

Des effets de filtrage aux modulateurs morpho-acoustiques

Philippe WOLOSZYN

Doctorant
au Laboratoire central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes
et au Laboratoire CERMA-URA CNRS 1581

Présentation du terrain d'étude

L'îlot, au cœur du quartier Graslin dans l'épicentre nantais (fig. 1), est formé de trois rues étroites (de 5 à 7 m de large) : les rues Grétry, Rameau et Suffren, délimitées par des immeubles du XVIII^e siècle rénovés, d'une hauteur appréciable (R+5 en cœur d'îlot, soit de 18 à 22 m).

Fig. 1 - Limites de l'îlot étudié dans le quartier Graslin.

RÉSUMÉ

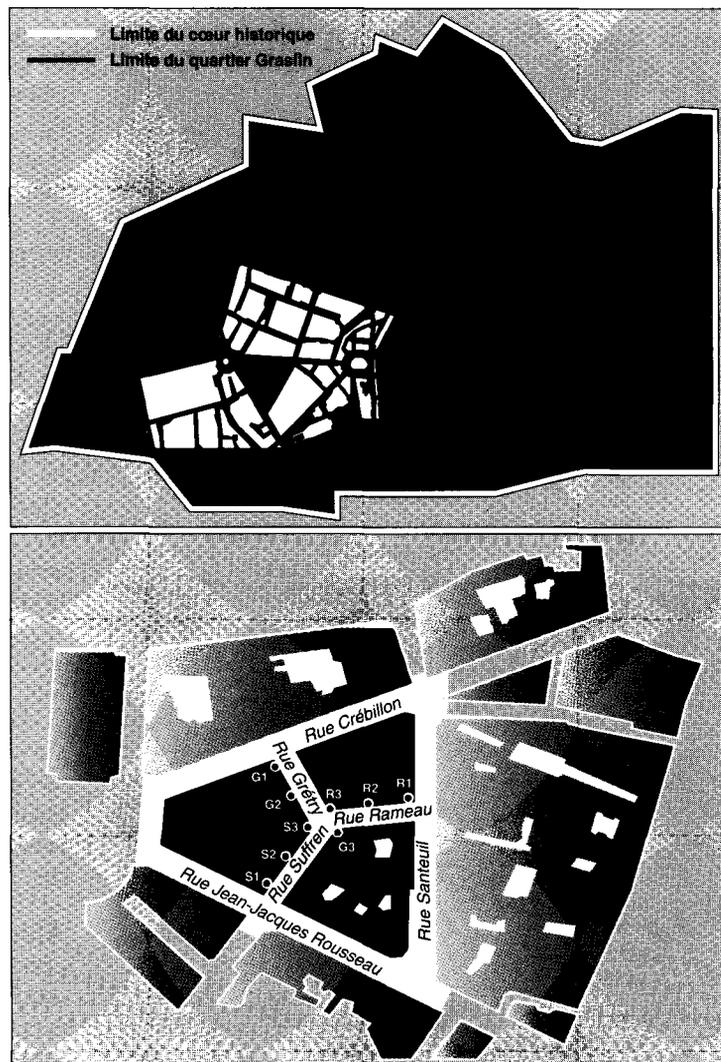
L'objectif de cette étude est de chercher les corrélations entre l'évolution spatiale des données physiques des phénomènes sonores et la caractérisation morphologique du cadre bâti environnant.

La méthodologie présentée tente de confirmer l'hypothèse analogique du filtre de l'architecture urbaine en appréhendant sa fonction de transfert par un processus expérimental de paramétrage du cadre bâti, afin de poser les bases d'une instrumentation acoustique du projet urbain.

À partir d'une étude effectuée sur un îlot du cœur historique nantais, les formes du filtrage acoustique du cadre bâti sont déterminées à travers l'analyse de la réponse de l'environnement construit à une source de bruit calibrée pour établir les modalités d'établissement du champ acoustique *in situ*.

La recherche des zones fréquentielles de transformation du signal permet de caractériser les champs acoustiques associés à une échelle particulière d'étude du site construit, dont l'analogie avec un système de filtres à régression d'échelle fonde la notion intermédiaire de modulateur morpho-acoustique.

MOTS CLÉS : 15 - Acoustique - Bruit - Environnement - Bâtiment - Filtre - Zone urbaine - Méthodologie - Expérimentation - Simulation - Mesure - In situ - Propagation - Signal - /Nantes.



Vues du centre de l'îlot



a. sur la rue Grétry, intersection avec la rue Crébillon



b. sur la rue Rameau. Au fond, la rue Santeuil



c. sur la rue Suffren, perpendiculaire à la rue Jean-Jacques Rousseau

L'étoile tripolaire formée par les rues Grétry, Rameau et Suffren est enclavée par trois rues passantes perpendiculaires, à sens unique, dont deux très circulées : la rue Crébillon à circulation mixte piétonne et automobile et la rue Jean-Jacques Rousseau à circulation essentiellement automobile.

Paramétrage spectral de l'îlot Grétry-Rameau-Suffren

L'hypothèse de l'analogie entre cadre bâti et filtre acoustique sera vérifiée par le processus expérimental du paramétrage acoustique des trois rues internes de l'îlot Grétry-Rameau-Suffren, par l'analyse de la réception d'un bruit calibré (bruit rose¹) en deux points simultanés de l'îlot.

Protocoles de mesure

Afin d'établir un spectre de référence, les mesures de bruit rose ont tout d'abord été effectuées en champ direct d'une source de bruit de type Aclan GDB 85 par un microphone de mesure 1/2 pouce Bruel & Kjaer type 4165. Ce dernier est installé sur un pied à 0,45 m de hauteur et à 0,30 m de l'axe du haut-parleur, et l'enregistrement s'effectue sur du matériel numérique de type DAT² SONY TCD-D3 et TCD-D7.

Les mesures spectrales ont ensuite été réalisées *in situ*, par l'émission de la même source de bruit rose à l'embouchure de chacune des rues Grétry, Rameau et Suffren. Les deux points de réception sont répartis simultanément au milieu de la rue où se trouve la source d'émission et au milieu de la rue adjacente, les microphones montés sur pieds et situés dans l'axe de la rue étant reliés aux enregistreurs numériques (fig. 2).

