

Revue d'acoustique

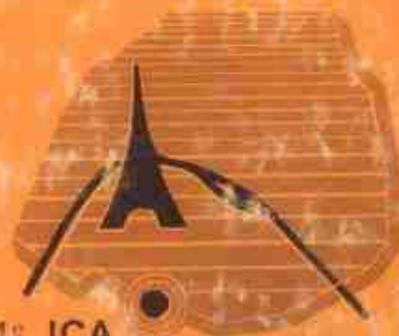


**11^e CONGRÈS
INTERNATIONAL
D'ACOUSTIQUE**

**11th International
Congress on Acoustics**

**11 Internationaler
Kongress für Akustik**

**Paris
19 - 27 juillet
1983**



11^e ICA

VII

ONR SERIE

vol. 7

**11^e CONGRÈS
INTERNATIONAL
D'ACOUSTIQUE**

**11th International
Congress on Acoustics**

**11 Internationaler
Kongress für Akustik**

Volume 7

Institut für Technische Akustik
der Rheinisch-Westfälischen
Techn. Hochschule
Aachen

Inventar-Nr.: 1208
g
V6 8h

THÈME 7

Sommaire

Table of contents

Inhaltverzeichnis

7

ACOUSTIQUE APPLIQUÉE

ARCHITECTURE, URBANISME ET AMÉNAGEMENT

APPLIED ACOUSTICS

ARCHITECTURE, TOWN AND COUNTRIES PLANNING

ANGEWANDTE AKUSTIK

ARCHITEKTUR, STÄDTEBAU UND RAUMAUFTEILUNG

Pages

7.1 ABSORPTION - CALCUL ET MESURES - MATÉRIAUX ET DISPOSITIONS	
ABSORPTION - COMPUTATION AND MEASUREMENTS - MATERIALS AND ARRANGEMENT	
ABSORPTION - BERECHNUNG UND MESSUNG - BAUSTOFFE UND BESTIMMUNGEN	
1. The effect of room volume on measured sound absorption coefficients.	
A.C.C. WARNOCK	3
2. Prediction of sound absorption area per seat of upholstered chairs in a hall.	
Toshiko FUKUCHI, Kyoji FUJIWARA	7

3. Effect of randomization strength of reverberation rooms and measurement of sound absorption coefficient.	
Giuliana BENEDETTO, Renato SPAGNOLO	11
4. The relationship between the law of decay of sound field and angular dependence of reflection loss in rectangular room.	
Dinghua GUAN	15

**7.2 ACOUSTIQUE DES SALLES - AUDITORIUMS - SALLES RÉ-
VERBÉRANTES ET ANÉCHOÏQUES
ROOM ACOUSTICS - AUDITORIA - REVERBERANT AND
ANECHOIC CHAMBERS
RAUMAKUSTIK - AUDITORIEN - SCHALLTOTE UND HALL-
RÄUME**

1. An economical design of absorbing wedges for anechoic chambers.	
Z. MAEKAWA, S. OSAKI	21
2. Optimierte Absorptionsverkleidung für Schallmessräume.	
Helmut SCHMIDT	25
3. Finite element modelling of enclosures with an absorptive lining.	
A. CRAGGS	29
4. Calcul des caractéristiques acoustiques d'une salle par la méthode des rayons.	
P. VANDENBOSCH, J. HOUGARDY	33
5. Répartition du champ sonore par une méthode de tir aléatoire.	
Jean-Jacques EMBRECHTS	37
6. The prediction of sound fields within non-diffuse spaces using a statistical approach.	
E. KRUZINS, F. FRICKE	41
7. Intensité active et réactive en acoustique des salles - Représentation conjointe énergétique des ondes.	
Lionel GAUDRIOT, Patrick FLANDRIN, Bernard ESCUDIÉ ..	45
8. Variability of reverberation times.	
V.M.A. PEUTZ	49
9. Room acoustic requirements in small and medium size halls of public buildings.	
András KOTSCHY, Frigyes REIS	53

10. On diffusion of a sound field in halls.	
Yu.A. INDLIN, Yu.Ja. KOZLOV	57
11. Sound frequency fluctuation in enclosed space.	
Edward OZIMEK	61
12. The influence of room shape on the sound energy distribution in large concert halls.	
Svein STRØM	65
13. The effect of angularly varying absorption coefficients on sound fields in disproportionate spaces.	
N.C. BAINES, J.S. BOLTON	69
14. « Loudness » of music in concert halls.	
Diemer DE VRIES, Hok Lioe HAN	73
15. Meeting the needs of the musician in orchestra pit design.	
Graham NAYLOR, Richard BORKUM	77
16. Preferred time delay of a single reflection for performers.	
Ichiro NAKAYAMA	81
17. The temporal envelope spectrum of speech and its significance in room acoustics.	
Herman STEENEKEN, Tammo HOUTGAST	85
18. A multi-language evaluation of the rasti-method for estimating speech intelligibility in auditoria.	
Tammo HOUTGAST, Herman STEENEKEN	89
19. Les critères subjectifs de la qualité sonore d'un lieu d'écoute et leur objectivation en grandeurs acoustiques.	
Emile LEIPP	93
20. Méthode de test des lieux d'écoute permettant l'objectivation des critères acoustiques subjectifs.	
François EXPILLY, Claude THFOIN	97
21. Comparison of the quality for music of different halls.	
P.H. HERINGA, V.M.A. PEUTZ	101
22. Objective measures of spatial impression in concert halls.	
Michael BARRON	105
23. Objective measurement of performers' acoustic conditions in concert halls.	
Anders Christian GADE	109
24. New acoustical measurements in a variable acoustics hall.	
J.S. BRADLEY	113

25. Procédés de simulation acoustique d'une salle.	
Jean-Paul VIAN	117
26. Comparison between the room responses in real scale and those predicted by a numerical model.	
Dirk HEYMAN, Gerrit VERMEIR, Henry MYNCKE	121
27. Computer-aided design system for architectural acoustics.	
T. NISHI, Y. OGAWA	125
28. Methode für die Komplexe Bewertung des Akustischen Mediums in Saalen.	
Nikola ZARKOV	129
29. Caractéristiques d'un laboratoire pour l'enseignement de l'acoustique des bâtiments.	
Manuel REGUERO LOPEZ, Constantino GIL GONZALEZ	133
30. Acoustical design of the faculty conference hall of the Indian Institute of Science, Bangalore, India.	
B.S. RAMAKRISHNA	137
31. The acoustics of Yan Shan Theatre.	
YE SUJUAN, YE HENGJIAN, CUI SHUNSHENG	141
32. Acoustical design of a 1,200 seat multi-purpose hall.	
E.L. VINOGRADOVA, Yu.N. GREBESHKOV	145
33. Acoustics of the new lecture theatres of the National University of Singapore.	
Raymond B.W. HENG	149
34. Acoustical design of the sanctuary of Shinji-Shumei-Kai, Sacred Gardens, Shiga.	
Minoru NAGATA, Katsuji NANIWA	153
35. The acoustical design of the Orange County Performing Arts Center Theater.	
Dennis A. PAOLETTI, Jerald R. HYDE, Harold A. MARSHALL ..	157
36. Acoustics of the U-Port Auditorium in Tokyo.	
Kiyoteru ISHII, Hideki TACHIBANA	161
37. Grandes salles polyvalentes - Large multipurpose halls.	
Roger LAMORAL	165
38. Teatro alla Scala in Milan: Characterization of the orchestra pit acoustics.	
Raffaele PISANI	169

