

ETUDE SUR MAQUETTE DES EFFETS D'INTERFERENCES
OBTENUS AVEC UN ECRAN AJOURE DEPHASEUR.
VERIFICATION THEORIQUE ET APPLICATIONS POSSIBLES.

Laurent Droin^(*), Jean-Marie Rapin
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
de Grenoble
24, rue Joseph Fourier
38400 St.Martin-d'Hères (France)

Maurice Amram
Ecole Polytechnique de Montréal
Département de génie physique
C.P.6079, succ. "A"
Montréal, Québec H3C 3A7 (Canada)

^(*)Actuellement à l'Ecole Polytechnique de Montréal.

RESUME

On a étudié la possibilité de créer des interférences destructives entre les ondes sonores transmises à travers un nouveau type d'écran ajouré, et les ondes diffractées par son sommet. Les mesures ont été effectuées au Centre des Maquettes du C. S. T. B. de Grenoble, laboratoire spécialement conçu et équipé pour la représentation des phénomènes acoustiques sur modèles réduits à petite échelle. Les résultats expérimentaux, confirmés par la théorie élaborée à l'Ecole Polytechnique de Montréal, montrent que l'on peut obtenir des effets d'interférences intéressants aux basses fréquences, localisés autour de la ligne d'ombre formée par l'écran. Ce procédé est actuellement en cours d'application en vue d'améliorer l'efficacité aux basses fréquences des écrans conventionnels.

ABSTRACT

We studied the destructive interferences that could be created between the part of the normally incident soundwaves transmitted through a new type of "waveguide" barrier and the one diffracted by it. Measurements were made at the C.S.T.B. Scale Modelling Center in Grenoble; this laboratory is specially equipped for small scale models in the field of environmental acoustics. Our experimental results match well enough the theoretical predictions made in Ecole Polytechnique of Montréal, and show the existence of large interferences effect for low frequency noise and near the "shadow line" of the barrier. This property leads us to foresee an improvement over a classical barrier efficiency.

OBJECTIF DE L'ETUDE

Les écrans acoustiques utilisés actuellement en bordure des voies bruyantes ou dans l'industrie sont conçus de manière à couper toute transmission directe du son, leur efficacité étant liée au phénomène de diffraction à leur périphérie.

L'objectif de cette étude est de montrer expérimentalement et théoriquement qu'il est possible, à l'aide d'un nouveau type d'écran ajouré épais, d'obtenir des effets d'interférences intéressants entre les ondes sonores de basses fréquences diffractées par le sommet et les ondes transmises par transparence à travers la structure ajourée.

DESCRIPTION ET PRINCIPE DE L'ECRAN AJOURE "DEPHASEUR"

Cet écran est formé d'un assemblage de lamelles verticales rigides disposées en rangées de façon à constituer une superposition de "guides d'ondes" réactifs (figure 1). Le principe physique est basé sur le fait qu'une onde acoustique plane de basse fréquence traversant un tel réseau périodique possède une vitesse de phase inférieure à celle qu'elle aurait en champ libre, sans affaiblissement notable en amplitude. En quelque sorte, on crée un milieu d'indice de réfraction $n = c_{air} / c_{milieu}$ supérieur à 1. On peut ainsi utiliser le retard de phase acquis par l'onde transmise (réfractée) pour réaliser un dipôle acoustique capable de produire des interférences destructives dans une certaine zone derrière l'écran (figure 1).