Les émissions successives de la source ainsi que leurs extinctions ont ainsi pu être enregistrées simultanément sur les deux points, sur une durée d'une dizaine de secondes environ, l'analyse de leurs signatures ayant ensuite été effectuée sur une chaîne de mesure informatique de type 01 dB (logiciel dB Aria TR).

Afin de simuler des conditions de réception en atmosphère non bruitée, il faut caractériser le spectre de bruit de fond. Un recalage du spectre de réception du bruit rose sera ensuite opéré par rapport au bruit environnant.

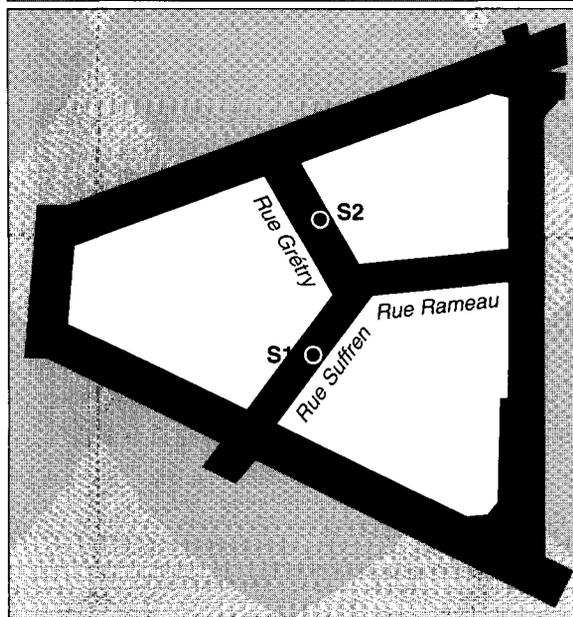
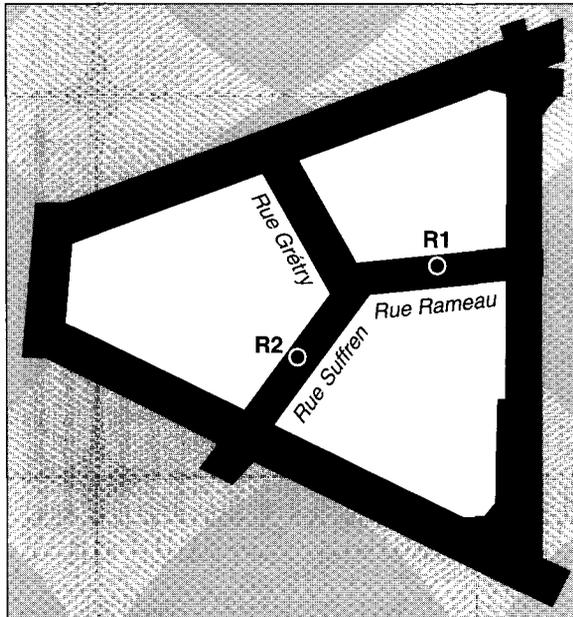
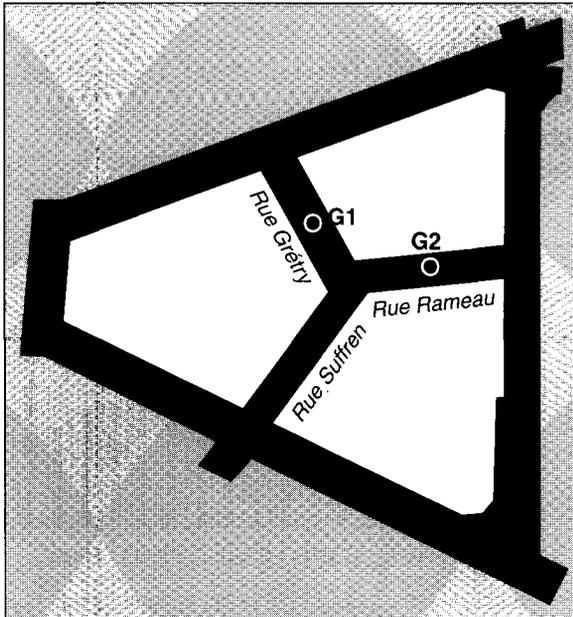


Fig. 2 - Répartition des points de mesure sur les rues Grétry (G1 et G2), Rameau (R1 et R2) et Suffren (S1 et S2)

Ce spectre de bruit de fond doit être reproductible et représentatif d'une ambiance sonore de référence. Les enregistrements effectués en différents points de l'îlot nous ayant clairement montré leur caractère aléatoire, il est nécessaire d'établir une formalisation spectrale moyenne et reproductible du bruit de fond environnant.