**7.3 ISOLATION AÉRIENNE ET DES VIBRATIONS
NOISE AND VIBRATION ISOLATION
LUFT- UND KÖRPERSCHALLISOLIERUNG**

1. Contribution de la base de données C.A.BAT. à l'étude de l'isolement acoustique entre logements.	
Jean BERTRAND, Jean GORSE	175
2. Sound transmission through dry-lined masonry walls.	
S.E. LEE	179
3. The effect of specific absorbent material on the 'STC' rating of walls.	
Tibor VASS	183
4. Optimized transmission loss of sandwich panels with damped cores.	
Clive L. DYM, Spiios E. MAKRIS, MacGregor J. SMITH	187
5. Temperature effects on the sound insulation of laminated glass.	
Geoffrey KERRY, Roy D. FORD	191
6. Improvement of TL of partitions by means of added structures.	
Cesarina BORDONE-SACERDOTE	195
7. Predicting and improving insertion loss of floating floors.	
Gunnar WIDÉN	199
8. Evaluation of floor impact noise in multifamily dwellings.	
Sho KIMURA	203
9. Numerical study on the structure-borne sound propagation through the junctions with blocking-masses.	
Kyoji FUJIWARA	207
10. Sound radiation from buildings.	
David OLDHAM, Yun SHEN	211
11. The directivity of sound radiation from a window and the influence of the flanking sound transmission to the neighboring rooms.	
Dashen WU, Xiyang ZHANG	215
12. Beitrag zur Festsetzung der Schalldämmung des Gebäudemantels.	
Oldrich ZADRAZIL	219

13. Dispersion des mesures d'isolement acoustique.	
Claude LEGROS, Jean-Pierre GUILHOT, Jean-Pierre FLENNER	223
14. Modélisation de l'isolement normalisé à partir des mesures « in situ ».	
Claude AZAIS, Jean-Pierre GUILHOT	227
15. Field measurements of sound insulation in broadcasting studios.	
David John MEARES	231
16. Reliability of simplified methods for airborne isolation measurements.	
Lucia TAIBO, Hilda GLASSERMAN DE DAYAN	237
17. Prise en compte des paramètres géométriques et mécaniques du local de réception et de la façade comme variables discriminantes du spectre d'isolement acoustique de façade.	
Jean GORSE, Jean BEAUMONT	241
18. Insulating dwellings against road traffic noise.	
William A. UTLEY, Edward C. KEIGHLEY, John W. SARGENT	245
19. Isolation acoustique des fenêtres et des façades.	
D. SOUBRIER, F. HENDERIECKX	249
20. Mesure de l'isolement acoustique des façades à l'aide d'une source impulsive de bruit.	
Philippe CRESTOIS	255
21. Noise reduction of facades - Measurement procedures.	
Marion BURGESS	259
22. Noise reduction of facades - Some measurement results.	
Anita LAWRENCE	263
23. Protection des immeubles contre les bruits extérieurs.	
Atanas RADEV, Natacha RADEVA, Ivan TCHONKOV	267
24. Isolement acoustique des parois comme fonction de la structure du matériau.	
Atanas RADEV, Natacha RADEVA	271
25. Etude comparative sur la transmission du bruit de structures dans les bâtiments de type différent de construction.	
Antonia KOTCHEVA-MADJAROVA	275
26. Perception of speech signals distorted by a building partition.	
Martin WEST, Steven G. STRADLING	279

**7.4 ÉQUIPEMENTS DIVERS (CHAUFFAGE, VENTILATION, DISTRIBUTION DE FLUIDES...)
NOISE FROM BUILDING EQUIPMENT (HEATING, VENTILATION, FLUID SUPPLY...)
DIVERSE ANLAGEN (HEIZUNG, ENTLÜFUNG, WASSERLEITUNGEN...)**

1. Durabilité de la protection acoustique des bâtiments.	
Thierry MIGNOT	285
2. Sound attenuation in lined rectangular ducts in the presence of fluid motion.	
Song-ling ZHAO, Mei-qin WU	289
3. Le bruit dans les installations centrales d'adduction d'eau et de chauffage.	
Mariana-Cristina IONESCU	293

**7.5 TRANSPORTS TERRESTRES ET AÉRIENS
GROUND TRANSPORT AND AIRCRAFT NOISE
LANDVERKEHR UND LUFTVERKEHR**

1. Influence of different parameters on the noise emitted by vehicles.	
J. PONS, J.S. SANTIAGO, C. JOFRE, R. FERNANDEZ	301
2. Emission acoustique de véhicules routiers en trafic réel et sous conditions contrôlées.	
A. GERMON, J.-P. SIRIEYS, B. FAVRE	305
3. Prediction of traffic noise exposure based on field experiment.	
Mitsuyasu YAMASHITA, Kouhei YAMAMOTO	309
4. Détermination des relations entre le bruit émis par les véhicules routiers et le bruit reçu en façade d'habitation - Application à l'ensemble d'un site urbain.	
Bernard FAVRE, Jean-Claude BRUYERE, Philippe ROUILLE ..	313
5. Description du champ sonore dans les tunnels routiers.	
J. LECLERC	317
6. Protections contre le bruit des routes : les écrans acoustiques.	
Pascal BAR	321
7. Présentation d'un bilan de l'implantation des écrans acoustiques en Belgique en fin 1982.	
Nicolas PLOM	325

8. Can the vehicle signal horn noise be quiet? - A project of traffic noise control in Beijing.	
Chang-Ling CHANG	329
9. Recent Australian traffic noise experience.	
Samuels STEPHEN	333
10. Effect of acceleration on traffic noise.	
Béla BUNA, László VERÉB	339
11. A survey on DFVLR model and full-scale helicopter noise research.	
Hanno HELLER, Wolf SPLETTSTOESSER, Klaus-Jürgen SCHULTZ	343

**7.7 BRUIT ET ENVIRONNEMENT EN VILLE - URBANISME
NOISE AND ENVIRONMENT IN THE CITY - TOWN AND CITY
PLANNING
LÄRM UND STADTUMGEBUNG - STÄDTEBAU**

1. Calcul des niveaux de bruit élevés produits par des véhicules aléatoires dans les trafics faibles.	
Michel MAURIN	349
2. Méthode de simulation ultrasonique de l'impact des autoroutes impliquant la reproduction de la dynamique des niveaux sonores.	
Jean-Gabriel MIGNERON	353
3. Estimation de l'indice sonore moyen représentatif pour le bruit de la circulation routière.	
Yves DELANNE	357
4. Computerunterstützung in der Planung und Optimierung von Lärmschutzmassnahmen Gegen Verkehrslärm.	
Wilfried GLÖCKNER	361
5. Anoise - A system for evaluating environmental noise.	
J.S. KEELER, R.A. CORRIGAN	365
6. Transfert de nuisances suite à l'ouverture d'une voie de contournement d'une agglomération.	
Henri LEGILLON, Jean-Marc ABRAMOWITCH	369
7. Gestion du bruit par les collectivités locales.	
Daniel CAYREFOURCQ	373
8. Traffic noise survey in Valencia.	
Amando GARCIA, María FAJARI	377