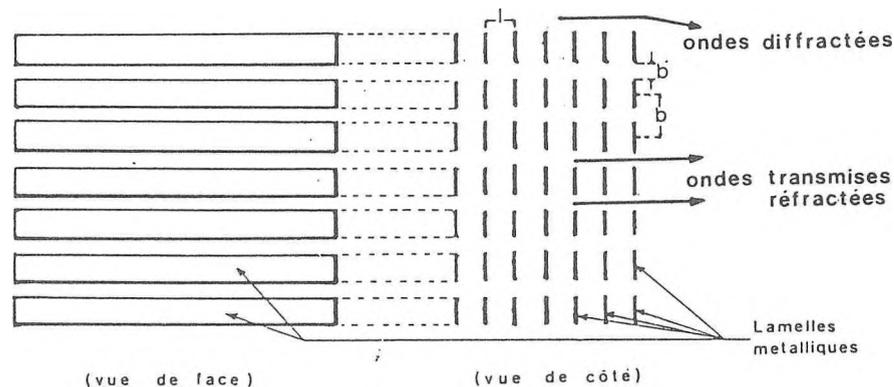


Figure 1: Schéma d'une structure ajourée constituant un milieu réfracteur (superposition de "guides d'ondes" réactifs).

BASE THEORIQUE

La théorie décrivant la propagation des ondes sonores dans les "guides d'ondes" réactifs constituant l'écran ajouré provient d'une adaptation à l'acoustique de la théorie des lentilles à micro-ondes électromagnétiques, effectuée par Amram et al.^[1] grâce aux analogies électro-acoustiques. En effet, à chaque "guide d'ondes" peuvent être associés une ligne de transmission et un circuit électrique équivalent duquel on peut déduire le déphasage et la perte d'amplitude introduits par l'insertion du guide (figure 2).

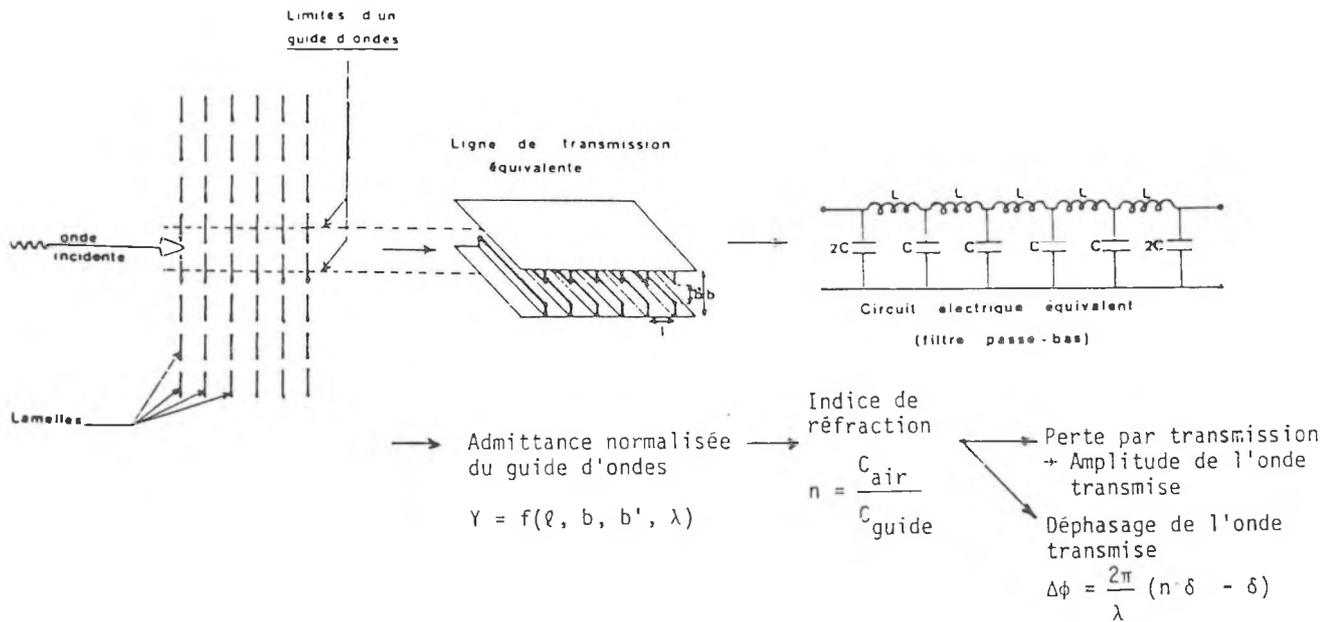


Figure 2: Adaptation de la théorie des lentilles à micro-ondes électromagnétiques aux guides d'ondes acoustiques [1]. (Analogies électro-acoustiques).