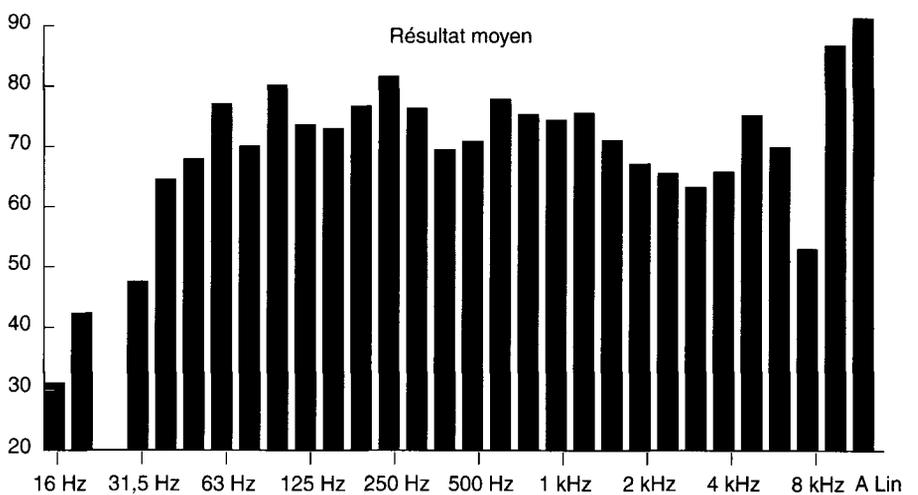
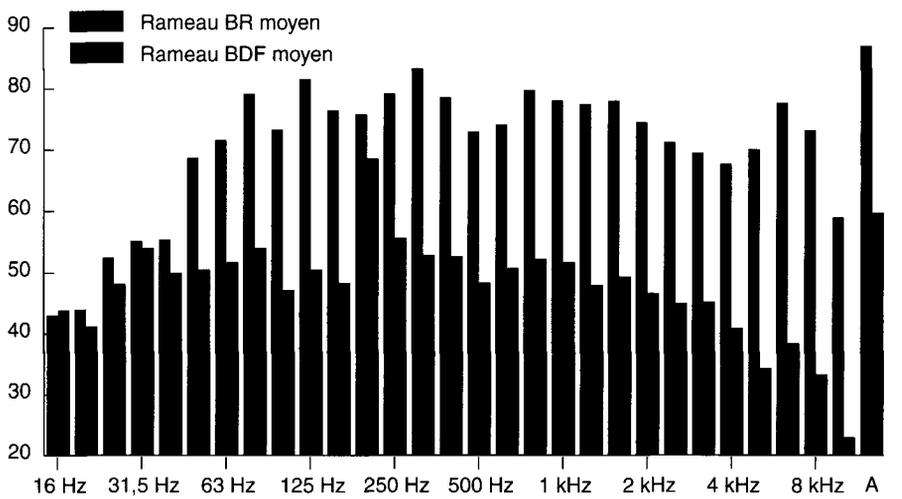
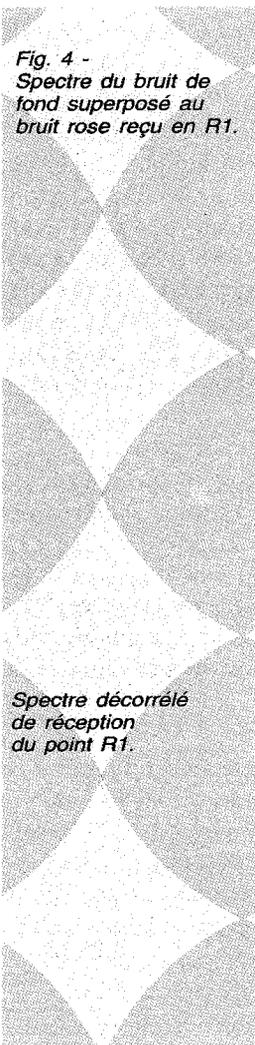
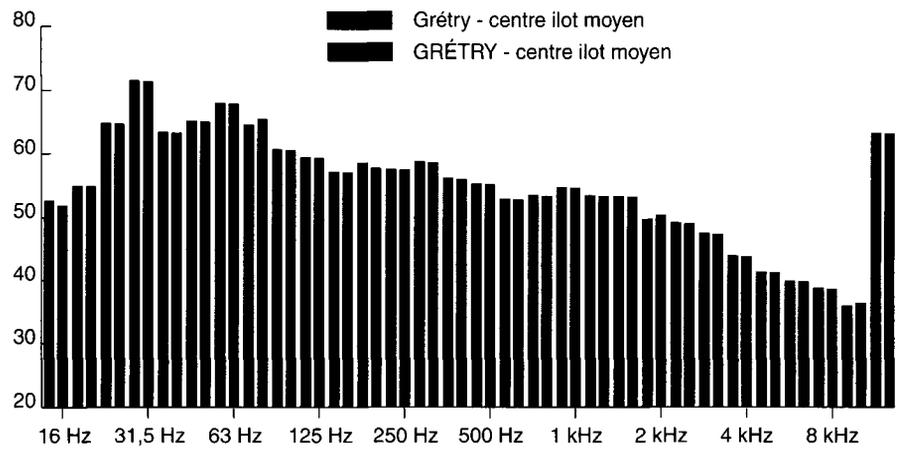
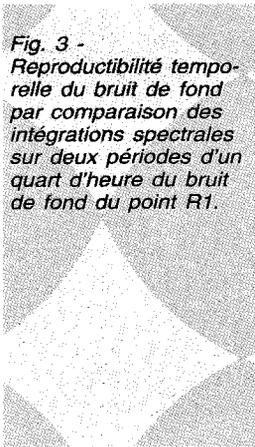
Dans ce but, des enregistrements d'ambiance de moyenne durée (un quart d'heure) ont été réalisés sur ces mêmes emplacements de mesure, en journée sur les trois périodes successives du matin, du midi et du soir.

Nous avons ensuite intégré nos échantillons sur la totalité de leur déroulement temporel, pour en tirer un spectre moyen du bruit de fond environnant. Les spectres obtenus ayant une très bonne reproductibilité tant temporelle (spectres d'ambiance du matin et du soir superposés), que spatiale (reproductibilité spectrale pour le même point d'analyse), il est alors possible de les utiliser pour recalcr le bruit rose à la réception (fig. 3).

Ce recalage consiste en une décorrélation du bruit rose avec le spectre du bruit de fond correspondant, opérée par leur soustraction énergétique. Cette opération a pour but de séparer les valeurs spectrales spécifiques au bruit de fond des valeurs spectrales relatives à l'acquisition du bruit rose, comme si celui-ci avait été reçu en environnement calme.

Ce bruit rose recalé sera ensuite comparé avec le spectre de référence (réception en champ direct). Les niveaux d'émission respectifs sont enfin recalés lors du dépouillement, afin de dégager clairement les premiers effets d'établissement du champ sonore en milieu construit (fig. 3 et 4).

Les résultats de la mesure sont présentés en termes de gains et d'atténuations fréquentielles, correspondant aux valeurs relatives de la distorsion spectrale induite par la propagation du bruit rose dans les rues étudiées (fig. 5).