9. The research of the environmental noise standard for Shanghai.	
Chang-ju ZHENG, Zong-hui HONG et al.	381
10. Noise abatement zoning in Thessaloniki.	
Emmanuel TZEKAKIS, Nikos TSINIKAS	385
11. Programme carto-bruit : cartographie du bruit routier aux abords des voies.	
Patrick OLIVERO	389
12. Evaluation et prévision des niveaux sonores dans un site urbain complexe.	
J.-P. SIRIEYS, J. PONTHEU	393
13. Neuere Erhebungen über die Belastung und Beeinträchtigung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch Lärm.	
Dieter GOTTLOB, Paul KLIPPEL	397
14. Aménagement urbain contre bruit urbain.	
Cornelia BERINDAN	401
7.8 BRUIT ET ENVIRONNEMENT RURAL - BRUIT ET PROTECTION DE LA NATURE NOISE AND ENVIRONMENT IN THE COUNTRY - NOISE AND NATURE PROTECTION LÄRM UND LANDUMGEBUNG - NATURSCHUTZ	
1. La gêne due au bruit des liaisons interurbaines en rase campagne.	
M. VALLET, C. CARRÈRE, P. LACOSTE	407
2. Characterization of rural noise in the province of Alberta, Canada.	
Chetlur BALACHANDRAN, Richard PATCHING	411
7.9 RÉSEAUX DE SURVEILLANCE - PAYSAGE SONORE SURVEILLANCE NETWORKS - ENVIRONMENTAL SOUND ÜBERWACHUNGSNETZ - TONLANDSCHAFT	
1. Quelques aspects concernant l'influence de l'acoustique sur la composition et la perception des espaces construits.	
Marius SMIGELSCHI, Aurelian STAN	417

7.1

**Absorption - Calcul et mesures
Matériaux et dispositions**

**Absorption
Computation and measurements
Materials and arrangement**

**Absorption - Berechnung und Messung
Baustoffe und Bestimmungen**



CALCUL DES CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES D'UNE SALLE PAR LA
METHODE DES RAYONS.

VANDENBOSCH P.- HOUGARDY J.

Laboratoire d'Acoustique, Service des Milieux Continus
Université Libre de Bruxelles
Avenue Adolphe Buyl, 87 1050 Bruxelles

Introduction.

L'acoustique des salles a toujours été un domaine régi par des "règles d'or" et l'intuition de concepteurs particulièrement compétents.

L'étude quantitative de ce problème par les outils physiques et mathématiques est restée limitée à des cas fort théoriques jusqu'à l'apparition de l'ordinateur qui a donné naissance à une série de méthodes approchées dont on développe actuellement les performances.

Le but est de calculer à priori les propriétés acoustiques d'une salle de forme quelconque dont on se donne la géométrie et les caractéristiques d'absorption de chaque paroi.

Ces propriétés acoustiques seront représentées par des "indices objectifs": le niveau d'intensité sonore, la courbe de réverbération, le temps de réverbération et l'échogramme.

Parmi les méthodes existant dans la littérature, nous avons choisi la méthode des rayons pour sa grande adaptabilité à n'importe quelle géométrie.

1. La méthode des rayons sonores.

Par un cheminement analogue à ce qui a été fait en optique, on modélise la propagation d'une onde sonore par une répartition de rayons.

Cette approximation n'est valable que pour des fréquences suffisamment élevées afin de pouvoir négliger les phénomènes de diffusion ou de diffraction.

L'énergie rayonnée par la source est répartie en un nombre fini de rayons. Dans une première étape, nous avons considéré une répartition uniforme de l'énergie et de la direction des rayons. Le récepteur est matérialisé par une sphère ou une portion de plan appelés cibles.



Chaque fois que le rayon sonore rencontre une paroi de la salle, on construit le rayon réfléchi (loi de Descartes tridimensionnelle) et on calcule son énergie résiduelle grâce au coefficient de réflexion de la paroi rencontrée.

L'opération est répétée jusqu'à ce que le niveau énergétique du rayon soit inférieur à un seuil fixé suivant l'utilisation du local et, dans ce cas, le rayon est abandonné.

Quand un rayon traverse la cible, sa contribution énergétique et son temps de parcours depuis la source sont comptabilisés.

2. Calcul des indices objectifs.

A la fin du calcul, on dispose pour chaque rayon capté i de son temps de parcours t_i et de sa contribution énergétique w_i' .

On appelle puissance captée par le récepteur: $W_R = \sum_{i=1}^{n_c} w_i'$
(n_c étant le nombre de rayons captés)

Il s'agit donc d'une valeur de puissance en régime pour une source débitant en continu.

2.1. Le niveau d'intensité sonore L_I

Pour une cible sphérique de rayon R et en ne considérant que le champ direct, les calculs montrent que l'intensité au niveau du récepteur $I_R = W_R / \pi R^2$

L'intensité sonore est donc obtenue en divisant la puissance captée par la surface efficace du récepteur.

Ce principe vérifié pour le champ direct est étendu au champ réverbéré.

Dès lors: $L_I = 10 \log_{10} I_R / 10^{-12}$

2.2. L'échogramme.

C'est le diagramme obtenu en associant à chaque t_i le w_i' correspondant.

2.3. La courbe de réverbération.

Cette courbe est obtenue en soustrayant de la valeur en régime W_R les valeurs cumulées de l'échogramme.

$$W_{rev}(t) = W_R - \sum_{i=1}^j w_i' \quad \text{avec } t_j < t < t_{j+1}$$

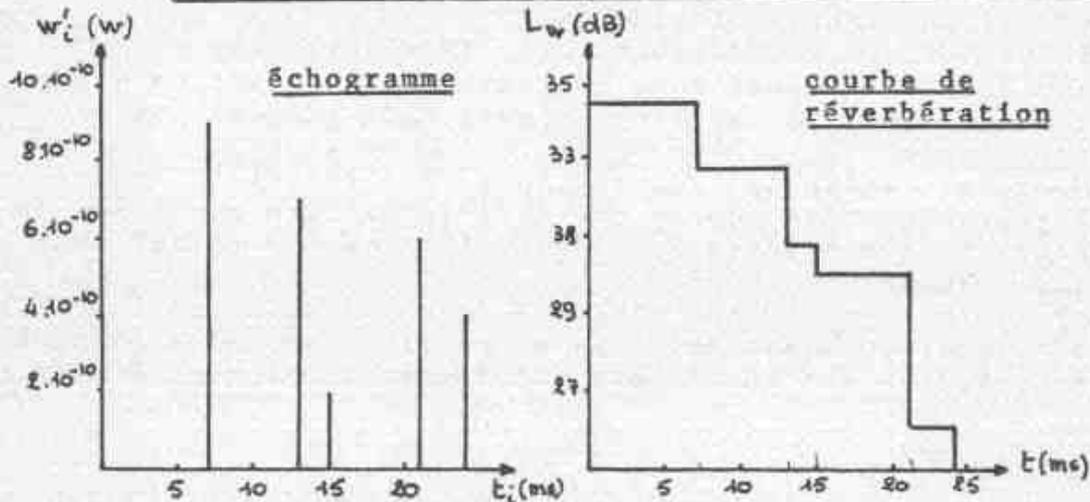
2.4. Le temps de réverbération.

Il est déterminé à partir de la pente à l'origine de la courbe de réverbération.