Cette théorie, complétée par la méthode de Pierce [2] concernant le traitement de l'onde diffractée nous a conduit à écrire un programme de calcul donnant le champ de pression acoustique en arrière de l'écran ajouré, pour une onde plane sous incidence quasi-normale sur l'écran.

LE LABORATOIRE ET LA METHODE EXPERIMENTALE

Pour les mesures, nous avons utilisé le Centre des Maquettes du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de Grenoble, laboratoire spécialement conçu et équipé pour la représentation des phénomènes acoustiques sur modèles réduits à petite échelle.

Le laboratoire comporte une salle étanche anéchoïque de 1300 m³ dans laquelle l'air est déshydraté à 5% (à 23°C) de manière à satisfaire au mieux les conditions de similitude aux faibles échelles et pour de grandes distances source-émetteur. L'automatisation de la mesure est complète, y compris le déplacement du microphone miniature dans l'espace, la commande des sources ultrasonores, le traitement et l'édition des données acoustiques désirées.

Un modèle d'écran ajouré a été réalisé à l'échelle 1/20 (figure 3). Le nombre de lamelles, leurs dimensions et leurs espacements ont été calculés de telle sorte que le retard de phase acquis par les ondes transmises par rapport aux ondes diffractées soit de 180° à 100 Hz (échelle réelle). La fréquence de coupure des guides d'ondes "filtres passe-bas" ainsi constitués se situe vers 270 Hz.

Le modèle testé est placé sur un support absorbant afin de s'affranchir de l'influence du sol (recouvert de matériau absorbant), et la réception se fait dans un plan vertical perpendiculaire à l'écran en une cinquantaine de points de mesures.

La source ultrasonore utilisée est une grappe de sources à jet d'air comprimé émettant de façon omnidirectionnelle un bruit aléatoire stationnaire. Cette source est placée suffisamment loin de l'écran testé, légèrement incliné (7°), pour satisfaire la condition d'ondes planes sous incidence quasi-normale sur l'écran (figure 3). Le signal est filtré de façon à simuler l'émission d'un bruit rose de 100 dB/tiers d'octave de 1kHz à 50 kHz (50 à 2500 Hz à l'échelle réelle) et l'analyse en tiers d'octave est faite automatiquement en chaque point successivement.