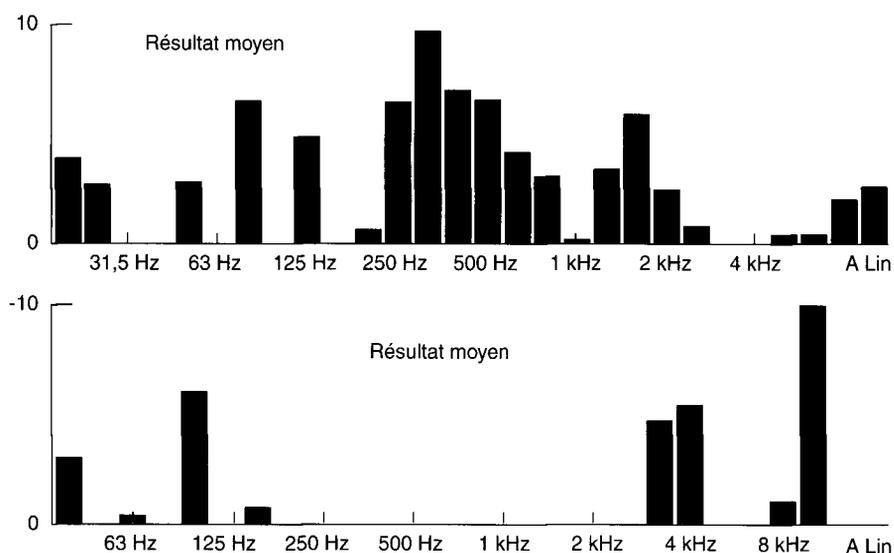


Fig. 5 -
Détection des modes
propres : valeurs rela-
tives des atténuations
spectrales en dents de
scie du point R1.

Analyse du champ acoustique

Le résultat de l'expérience montre que les modes d'établissement du champ acoustique dans l'îlot se décomposent en trois classes :

➤ Le mode de réflexion spéculaire (hypothèse de specularité : angle d'incidence = angle de réflexion) propre à la tranche spectrale 20/250 Hz est décelable par de très fortes atténuations précédant de forts coefficients de transmission dans la partie basse du spectre. Ce phénomène, reproduit pour chacune des rues, reste observable malgré un rapport signal/bruit très faible dans ce domaine de fréquences grâce à l'opération de décorrélation du spectre de réception.

La succession des gains et atténuations des fréquences charnières d'un tiers d'octave visible au début des spectres de réception s'explique par l'établissement des modes propres transversaux de propagation du son dans les trois rues respectives. Ces modes sont traduits par les pressions et dépressions acoustiques successives relevées par les microphones sur les nœuds et les ventres des ondes stationnaires transversales qui se succèdent sur chaque bande de fréquence.

L'établissement de ces modes de propagation s'explique par une analogie avec le modèle du guide d'ondes, qui donne une valeur correspondant au premier mode de propagation située entre 20 et 25 Hz (en tenant compte des dimensions et de la géométrie des rues étudiées, et en effectuant l'approximation de parois parfaitement réfléchissantes).

➤ Le début de l'établissement du champ diffus³ se manifeste par un plateau d'atténuation moyenne entre 250 et 800 Hz, avec une atténuation minimum aux alentours de 300/400 Hz,

remarquable sur les trois rues, caractéristique de la zone-charnière du début d'établissement du champ diffus.

➤ La zone « franche » de l'établissement du champ diffus, définissant le domaine de validité du calcul du temps de réverbération (Sabine) par une loi de distribution gaussienne des niveaux de pression sonore, est visible par la forme caractéristique de la courbe d'atténuation des hautes fréquences confirmant l'intuition de l'évanescence des fréquences aiguës en régime établi.

On remarque que, en règle générale, les modes d'atténuation des trois rues sont comparables, ce qui n'est pas surprenant au vu de leur configuration géométrique et dimensionnelle très voisine. Ceci est confirmé par des temps de réverbération très proches pour chacune des fréquences (fig. 6).

La similitude des champs acoustiques observés semble ainsi confirmer la reproductibilité des phénomènes sonores pour une même configuration spatiale.

Modulation harmonique de la propagation du signal dans les rues

La confirmation de la coexistence de ces champs acoustiques spécifiques à la propagation en milieu construit nous a conduits à effectuer une analyse du spectre de réception en bandes fines, dans le but de décrire les effets dus aux régimes interférentiels d'établissement des champs sonores. En comparant les spectres en bandes fines des signaux de réception en champ direct et au milieu de la rue, nous constatons la formation d'une série d'ondelettes, une modulation harmonique du spectre de réception (fig. 7).

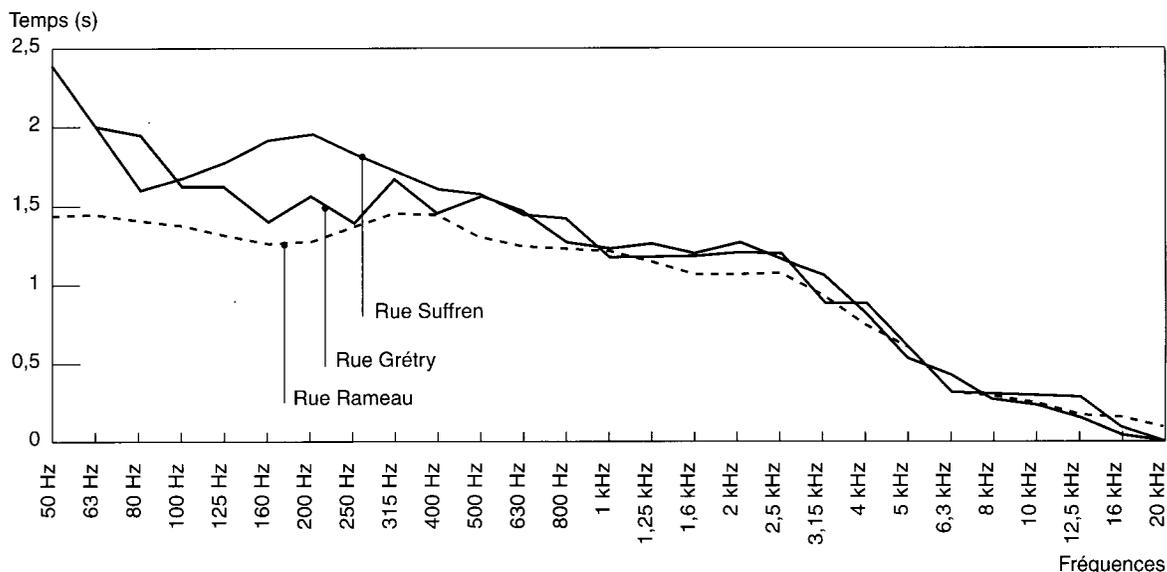
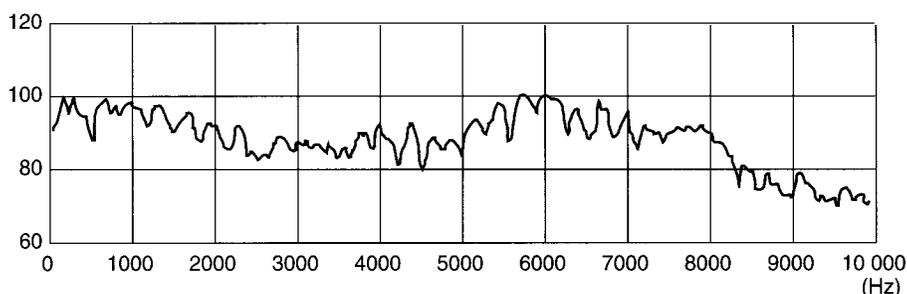
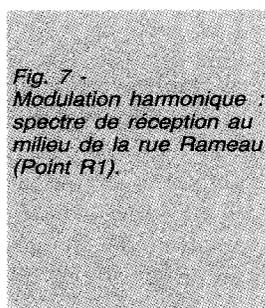