2.5. Exemple.

n° du rayon	1	2	3	4	5
Puissance (10^{-10} w)	9	7	2	6	4
Temps (ms)	7	13	15	21	24



$$W_R = 28 \cdot 10^{-12} \text{ w}$$

3. Choix des différents paramètres de calcul.

L'utilisation du programme suppose de la part de l'utilisateur le choix de quatre paramètres : la puissance de la source, le nombre de rayons générés, le seuil d'abandon du rayon et le rayon du récepteur.

Les essais numériques effectués permettent les conclusions suivantes :

- la puissance de la source est arbitraire car les résultats sont proportionnels sauf si on atteint rapidement le seuil d'abandon
- le seuil d'abandon est choisi suivant le type d'étude effectué (niveau sonore moyen, analyse des réflexions secondaires etc.)
- le nombre de rayons générés dépend de l'importance de l'étude
- le rayon du récepteur doit être physiquement acceptable et correspondre à des valeurs asymptotiques pour les résultats.

Une pré-étude est donc indispensable pour chaque problème afin de vérifier que les paramètres choisis conduisent à des conditions favorables pour la validité des résultats en fonction du temps de calcul dont on dispose. Ce temps de calcul a été optimisé.

4. Vérification expérimentale.

L'étude expérimentale a été réalisée sur un modèle réduit en



panneaux de bois aggloméré, avec une paroi recouverte de feutre et une autre de laine de verre.

La source est un ionophone omnidirectionnel travaillant à 10.000 Hz et accolé à la paroi en laine de verre.

Le calcul de l'énergie résiduelle d'un rayon après réflexion sur une paroi nécessite la connaissance du coefficient de réflexion de cette paroi, défini comme le rapport de la pression réfléchie à la pression incidente.

Les valeurs de ces coefficients ont été déterminées expérimentalement pour chaque matériau en chambre sourde sur un échantillon aux dimensions caractéristiques plus grandes que la longueur d'onde.

La comparaison entre les répartitions de l'intensité sonore calculées et mesurées montre que dans la majeure partie de la salle, les niveaux sonores sont surestimés par le calcul avec une marge maximale de 2 dB.

Des écarts importants sont observés dans les coins et à proximité des parois, c'est-à-dire aux endroits où se produisent des phénomènes ondulatoires que la méthode est incapable de représenter.

5. Applications.

Les conditions de validité du programme étant établies, nous sommes donc capables d'étudier la répartition de l'intensité sonore dans n'importe quelle salle satisfaisant à celles-ci. nous pouvons aussi envisager des problèmes de correction acoustique en modifiant dans les données du programme la géométrie de la salle ou ses caractéristiques d'absorption et en étudiant l'effet de ces modifications sur les indices objectifs. Ce programme nous a également permis d'aborder l'étude de l'influence d'une colonne sur la répartition de l'intensité sonore dans une salle.

6. Perspectives.

Le programme réalisé est actuellement prolongé dans trois directions:

- aspect numérique: extension du calcul à des parois non planes, à des sources directionnelles et recherche de procédés pour réduire le temps de calcul
- aspect pratique: multiplication des applications du programme et définition d'une méthode performante pour la mesure des coefficients de réflexion
- aspect théorique: introduction dans le programme des phénomènes de diffraction en envisageant plusieurs réflexions pour un même rayon incident.

Ces trois aspects et en particulier le dernier sont l'objectif des recherches que nous poursuivons actuellement au laboratoire d'Acoustique de l'ULB, leur développement étant favorisé par l'optimisation que nous avons pu apporter au programme.



REPARTITION DU CHAMP SONORE PAR UNE METHODE DE TIR ALEATOIRE

Jean-Jacques EMBRECHTS

Aspirant du Fonds National Belge de la Recherche Scientifique

Service d'Eclairage de l'Université de Liège

Campus universitaire du Sart Tilman, Bât. B 28
4000 SART TILMAN (LIEGE 1) BELGIQUEI- Introduction

Dans le but d'obtenir un rapport (précision/temps de calcul) élevé, les méthodes numériques dites de Monte-Carlo ont été appliquées au tir des rayons sonores (1,2).

II- Formulation des paramètres décrivant le champ sonore

Soit une source omnidirectionnelle S_0 émettant un signal dans un local fermé (fig. 1).

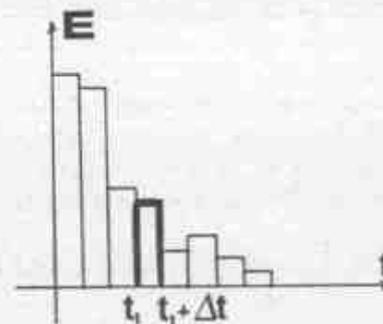
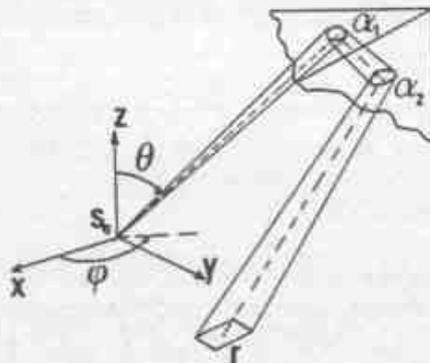


Fig. 1 : Rayon sonore et récepteur (r) Fig. 2 : Construction d'un échogramme

Si le signal est une impulsion d'énergie E au temps $t = 0$, l'énergie arrivant au récepteur R entre les instants t_1 et $t_1 + \Delta t$ s'exprime par (3,4) :

$$E(R, t_1, \Delta t) = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} a(\theta, \phi) (E/4\pi) D(R, t_1, \Delta t, \theta, \phi) \sin \theta d\theta \quad (1)$$



Jean-Jacques EMBRECHTS, Aspirant FNRS - Rép. Champ sonore Méth. Tir aléat.

où $a(\theta, \phi)$ est l'affaiblissement de l'énergie initiale du rayon (θ, ϕ) dû à l'absorption (air et parois);

$D(R, t_1, \Delta t, \theta, \phi) = 0$, sauf si le rayon atteint R entre t_1 et $t_1 + \Delta t$
Dans ce cas, $D = 1$.

Le calcul de (1) à plusieurs instants t_1 permet de tracer un échogramme (fig. 2).

Si le signal est continu et situé dans une certaine bande de fréquences, la moyenne spatiale de la pression efficace au récepteur R s'écrit (3,4) :

$$p^2_{\text{eff}}(R) = \rho_0 C / S \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} (a(\theta, \phi) / |\cos \hat{i}(\theta, \phi)|) (W_s / 4\pi) D(R, \theta, \phi) \sin \theta d\theta \quad (2)$$

où $\hat{i}(\theta, \phi)$ est l'angle d'incidence du rayon (θ, ϕ) lorsqu'il atteint le récepteur R de surface S;

W_s est la puissance de la source (Watts);

ρ_0 et C respectivement la densité de l'air et la vitesse du son.

La discrétisation dans le temps permet dans ce cas d'évaluer le temps de réverbération. D'autres paramètres (vecteur intensité, ...) ont été exprimés sous une forme intégrale (3,4) analogue.

III- Evaluation de ces expressions à l'aide des Méthodes de Monte-Carlo

Un échantillon de rayons $(\theta_k, \phi_k, k=1-N)$ est tiré au hasard suivant une loi de probabilité définie, afin d'évaluer les expressions telles que (1) et (2).

