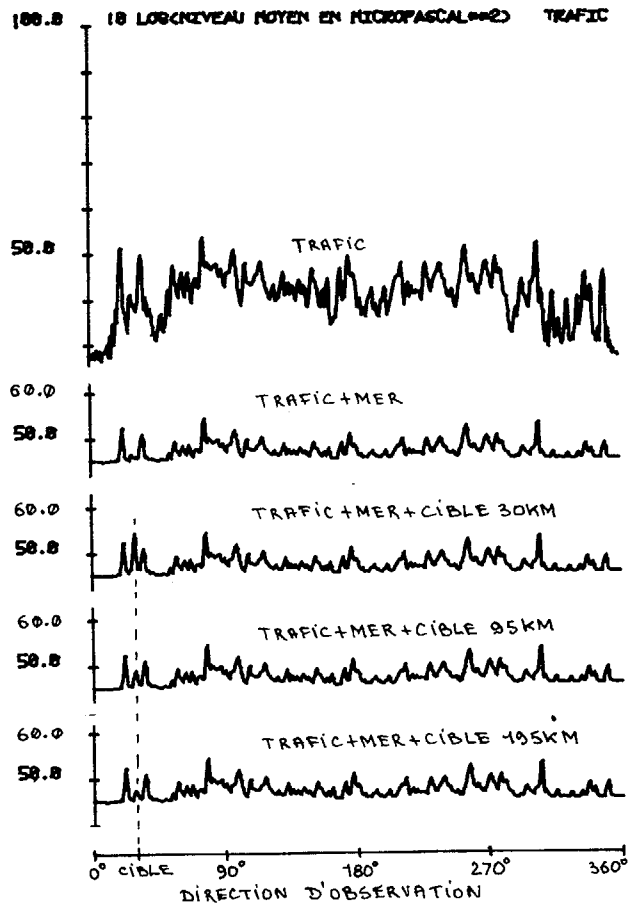


Fig. 7 - Intensité moyenne à court terme du bruit en fonction de la direction d'observation Antenne de lobe principal $2\theta_3 = 1,9^\circ$