Fig. 6 - Temps de réverbération des rues de l'îlot.



Cette formalisation spectrale particulière signale l'interférence de deux signaux de fréquences voisines⁴, dont le retard de phase se manifeste comme une modulation des fréquences de l'ensemble du spectre émis. Lors de l'émission d'un signal large bande, les fréquences élevées vont arriver au microphone de mesure avant les fréquences basses⁵.

On remarquera cependant que cet effet de modulation harmonique disparaît dès qu'on ne se trouve plus en vue directe de la source sonore. En effet, au niveau des points de réception des rues adjacentes (points R1, R2 et R3), on peut constater la disparition des ondelettes de modulation, ainsi qu'une forte atténuation du signal de réception, notamment en hautes fréquences. Ce phénomène s'explique à la fois par la disparition du signal en champ direct et par la discontinuité géométrique [3] créée par le coude formé par les deux rues où se propage le signal acoustique.

Modulation temporelle du signal de réception

Lors de l'écoute des échantillons de bruit rose enregistrés dans les trois rues respectives de l'îlot en cours d'étude, nous avons constaté

que le son était légèrement oscillant. Le souffle de bruit rose perçu est temporellement irrégulier, manifestant une légère chute cyclique de niveau. Un phénomène de battement⁶ est audible.

Nous avons, de ce fait, analysé le signal dans son évolution temporelle, afin de vérifier si notre impression était quantitativement évaluable. L'évolution temporelle du bruit rose révèle une faible instabilité du signal, que nous avons cherché à confirmer à travers des filtres successifs. La même analyse effectuée sur l'enregistrement du signal de référence en champ direct nous révèle que le niveau d'émission-source est temporellement stable ; ce phénomène est donc bien une conséquence de la propagation sonore en milieu construit.

L'ondulation temporelle de niveau, à peine perceptible lors de la première analyse du bruit rose, s'affirme au fur et à mesure que l'on monte dans l'échelle des fréquences de filtrage du signal (fig. 8).

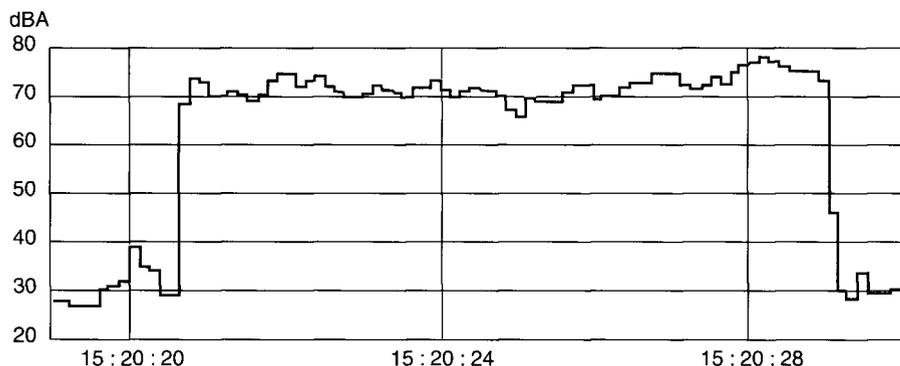


Fig. 8 - Oscillation temporelle du niveau de réception du bruit rose : signal temporel filtré de réception en R1.

Ce battement peut être expliqué par les phénomènes de diffraction du son causés par les irrégularités surfaciques des façades de l'îlot étudié (façades du XVIII^e siècle en pierre de taille), dont les réflexions issues de très petites parties isotropes (du centimètre au millimètre), conditionnent la dispersion de faisceaux de diffraction des hautes fréquences.

Ainsi, c'est à l'image d'un accordeur de pianos, utilisant le phénomène du battement pour ajuster la hauteur d'une note à l'octave, que nous pouvons estimer l'anisotropie spectrale d'un élément du tissu urbain.