Nous avons choisi la méthode de stratification (5) qui divise la sphère émettrice centrée en S_0 en pavés $\Delta\Omega$ égaux et qui distribue les N rayons proportionnellement à la dispersion des résultats sur chaque pavé. Une première passe permet d'estimer cette dispersion.

Une illustration de cette technique est montrée à la figure 3.

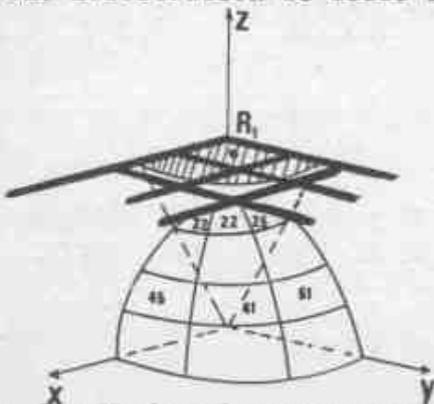


Fig. 3 : Nombre de rayons par pavé pour un tir de 5000 rayons.

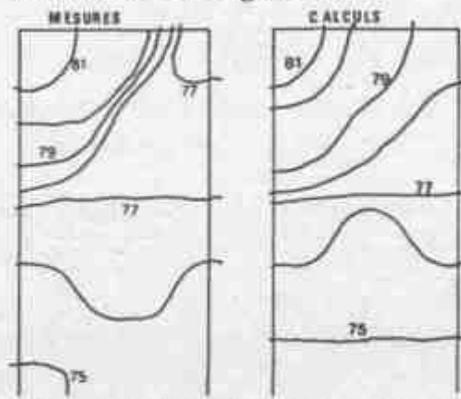


Fig. 4 : courbes isobares dans un local de travail.



Jean-Jacques EMBRECHTS, Aspirant FNRS - Rép. Champ sonore Méth. Tir Aléat.

IV- Quelques résultats

Un programme d'ordinateur basé sur cette méthode permet de modéliser la géométrie de la salle et de spécifier une surface d'audience qui sera découpée en plusieurs petits récepteurs. Il évalue également l'erreur sur le calcul de pression, inhérente à la méthode statistique.

Pour un premier local (local de travail), nous avons calculé et mesuré la répartition du champ sonore sur une surface plane horizontale fictive à 1 m du sol. La source est placée dans un coin (fig. 4). Les deux réseaux de courbes isobares sont très semblables, la corrélation entre elles ayant d'ailleurs été prouvée (3,4). L'efficacité de la méthode de stratification est 3 fois plus grande dans ce cas qu'un simple tir au hasard (3,4).

Dans une chambre réverbérante (avec laine de verre au sol), nous avons testé le calcul de temps de réverbération (± 0.2 secondes) ainsi que le calcul du vecteur intensité donnant une bonne illustration de la directivité du champ sonore.

Une application importante du programme réside en la modélisation de salles à géométrie complexe telles que les salles de spectacles modernes. Pour le Centre Cultural de Seraing, nous avons confronté mesures et calculs. Les cartes de pressions étaient de nouveau très semblables (± 1 dB) et les temps de réverbération moyens respectivement de 0.9 secondes (mesures) et 1.1 secondes (calculs). D'autres salles ont été étudiées à l'aide de cette méthode, notamment au niveau de l'influence du profil sur la répartition du champ sonore.

Enfin, la dernière étape a été l'application du programme à l'étude de plusieurs halls industriels. Dans ce cas, la géométrie est plus simple, mais nous avons dû adapter l'algorithme pour tenir compte de la présence de plusieurs sources (et même de plans rayonnants), pour évaluer les résultats en dBA et surtout pour distribuer le nombre total de rayons au prorata de la puissance des sources afin d'obtenir une efficacité maximale.

Références

- (1) Juricic H. et Santon F., *Acustica* 28(1973), 77;
- (2) Krokstad A. et al, *J. Sound Vib.* 8(1968), 118;
- (3) Embrechts J.J., *Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège* (1981);
- (4) Embrechts J.J., à paraître dans *Acustica*;
- (5) Hammersley J.M. and Handscomb D.C., *Monte-Carlo methods*; London, Methuen & Co Ltd (1964).



Jean-Jacques EMBRECHTS, Aspirant FNRS - Rép. Champ sonore Méth. Tir Aléat.

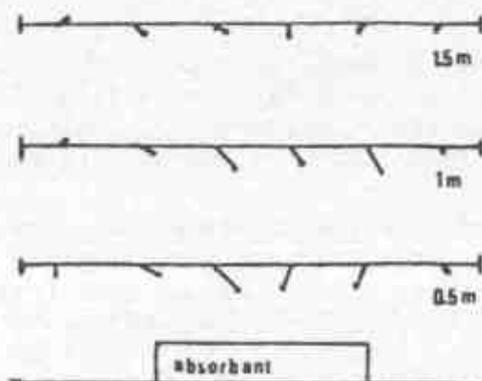


Fig. 5 : Vecteurs intensité calculés dans la chambre réverbérante au-dessus d'un échantillon d'absorbant (et à grande distance de la source).

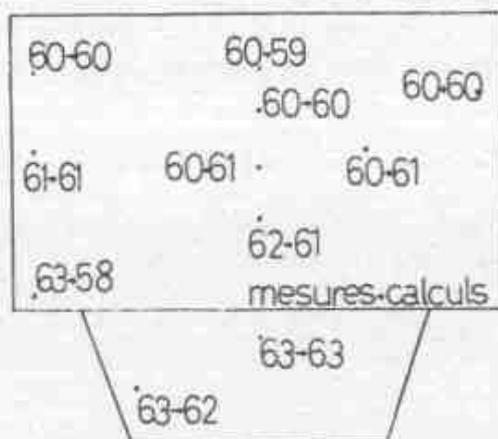


Figure 6 : Répartition du champ sonore (dB) dans la salle de spectacles du Centre Culturel de Seraing, au niveau de la tête des auditeurs.



INTENSITE ACTIVE ET REACTIVE EN ACOUSTIQUE DES SALLES REPRESENTATION CONJOINTE ENERGETIQUE DES ONDES

GAUDRIOT Lionel*, FLANDRIN Patrick**, ESCUDIE Bernard**.

*Société METRAVIB, 64 chemin des Mouilles, 69130 Ecully, France

**Laboratoire Traitement du Signal, ICPL, 25 rue du Plat, 69288 Lyon cedex 2, France.

Introduction

La notion de représentation conjointe développée en Traitement du Signal se généralise aux variables spatiales. Appliquée au champ acoustique, elle introduit au concept de paquet d'ondes propagatives accessible à la mesure à l'aide d'une antenne et d'un analyseur temps-fréquence approprié. Le développement qui suit définit la notion de paquet d'ondes et de propagateur associé et introduit à son application à l'acoustique des salles.