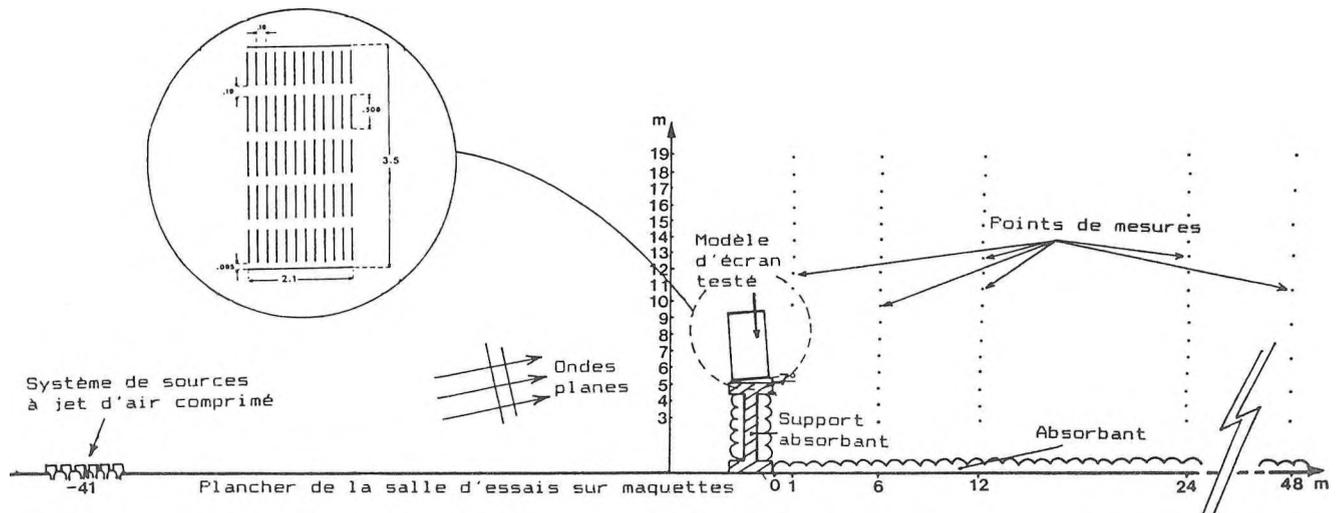


Figure 3: -Représentation en coupe (dans le plan comprenant la source et la grille des points de mesure) du montage expérimental effectué dans la salle d'essais sur maquettes du C.S.T.B. de Grenoble.
 -Détails de l'écran ajouré déphaseur testé.
 (Dimensions en m. rapportées à l'échelle réelle [x20]).

Afin de pouvoir "isoler" l'effet des interférences entre ondes transmises et diffractées, trois types de mesures ont été effectuées :

- mesure avec l'écran ajouré (superposition des ondes transmises et diffractées)
- mesure avec un écran plein de même forme (ondes diffractées seules)
- mesure avec l'écran ajouré surmonté d'un "baffle" absorbant (ondes transmises seules).

La méthode expérimentale consiste à comparer le champ de pression acoustique mesuré en arrière de l'écran ajouré avec la somme des champs de pression mesurés séparément en arrière de l'écran plein et de l'écran ajouré "bafflé" (figure 4). Le résultat de cette comparaison donne l'atténuation ou l'amplification sonore (ΔL_{dB}) due aux interférences destructives ou constructives, entre les ondes diffractées et les ondes transmises déphasées.

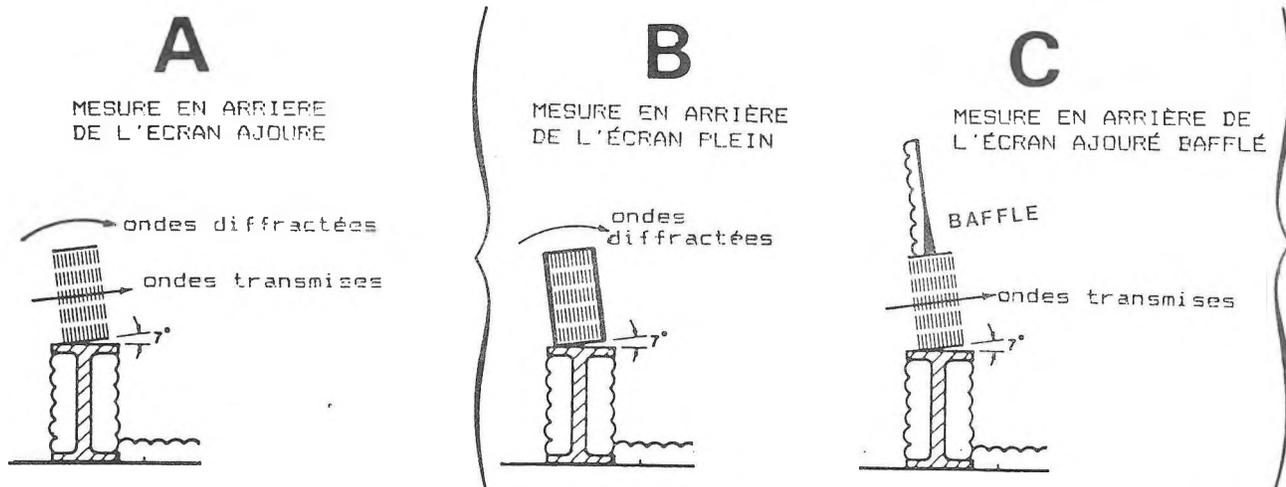


Figure 4: Méthode expérimentale: comparaison des champs de pression mesurés en arrière de l'écran ajouré (A) avec la somme des champs de pression mesurés en arrière de l'écran plein (B) et de l'écran ajouré bafflé (C):

$$(B+C)_{dB} - (A)_{dB} = \text{atténuation (+) ou amplification (-)} \\ \text{due aux interférences } (\Delta L_{dB}).$$

PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

Les figures 5 à 8 présentent les résultats des mesures et des calculs concernant l'atténuation ou l'amplification due aux interférences, pour les tiers d'octave centrés sur 80, 100, 125 et 160 Hz. Pour chaque verticale de points de mesure (figure 3), les effets d'interférences sont représentés en fonction de la hauteur.

Toutes les grandeurs (dimensions, fréquences, ...) sont ramenées à l'échelle réelle (x20).

Ces résultats montrent l'effet positif apporté par les interférences. Pour les fréquences de 80, 100 et 125 Hz, l'atténuation obtenue dans la zone située autour de la ligne d'ombre formée par l'écran est de l'ordre de 3 à 5 dB en moyenne, et peut atteindre localement une dizaine de dB à 100 Hz (fréquence pour laquelle le déphasage est théoriquement de 180°). A cette fréquence (figure 6), la zone d'interférences destructives est centrée sur la ligne d'ombre. Aux fréquences inférieures (figure 5), elle est située légèrement au dessus de la ligne d'ombre, et aux fréquences supérieures (figures 7 et 8), elle est en dessous. Ces décalages sont dûs aux différences de parcours empruntés par les ondes diffractées et les ondes réfractées: en effet, ces dernières ayant acquis lors de leur traversée de l'écran ajouré un retard de phase inférieur à 180° aux fréquences inférieures à 100 Hz, devront parcourir un trajet plus long que les ondes diffractées pour se retrouver en opposition de phase avec elles; par contre, aux fréquences supérieures à 100 Hz, ce sont les ondes diffractées qui devront parcourir un trajet plus long pour être en opposition de phase avec les ondes transmises, retardées de plus de 180° par l'écran.

On peut également remarquer que l'effet négatif des interférences (amplification du niveau sonore) ne dépasse jamais 3 dB.

Notons enfin que la concordance entre résultats théoriques et expérimentaux est plutôt satisfaisante, sauf pour 160 Hz où la théorie est assez curieusement optimiste !

Figure 5: Effets des interférences (ΔL_{dB}) obtenus dans le 1/3 d'octave 80 Hz en fonction de la hauteur pour chaque verticale de points de mesure.

$\Delta L_{dB} > 0 \implies$ atténuation
 $\Delta L_{dB} < 0 \implies$ amplification