Effets de filtrage et caractérisation acoustique du cadre bâti

Ces observations à l'échelle de l'îlot subdivisent les effets de filtrage acoustique⁷ en quatre groupes principaux :

- **l'effet d'amplification** représente l'étape préliminaire de transformation du signal par le cadre construit. Celui-ci conditionne de manière globale le rapport signal/bruit du lieu de propagation acoustique. Son évaluation est donnée par la mesure du temps de réverbération en tiers d'octave pour chaque élément structurel du tissu urbain (rues, places, passages) ;

- **l'effet de battements harmoniques**, remarquable essentiellement dans les hautes fréquences (entre 8 et 20 kHz), se lit par la fonction de modulation dynamique du signal de réception. Il traduit l'inhomogénéité du champ acoustique diffus et la manifestation des phénomènes de diffraction sur les façades urbaines ;

- **l'effet de modulation de fréquence**, visible sur l'ensemble du spectre de réception, donne naissance au « spectre en ondelettes », signalé précédemment et dont la fréquence porteuse se situe aux alentours de 250-300 Hz. Cet effet de convolution d'un signal par sa réflexion est significatif d'une fonction de transfert spécifique à un déphasage entre champ direct et réfléchi. Ce

phénomène définit la zone fréquentielle limite de spécularité acoustique, dont on trouve la confirmation par la détection des ondes stationnaires ;

- **l'effet de déphasage**, à l'origine de la présence des ondes stationnaires remarquables aux basses fréquences, révèle l'action des modes propagatifs (notamment les modes axiaux et tangentiels) sur la distorsion spectrale des événements sonores urbains à forte proportion de basses fréquences, en particulier les bruits routiers.

C'est par l'étude conjointe de ces effets acoustiques et des formes construites que les interactions entre structure de l'environnement sonore et organisation du tissu urbain permettront de formaliser un modèle discret de comportement sonore de la ville : le modulateur morpho-acoustique.

Modulateur morpho-acoustique et échelle urbaine

L'échelle est, selon Ph. Boudon : « *La mesure résultante de l'ensemble des échelles de mesure, esthétiques, techniques, psychologiques,...* » [6].

De l'art d'organiser l'espace, l'architecture, à l'art de maîtriser les sons, l'acoustique, nous retrouvons cette même préoccupation concrète de l'échelle et de la mesure, où l'architecte, par l'échelle, représente sa pensée de l'espace, et où l'ingénieur, par la mesure, valide sa compréhension du phénomène. « *L'espace qu'étudie la physique est certes plus concret apparemment que l'espace mathématique et étudie les grandeurs réelles, toutefois la mesure y est mesure de l'objet, tandis que dans l'espace architectural, la mesure est mesure du projet* » [7].

L'harmonisation des différentes échelles de la représentation architecturale est congruente aux rapports de l'échelle des hauteurs de l'harmonie musicale. Ce rapport analogique du musical au construit, illustré par la métaphore de l'accordeur de rues, nous porte à réfléchir sur les règles implicites et explicites qui régissent les rapports d'échelle entre l'espace de la représentation architecturale et l'espace de la perception auditive.

Forme architecturale et objet sonore

L'objet sonore s'organise suivant les trois plans caractérisant les champs perceptifs de la dynamique (plan temps-niveau de pression), du spectre (plan fréquence-niveau de pression) et de la mélodie (plan fréquence-temps) (fig. 9).

La mesure des champs perceptifs de l'objet sonore s'effectue selon une progression logarithmique, que ce soit sur le plan dynamique (où s'applique la loi de Weber-Fechner [9] : « *La sensation augmente comme le logarithme de l'excitation* »), ou spectral (progression de l'échelle des fréquences audibles de 20 à 20 000 Hz, traduite par une perception continue de la hauteur des sons).

Or, le plan de perception des hauteurs, le plan spectral, entretenant une relation linéaire avec les dimensions de l'espace architectural, définit la longueur d'onde λ comme échelle de mesure spatiale du champ acoustique dans l'espace construit.

En effet, le rapport des dimensions longueur d'onde / distribution des surfaces de réflexion (texture des façades et des sols) paramètre le caractère diffusif du champ sonore en milieu urbain. Son établissement est conditionné par la distribution des interfaces du milieu de propagation. De la façade plane de la rue urbaine (réflexion des basses fréquences), à la modénature d'un bâtiment (appareillages et décrochements de façades, responsables des réflexions en moyennes et hautes fréquences), en passant par la texture du matériau (facteur d'absorption acoustique α Sabine), l'organisation dimensionnelle des éléments constituant l'architecture de nos villes conditionne la propagation sonore en milieu construit.

Ce rapport entre dimension des éléments de l'architecture urbaine et dimension du phénomène sonore fonctionne comme un isomorphisme entre formalisation spatiale et perception auditive, leur rapport d'échelle étant linéaire. Cette « scalance »⁸ des objets architectoniques urbains est le paramètre principal des modulateurs morpho-acoustiques aux différentes échelles de la ville. Les longueurs d'onde à prendre en compte pour caractériser le spectre audible s'échelonnent de 17 m à 17 mm, **c'est bien par la maîtrise de l'échelle des éléments constitutifs de l'espace urbain que la qualité du champ acoustique peut être projetée.**

Hypothèse de séparation d'échelle et multidimensionnalité urbaine

L'élément bâti discret constitutif du tissu construit intégrant les mécanismes de l'interaction propagation acoustique / géométrie du bâti, appelé modulateur morpho-acoustique, sera ainsi défini par la

quantification de la structure hiérarchique de son interface, afin de paramétrer les modalités de diffusion des sources sonores en milieu urbain.

Cette mesure de la forme urbaine incriminera la fonction de transfert du système d'oscillations en milieu construit, assimilant les modulateurs à un continuum topologique de filtres acoustiques dont l'impédance équivalente déterminera le bilan énergétique de la diffusion sonore.

La construction de l'indicateur morphologique décrivant les ruptures dimensionnelles à l'interface cadre bâti / espace de propagation doit impérativement être liée à l'échelle du Modulateur que l'on cherche à modéliser :

➤ Une première échelle que nous qualifierons de méga-échelle rend compte de la distribution géographique des sites construits / non construits (rugosité horizontale).

Les phénomènes acoustiques peuvent être appréhendés à cette échelle à travers une vision topographique de l'organisation spatiale des sources sonores.

➤ La deuxième échelle, la macro-échelle, qualifie le type de distribution du bâti sur tout ou partie de la surface de la ville (rugosité volumique). Cette échelle quantifie les territoires urbains homogènes du point de vue de leur hiérarchie construit / non construit.