1 - Intérêt physique de la Représentation conjointe

Ce type de représentation a pour but de distribuer l'énergie ou la puissance moyenne d'un signal en fonction de la date et de la fréquence [1]. Elle peut aussi décrire ces grandeurs en fonction de tout couple de variables canoniquement conjuguées tel la position \vec{r} et la fréquence spatiale \vec{k} . Ce faisant, on abandonne les hypothèses de régime permanent ou de stationnarité [2]. Diverses définitions étant possibles pour ce type de représentation liée à un mode d'observation, une relation générale les exprime à l'aide d'une fonction de pondération décrivant le mode de mesure utilisé [1]:

$$\rho(t, \nu, f) = \int_{\mathbb{R}^3} f(n, \tau) \exp(2i\pi n(u - t)) Z(u + \tau/2) Z^*(u - \tau/2) \exp(-2i\pi\nu\tau) dn du d\tau$$

$$\in L^2$$

$$Z = S + iQ \text{ (signal analytique de } S)$$

$$f(n, \nu) = f^*(-n, -\nu) = f^*$$

$$|f(n, \nu)| \leq f(0, 0) = 1$$

f est la fonction de pondération exprimant l'action de l'appareil de mesure décrivant la distribution ρ [3]. Celle-ci n'est pas définie comme une densité : $|4|$:

$$\rho^f \in \mathbb{R}, \int_{\mathbb{R}^2} \rho^f(t, \nu) dt d\nu = E_Z = \|Z\|^2 = \text{énergie totale} \rightarrow f(0, 0) = 1, \rho^f(t, \nu) \frac{t}{\nu} \frac{\phi}{\theta} f(\theta, \phi) X^*(\theta, \phi)$$

Les conditions physiques suivantes $\int_{\mathbb{R}} \rho^f dt = [Z(\nu)]^2 = \gamma_Z(\omega)$ densité spectrale

$$\int_{\mathbb{R}} \rho^f d\nu = [Z(t)]^2 = P_Z(t) \text{ puissance instantanée,}$$

déterminent une classe particulière de représentations telles que l'on décrit aisément les signaux modulés en amplitude $A(t)$ et fréquence $\nu_j(t)$:

$$[Z(t)]^2 = A^2(t), 1/2 \pi d\phi/dt = \nu_j(t) = \int_{\mathbb{R}} \nu \rho^f d\nu / \int_{\mathbb{R}} \rho^f d\nu, Z(t) = A(t) \exp i\phi(t) \text{ ou tout autre paramètre dépendant de } t \text{ ou } \nu [4].$$



2 - Représentation conjointe en espace et fréquence spatiale

$\rho(x,k)$ représentation énergétique conjointe en espace x et en fréquence spatiale k est définie de manière analogue à la précédente. Elle correspond à la même notion qu'en Mécanique Quantique en remplaçant la fonction d'onde $\psi(x)$ par $Z(t)$, signal analytique associé au signal $S(t)$ [1]. L'intérêt d'un tel type de représentation réside dans le fait qu'elle permet de décrire des situations spatiotemporelles évolutives. Ainsi, en Acoustique des Salles, $\rho(r,k)$ décrit l'évolution de l'énergie reçue en tous points et pour divers chemins de propagation. Cette représentation est bien adaptée à l'étude du caractère propagatif direct et progressivement réverbéré du champ reçu. La propriété de démodulation des signaux que possède $\rho(t,\nu)$ est fondamentale dans la description des signaux vocaux et musicaux perçus dans un local. Un exemple illustre ces propriétés au paragraphe 5 suivant. La représentation conjointe énergétique est fortement liée à l'existence de signaux élémentaires ou "paquets d'ondes" occupant l'aire minimale dans le plan (t,ν) [5]. Ces signaux sont connus en Acoustique de la Parole sous le nom de "messages élémentaires de son pur" dont le paquet d'onde est l'analogie spatio-temporel [6] [7] [8].

3 - Evolution spatio-temporelle des ondes et représentation conjointe

L'équation des ondes régit la propagation acoustique, elle définit l'opérateur d'évolution spatio-temporel tel que :

$$U(t, \vec{r}, \vec{r}_0) \phi(t_0, \vec{r}_0) = \phi(t, \vec{r}) \quad \phi(\text{potentiel scalaire des vitesses}).$$

En espace libre, l'expression de U à l'aide de sa fonction de GREEN, se confond avec la réponse impulsive d'un opérateur filtre linéaire, c'est à dire convolutif ou invariant par translation. Dans le cas confiné de l'Acoustique des Salles, on n'a pas en général accès direct à la fonction de GREEN associée. On représente alors le phénomène à l'aide du concept d'ondes, et l'on cherche à décrire localement l'opérateur à l'aide de deux "propagateurs" direct et inverse. Cette opération se ramène à un développement en série local de l'opérateur U . On fait alors appel à la représentation conjointe ρ adaptée à la description d'ondes associées au signal ϕ . Les propagateurs direct et inverse s'introduisent naturellement à l'aide de l'équation d'évolution de ρ liée à la transmission des paquets d'ondes. Ce n'est que la traduction théorique de la situation physique envisagée, et intuitivement admise en Acoustique. Cette démarche impose la définition d'une représentation conjointe stable vis à vis de la convolution [9] :

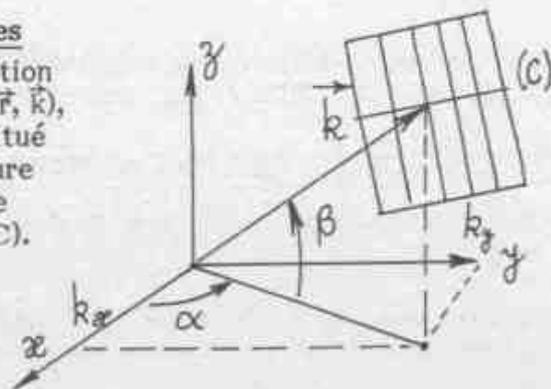
$$Z'(t) = (Z * H)(t) \rightarrow \rho Z'(t, \nu) = (\rho_Z * \rho_H)(t, \nu)$$

Cette stabilité traduit l'action du propagateur se manifestant par un filtrage et un retard ou une modulation. La classe des représentations invariantes par convolution ou produit comprend les représentations les plus connues, telles celles de WIGNER VILLE et ses variantes ou celles de RIHAZECK [9].

4 - Caractérisation des champs acoustiques

Ayant décrit le champ par une représentation conjointe de signaux spatiotemporels $(t, \nu, \vec{r}, \vec{k})$, ceci revient à le considérer comme constitué par des "paquets d'ondes" plans à "envergure limitée". C'est la technique mise en œuvre par une antenne plane de contour donné (C). En champ "lointain", tel que $p(t)$ et $\vec{v}(t)$ pression et vitesse soient synchrones, l'équation de dispersion s'écrit :

$$(\vec{k})^2 = (4 \pi^2 / c_0^2) \nu^2$$





C'est la traduction de l'équation du son dans un milieu non dispersif, telle que la fréquence spatiale \vec{k} soit décrite par $2\pi v = \omega = 2\pi/\lambda$ et les angles α et β caractérisant la direction de propagation. Le signal est étudié à l'aide d'une antenne à double couche mesurant $p_1 = \rho_0 c v_1$ et $p_2 = \rho_0 c v_2$ et $S = p \pm \rho_0 c v$ afin de mettre en évidence les ondes directes et inverses pour "démêler" les deux solutions de l'équation hyperbolique de second ordre. En étudiant en particulier la puissance moyenne d'interaction $\rho_{ZZ}(t, v, r, k)$ où Z est associé à p et Z' associé à v , on fait apparaître de façon équivalente les composantes actives et réactives de l'intensité acoustique totale I , caractéristiques de la situation interférentielle évolutive attachée au champ observé.