— résultats expérimentaux
 - - résultats théoriques

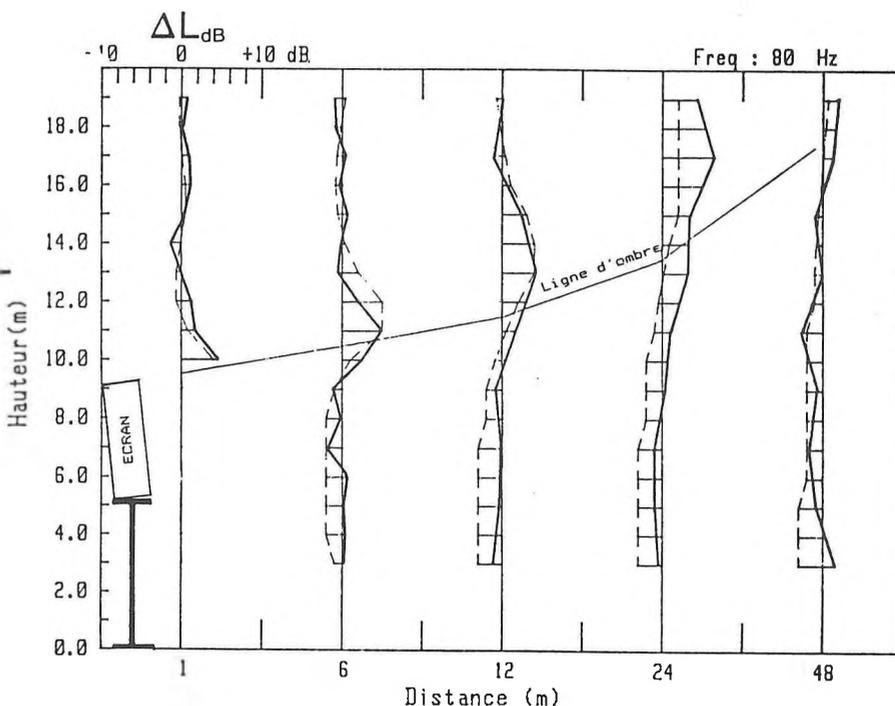


Figure 6: Idem, pour le tiers d'octave 100 Hz.

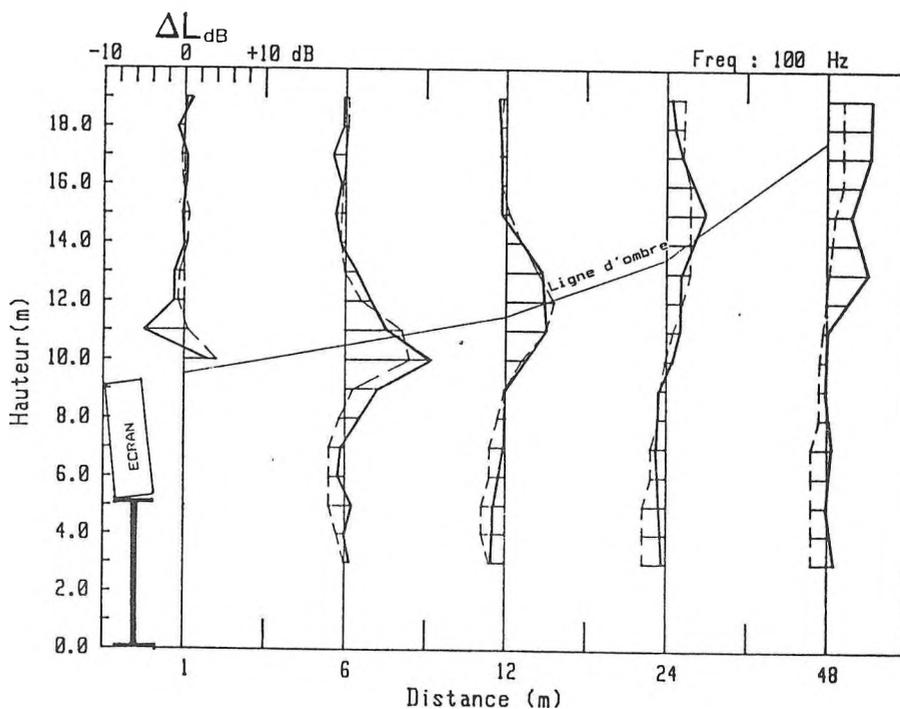
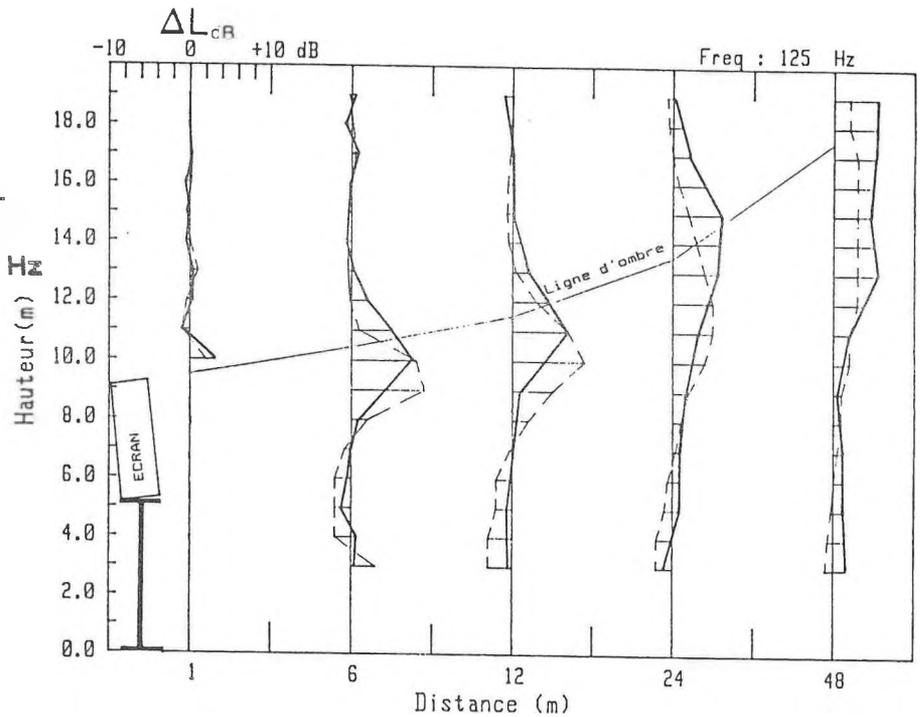