➤ La troisième échelle, que nous nommerons micro-échelle, intègre les caractéristiques de surface des zones construites (rugosité verticale) dont le spectre de forme constitue le paramétrage de la diffusion acoustique en milieu urbain.

Cette multiplicité apparente des dimensions d'un seul et même être géométrique qui, tour à tour, passe d'une entité surfacique horizontale (échelle géographique), à une entité de surface verticale (échelle humaine), en passant par le caractère volumique de l'échelle dite urbaine est conforme à l'intuition fractaliste de la nature morphologique de la ville (fig. 10).

Tout est donc affaire d'échelle, de degré de résolution que l'on adopte pour observer et quantifier ce qui nous entoure⁹. Pour mesurer la forme urbaine, il conviendra dès lors de raisonner en terme de rapport entre la ville réelle et son échelle de représentation, que l'on évaluera par le dimensionnement fractal de sa structure spatiale.

La poursuite de cette recherche, relative à la constitution d'un simulateur des ambiances sonores urbaines, qui s'inscrit dans le programme PIR-Villes / CNRS « Ville Sensible », réunit les compétences des laboratoires CERMA (Centre de recherche méthodologique d'architecture) et LCPC de Nantes, du LAUM (Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine) et du CRESSON (Centre de recherche sur l'espace sonore) de Grenoble.

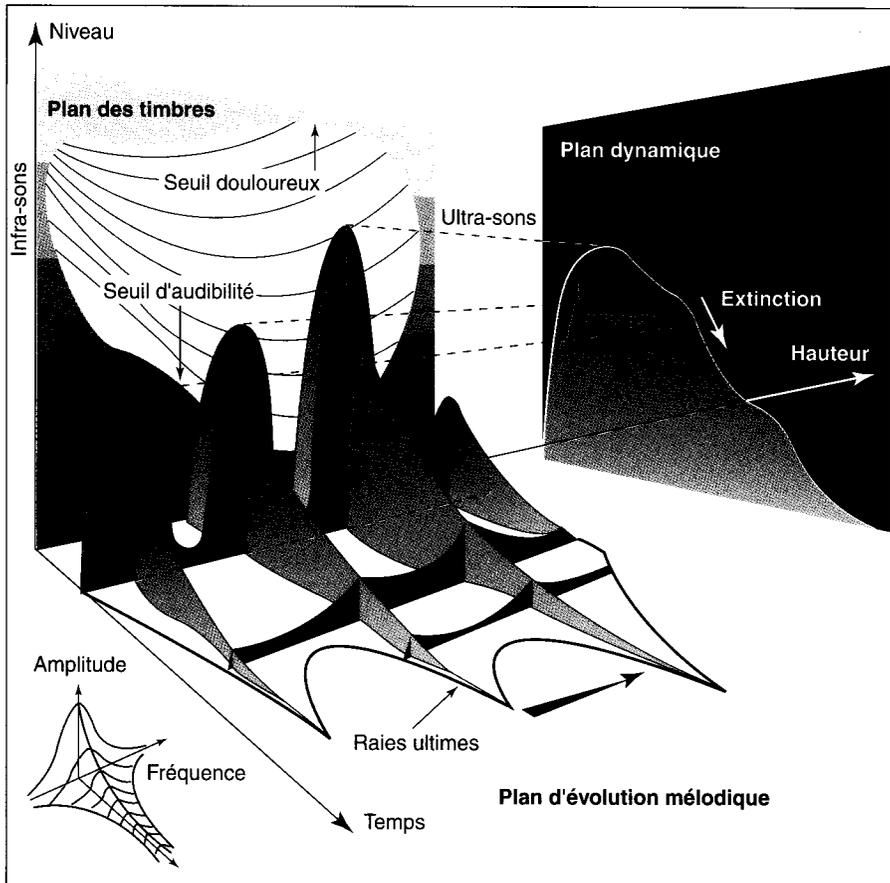


Fig. 9 - Les dimensions et les champs perceptifs de l'objet sonore [8].

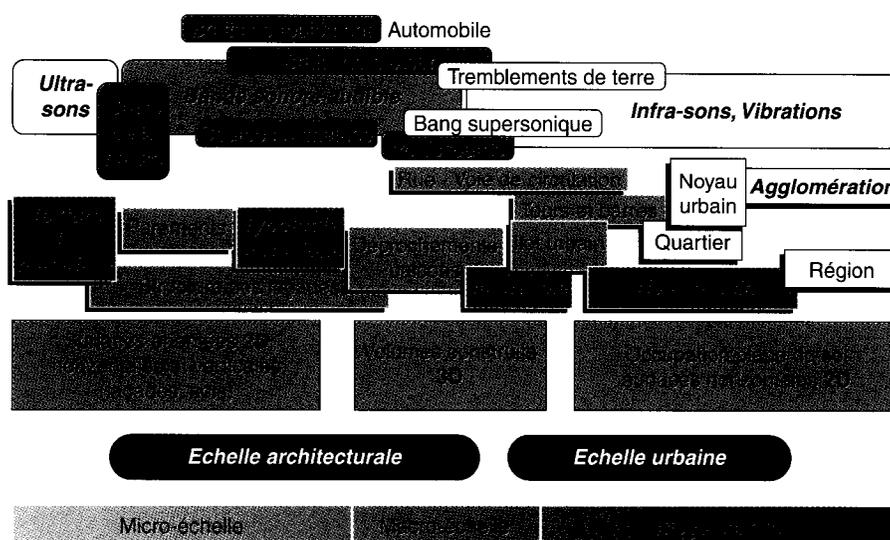


Fig. 10 - Hypothèse de séparation d'échelle de l'entité urbaine.

Quelques définitions utiles

¹**Bruit rose** : bruit à énergie constante dans chaque bande d'octave en dB (A).

²**Digital Audio Tape ou DAT** : format d'enregistrement numérique le plus utilisé en prise de son professionnelle, utilisant une technologie d'analyse hélicoïdale (têtes vidéo en rotation, et traitement du signal par Modulation à impulsions codées PCM ou *Pulse Code Modulation*).