5 - Fonction de transfert d'antenne, paquet d'ondes capté et propagateur

En champ lointain, la notion de fonction de transfert d'antenne est associée classiquement à sa "figure de diffraction" ou diagramme de directivité. Celle-ci définit les limites du paquet d'ondes reçu. Ces limites résultant du contour de l'antenne et des pondérations envisageables sur celle-ci. En champ proche, au sens de "FRESNEL", la fonction de transfert s'identifie au découpage géométrique intérieur au cylindre normal au plan d'antenne et défini par son contour [10].

De plus, dans le cadre de l'approximation considérée (soit, pour fixer les idées, à une distance normale z à l'antenne telle que : $4\lambda < z < 25\lambda$ pour $2b = 2\lambda$, d'envergure d'antenne [10]), cette fonction de transfert s'approche par une propagation d'onde plane limitée parallèle au plan d'antenne à la vitesse de groupe c_0 . Au-delà, en champ lointain, le paquet d'onde s'épanouit en se conformant sur le lobe principal d'antenne. Une approche de type phase stationnaire fournit un support mathématique possible pour une description plus précise de la situation [11] [12].

Ces concepts définissent les propagateurs associés aux paquets d'ondes captés par l'antenne à différentes distances de l'antenne des sources et des objets réfléchissants et diffractants.

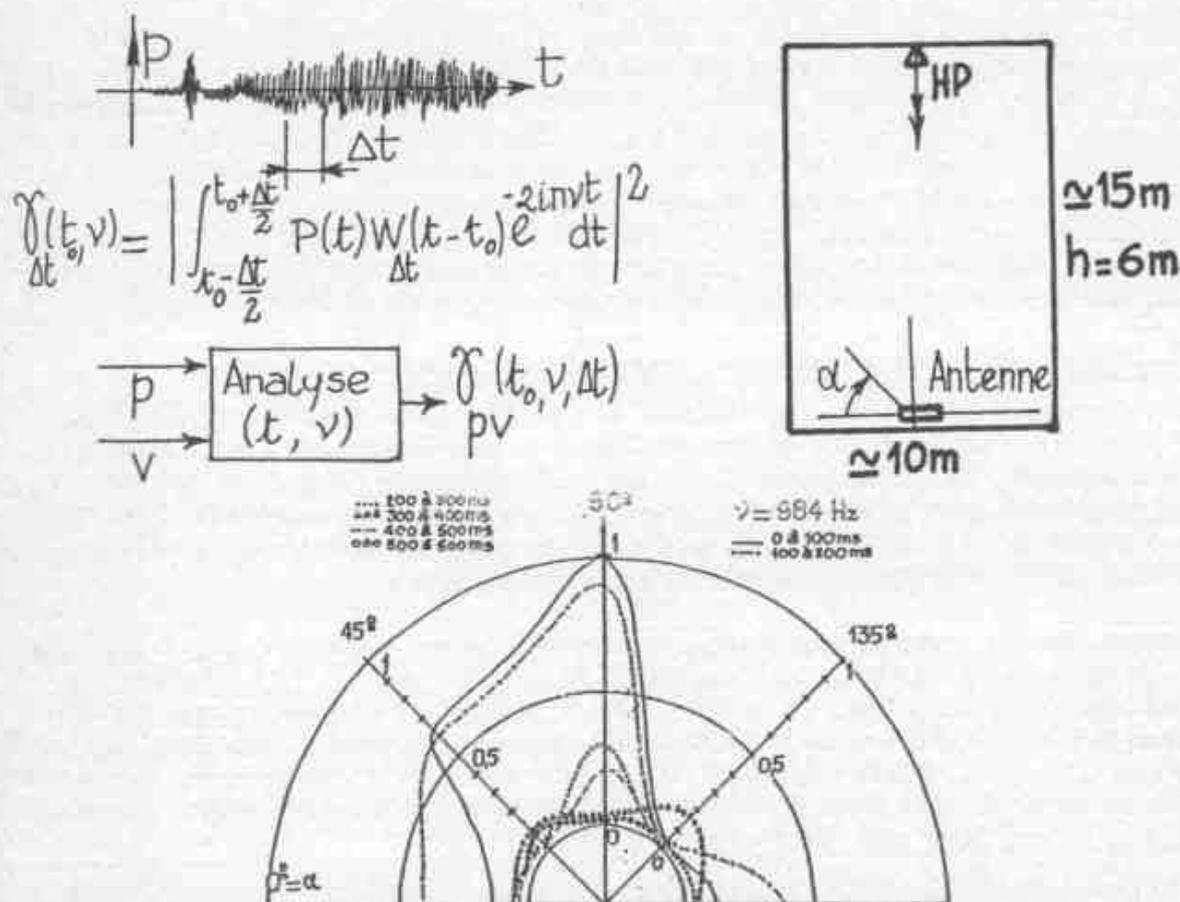
6 - Application à l'Acoustique des Salles

a - Description du champ dans une salle donnée : En utilisant le dispositif formé d'une antenne et un analyseur temps fréquence (figure 1), on a pu obtenir une description locale de l'évolution transitoire du champ créé dans une salle (figure 2) par un paquet d'ondes impulsif de durée 0,8 ms et occupant la bande d'octave 1 kHz. Cette description est à la fois angulaire et spectrale à dates et durée d'observation Δt fixées. Elle fait apparaître, par exemple, autour d'une fréquence donnée $\nu_0 = 984$ Hz, l'existence du paquet direct et de paquets "réfléchis" successifs provenant de diverses directions (figure 3). Ceci permet à cette fréquence ν_0 la description de l'évolution du champ vers une structure "omnidirectionnelle" ou "diffuse". Dans cette dernière situation, les contributions énergétiques des paquets s'équirépartissent en direction.

Ce procédé peut de la même manière s'appliquer à la description locale des effets acoustiques d'un traitement de paroi ou d'un obstacle quelconque ou diffuseur. On considérera alors le paquet d'onde incident ($S_1 = p + \rho_0 c v$) et l'émergent ($S_2 = p - \rho_0 c v$) mesurés à l'aide d'une antenne à double couche évaluant \vec{v} à partir de grad p . Le coefficient de réflexion est obtenu par identification.



L. GAUDRIOT, B. ESCUDIE, P. FLANDRIN - Représentation conjointe en Acoustique des Salles -



b - Perspectives d'étude : Cette description ouvre la voie à des techniques prédictives permettant la simulation acoustique de salles, à partir de la donnée des sources caractérisées en représentation conjointe. Elle nécessite la mise en oeuvre de proche en proche de propagateurs adaptés (directs et inverses) dont les caractéristiques sont décrites auparavant, jointe à une connaissance a priori de certaines conditions aux limites dues aux frontières. Ces dernières sont acquises par la même technique. Par ailleurs, l'amélioration des dispositifs de calcul en temps réel des représentations conjointes permet d'envisager l'analyse instrumentale non différée des champs étudiés.