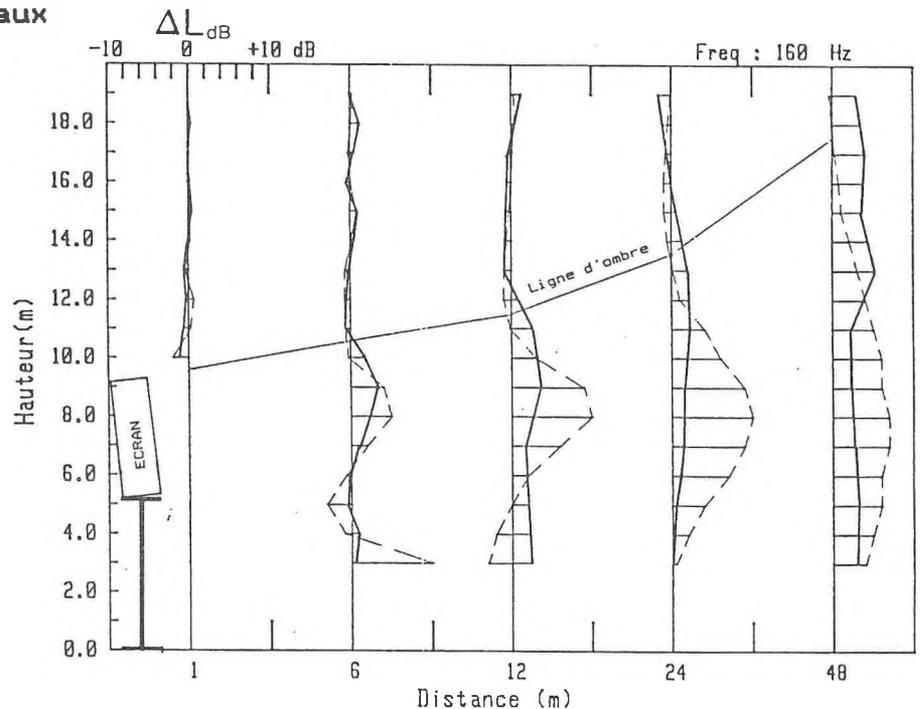
Figure 7: Effets des interférences (ΔL_{dB}) obtenus dans le tiers d'octave 125 Hz en fonction de la hauteur pour chaque verticale de points de mesure.



$\Delta L_{dB} > 0 \implies$ atténuation
 $\Delta L_{dB} < 0 \implies$ amplification

— résultats expérimentaux
 - - résultats théoriques

Figure 8: Idem, pour le tiers d'octave 160 Hz.



La figure 9 présente les mêmes résultats (atténuation ou amplification due aux interférences), mais en fonction de la fréquence entre 50 et 2500 Hz, pour quelques positions de mesures proches de la ligne d'ombre. Ces courbes confirment les constatations exposées précédemment et montrent en outre que pour les fréquences supérieures à 250 Hz (au dessus de la fréquence de coupure f_c des guides d'ondes constituant l'écran ajouré), l'effet des interférences est généralement pratiquement insignifiant ($< \pm 2dB$).