³**Champ diffus** : nous faisons double référence d'une part à l'hypothèse de réflexion diffuse de Lambert qui opère, après discrétisation des surfaces de diffusion, une distribution de la puissance acoustique résiduelle des réflexions en *cos a* par rapport à la surface de réflexion (début d'établissement du champ diffus), et d'autre part aux modèles probabilistes (Théorie de Kuttruff utilisant la distribution de Poisson, Modèle de Lindquist introduisant les probabilités conditionnelles,...) [1], pour le champ établi (énergie tardive).

⁴**Convolution**: on appelle produit de convolution de deux fonctions localement sommables $f_1(t)$ et $f_2(t)$ la fonction :

$$c(t) = \int f_1(\tau)f_2(t - \tau)d\tau,$$

que l'on écrit : $c(t) = f_1(t) * f_2(t)$. Le résultat du produit de convolution permet, connaissant un système linéaire de réponse impulsionnelle $h(t)$ et le signal d'excitation $x(t)$, de déduire le signal de sortie $y(t) = h(t) * x(t)$; on pourra utilement se référer à la théorie des tuyaux sonores où la solution générale de l'équation de propagation peut s'écrire sous la forme d'une double série de Fourier, pour interpréter le signal de réception comme résultat d'une fonction de convolution [2].

La fonction de transfert particulière, qui traduit le phénomène de modulation harmonique décrit dans cette étude, dénonce une irrégularité du temps de propagation de groupe du signal en milieu urbain, convoluant le signal direct émis par la source avec sa composante réfléchie sur la ou les surfaces réfléchissantes mises en cause (sol ou façade urbaine).

⁵**Vitesse de propagation (milieu dispersif)** : dans notre étude, les vitesses de groupe associées à la tranche spectrale 300 - 350 Hz sont égales au rapport du flux d'énergie moyen à la densité moyenne d'énergie sur la section de la rue considérée ; les spectres en bandes fines nous montrant ainsi une différence des temps de propagation respectifs d'environ 5 ms, nous pouvons en déduire la distance d au micro du plan réfléchissant à l'origine de cet effet de modulation. En effet, comme $2d/c = t_2 - t_1 = 5$, il vient : $d = 85$ cm, soit environ la différence entre les distances source/récepteur et source/réflexion sur le sol réfléchissant/récepteur.

⁶**Battement** : le phénomène de battement résulte de la composition ondulatoire de signaux de même direction et de fréquences proches. Essentiel en acoustique musicale, cet effet est la conséquence de la variation du déphasage entre deux signaux de fréquences voisines, créant une oscillation d'amplitude entre un maximum et un minimum résultant d'une addition et d'une soustraction périodique des amplitudes correspondant aux fréquences battantes.

⁷**Effet sonore - effet acoustique** : le concept d'effet sonore développé par le CRESSON [4], développe une notion traversant des disciplines aussi différentes que l'acoustique, la sociologie ou l'anthropologie, et doit être différencié des effets acoustiques développés dans cette étude, qui se réfèrent au domaine de la mesure et du traitement du signal ; certains de ces effets monodisciplinaires sont cependant explicités dans [5].

⁸**Scalance ou autosimilarité** : propriété qu'a une figure géométrique lorsque ses parties ont même forme ou structure que le tout, mais à une échelle différente [10].

⁹**Géométrie** : la description et la mesure de l'environnement, et plus spécifiquement de la terre fut un des premiers problèmes formels que l'homme se soit posé : la « géo-métrie » a eu son sens initial détourné très tôt par les grecs, pour devenir l'outil d'abstraction mathématique de l'espace que nous connaissons aujourd'hui.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ONDET A.-M., BARBRY J.-L. (1984), Prévision des niveaux sonores dans les locaux encombrés, *Les notes scientifiques et techniques de l'INRS*, fascicule 52, Paris, 141 pages.
- [2] BRUNEAU M. (1983), *Introduction aux théories de l'acoustique*, Le Mans, université du Maine, 634 pages.
- [3] BERENGIER M., DELANNE Y. (1989), *Calcul du champ sonore dans les rues en U*, rapport de recherche LPC, Nantes.
- [4] AUGOYARD J.-F. (1992), Un outil interdisciplinaire : l'effet sonore, dans : *La qualité sonore des espaces habités*, Cresson-EAG, Grenoble.
- [5] AUGOYARD J.-F., TORGUE H. (1995), *À l'écoute de l'environnement : le répertoire des effets sonores*, Éd. Parenthèses, Marseille.
- [6] BOUDON Ph. (1971), *Sur l'espace architectural - Essai d'épistémologie de l'architecture*, Coll. Aspects de l'urbanisme, éd. Dunod, 140 pages.
- [7] BOUDON Ph. (1992), *Introduction à l'architecture*, Coll. Sciences de la conception, éd. Dunod, 258 pages.
- [8] MOLES A. (1990), *Les sciences de l'imprécis*, éd. Seuil, 300 pages.
- [9] ZWICKER E., FELDKELLER R. (1981), *Psychoacoustique*, éd. Masson, 237 pages.
- [10] MANDELBROT B. (1992), *Les objets fractals*, éd. Flammarion, 268 pages.
-

ABSTRACT

From filtering effects to morphoacoustic modulators. Street tuning in urban areas

P. WOLOSZYN

This study was an attempt to find correlations between changes in the physical indicators of sonic spatial behaviour and the morphological characteristics of the urban built environment.

The intention was to create acoustic tools for use in urban design by confirming the validity of the hypothetical analogy of an architectural filter and to observe its transfer function using an experimental process which applied parameters to the built environment.

The types of acoustic filtering performed by the built environment were determined by a study performed at a site in the historic centre of Nantes which aimed to analyze the response of the built environment to a noise source which was calibrated in order to make it possible to determine the principles of in-situ acoustic field production.

By spectral analysis of the urban signal we were able to characterize the acoustic fields at specific scales for the purposes of site design. This, by analogy with a scaled regressive filter system, provided the basis for the intermediate concept of a morphoacoustic modulator.

This research is currently continuing with a view to producing an urban sonic ambience simulator. It is part of the PIR-Villes/CNRS "Ville Sensible" programme and brings together the CERMA, LCPC, LAUM and CRESSON laboratories.