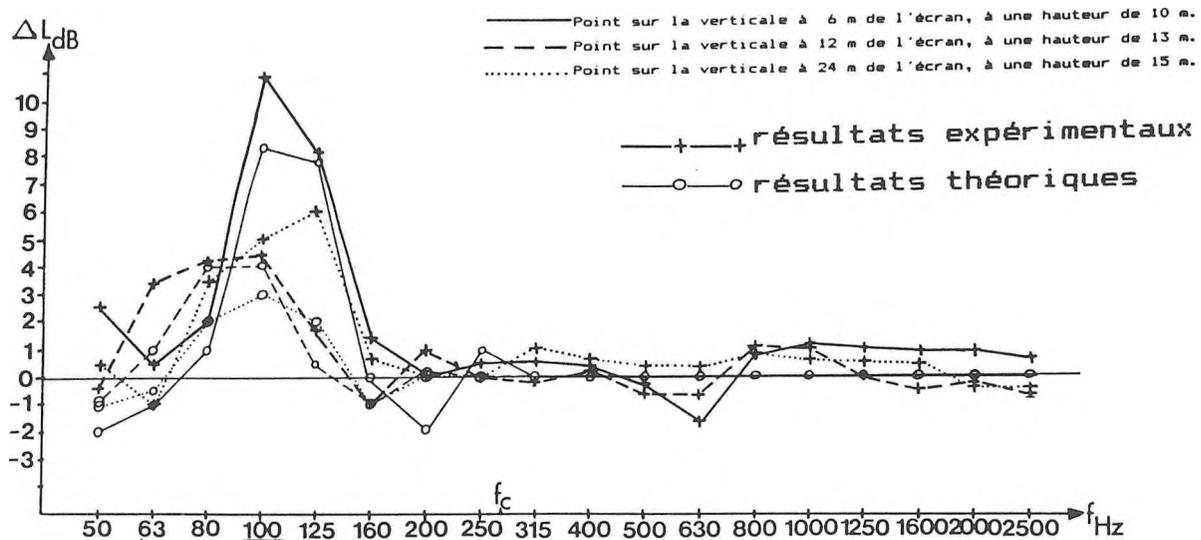


Figure 9: Effets des interférences (ΔL_{dB}) obtenus en quelques points de mesure voisins de la ligne d'ombre, en fonction de la fréquence .

$\Delta L_{dB} > 0 \implies$ atténuation
 $\Delta L_{dB} < 0 \implies$ amplification

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats des mesures effectuées sur un modèle d'écran ajouré déphaseur au Centre des Maquettes du C.S.T.B. de Grenoble, confirmés par la théorie élaborée à l'École Polytechnique de Montréal, montrent que l'on peut obtenir des interférences destructives importantes localisées autour de la ligne d'ombre, dans une certaine bande de basses fréquences.

D'autres études sur des modèles réduits de ce type d'écran sont actuellement entreprises en vue d'optimiser son comportement et sa géométrie, et d'approfondir les connaissances sur son fonctionnement, en particulier en prenant en compte les angles d'incidence obliques et l'effet de sol.

Ce procédé en cours d'application permettra peut-être d'améliorer l'efficacité aux basses fréquences des écrans conventionnels utilisés en milieux urbains (par exemple, protection des immeubles à plusieurs étages) et industriels, particulièrement pour les sources de bruit dont le spectre de fréquences est discret (transformateurs, tours de refroidissement, etc..).

REFERENCES

- [1] M. Amram and R. Stern, 1981. J.A.S.A. 70, No 5, p. 1463, "Refractive and other Acoustic Effect Produced by a Prism-Shaped Network of Rigid Strips".
- [2] A.D. Pierce, 1974. J.A.S.A. 50, No 5, p. 941, "Diffraction of Sound around Corners and Wide Barriers".