Bibliographie

- [1] B. ESCUDIE, J. GREY, Comptes-Rendus Acad. sc. Paris, série A, tome 283, p. 1049-1051, 1976.
- [2] P. FLANDRIN, W. MARTIN, à paraître, Colloque GRETSI, Nice, mai 1983.
- [3] B. ESCUDIE, Annales Télécommunications, Tome 34, vol.3-4, p.101 à 111, 1979.
- [4] B. ESCUDIE, J. GREY, VIe Colloque National Traitement du Signal, p.5/1 à 5/6, Nice, 1977.
- [5] D. GABOR, Journ. IEE, tome 93, vol. III, p. 429 à 457, 1946.
- [6] J. BOSQUET, Revue Acoustique, n° 42, 1977.
- [7] H.A. KRAMERS, Quantum Mechanics Dover publ. NY USA, 1956.
- [8] C. COHEN TANOUDJI et al., Mécanique Quantique, tome 1, Herman ed., 1977.
- [9] P. FLANDRIN, thèse doc. ing. INP Grenoble, 7 mai 1982.
- [10] P. FLANDRIN, B. ESCUDIE, Colloque Internat. Mesure Intensité Acoustique, p. 95-102, CETIM Senlis, oct. 1981.
- [11] L. GAUDRIOT et al. Revue Acoustique, n° 54, p. 176, 1980.
- [12] B. ESCUDIE, L. GAUDRIOT, J.L. LACOUME, Colloque Physique Moyens de Transport, SFP - LYON, sept. 1982.



LES CRITERES SUBJECTIFS DE LA QUALITE SONORE D'UN LIEU D'ECOUTE ET LEUR
OBJECTIVATION EN GRANDEURS ACOUSTIQUES.

LEIPP Emile, Directeur de Recherche Titulaire au C.N.R.S.

Laboratoire d'Acoustique de l'Université Paris VI, E.R.A. 537
4 Place Jussieu, 75230 PARIS Cedex 05.

I - INTRODUCTION

On a élaboré, depuis le début de ce siècle, de nombreuses théories et méthodes pour tester objectivement les qualités acoustiques d'un lieu d'écoute, en s'appuyant essentiellement sur des critères physiques. L'expérience a montré, chaque fois que l'on utilisait les données fournies par les acousticiens des salles pour élaborer des projets en acoustique architecturale et pour construire sur le terrain des lieux d'écoute, que les résultats s'écartaient notablement, sinon totalement, des espérances des usagers. En fait, plutôt que de partir de données physiques et théoriques en ce domaine, il aurait été préférable de commencer par faire des enquêtes auprès des usagers de lieux d'écoute connus pour leurs qualités et leurs défauts. C'est ce que, depuis des années, j'ai tenté de faire.

La difficulté majeure réside dans l'utilisation d'une terminologie et d'un vocabulaire particuliers par les usagers lorsqu'ils décrivent les qualités et défauts acoustiques d'un lieu, terminologie qu'il est difficile de comprendre si on n'est pas initié aux dires des musiciens, des chefs d'orchestre, des mélomanes - ce qui n'est pas habituellement le cas des physiciens et des spécialistes de l'acoustique des salles. Le vocabulaire des usagers des lieux d'écoute fournit les critères importants qu'il faut prendre en compte pour mettre sur pied une méthode de test réaliste de ces lieux. Il convient donc de préciser la terminologie utilisée par les usagers et d'indiquer la correspondance avec les termes acoustiques : c'est ce à quoi je me suis employé pendant un grand nombre d'années avant de mettre au point une méthode de tests objectifs permettant de faire un "diagnostic" des lieux d'écoute, et de formuler un "pronostic" quant à l'utilisation de tel ou tel lieu testé, à son adéquation ou inadéquation à tel ou tel type de messages sonores. Voici donc, pour commencer, les termes subjectifs que de longs contacts avec des usagers m'ont permis de retenir - et leurs correspondants objectifs, acoustiques.

II - TERMINOLOGIE SUBJECTIVE

et correspondances avec la

TERMINOLOGIE OBJECTIVE

Nous allons donc mettre en parallèle, pour chaque problème soulevé par



LEIPP - Critères subjectifs objectivables des lieux d'écoute.

la qualité acoustique des lieux d'écoute, les critères subjectifs des usagers et les critères objectifs que j'ai retenus après une longue série d'expérimentations sur le terrain.

A. Altération des timbres

a) Critères subjectifs des usagers

Selon eux, les lieux modifient plus ou moins la "coloration", les "timbres", la "balance sonore", etc. Ici, les graves sont "maigres". Ailleurs, les sons aigus sont trop atténués (tels ou tels instruments, tel le hautbois, "disparaissent" parfois totalement !). Ces déformations des sons, les mélomanes tant soit peu raffinés savent qu'elles sont plus ou moins marquées selon les salles et les places qu'on occupe. Les "habitues" d'une salle de concert savent que telles places de cette salle sont "mauvaises" ou "bonnes" pour tel ou tel instrument ; ou pour telle ou telle musique ... Quand il s'agit d'instruments faibles (luth, guitare, etc.), il observent que dans certaines salles il faut "tendre l'oreille", ce qui produit une fatigue à l'écoute d'autant plus forte que le bruit de fond est plus faible. Tous ces critères correspondent à des données objectives mesurables qu'il convient à présent de préciser.

b) Critères objectifs

Ceux que j'ai retenus pour la méthode de test que j'ai mise au point correspondent bien aux critères subjectifs précédents. Ce sont :

- La distorsion spectrale, qui peut être mesurée en décibels dans les diverses bandes d'octave, en comparant ce que rayonne la source et ce qu'on peut enregistrer aux divers points d'écoute. L'expérience a montré que les bandes d'octave sont suffisantes, et que la diffusion d'un bruit rose par une source "fidèle" permet de mesurer les pertes dans toute la gamme des sons audibles (de 63 à 16 000 Hz).
- L'isotropie du lieu apparaît aisément dès que l'on superpose sur un diagramme le résultat des distorsions spectrales en divers points d'écoute significatifs.
- Le confort d'écoute correspondant à l'émergence des courbes de distorsion spectrale au-dessus du bruit de fond (porté sur le même diagramme en dB/Hz).

Une longue expérience a montré que les relevés de distorsion spectrale, d'isotropie et de confort d'écoute permettaient de comprendre les "dires" des usagers et les critères subjectifs qu'ils emploient. Dès lors il devient possible de comparer objectivement des lieux d'écoute dans le domaine des "timbres" de la "coloration", de la "sonorité" des sources.

B. Problèmes de la réverbération, de l'"écho" des musiciens

a) Critères subjectifs

Lorsque les musiciens disent : "cette salle a de l'écho", ce mot ne signifie absolument pas ce qu'il signifie pour un physicien. Parfois, ils disent aussi : "cette salle a de la réverbération". Tous ces mots représentent en fait un "halo sonore", un "flou" des sons provenant de réflexions nombreuses et variées, mais cependant assez voisines les unes des autres pour qu'elles ne soient pas perçues individuellement. L'effet



LEIPP - Critères subjectifs objectivables des lieux d'écoute.

auditif peut être "bon", si le flou est modéré et efface des défauts d'exécution musicale ... Mais si le flou est trop important, on perd de l'information et l'effet est indésirable. Comme les mots "écho" et "réverbération" sont ambigus et changent de signification, j'ai préféré utiliser le mot de "traînages", qu'il est possible d'objectiver ...

b) Critère objectif

Le traînage étant défini comme la durée d'un son d'intensité définie avant qu'il ne se noie dans le bruit de fond, il suffit d'analyser en bandes d'octave sur diagrammes niveau-temps un bruit rose diffusé au point d'émission normal d'une salle et de relever le signal aux divers points d'écoute significatifs. On obtiendra finalement des données que l'on peut transcrire en diagrammes octave-durée. L'expérience a montré que les diagrammes relatifs à un lieu donné sont alors très aisés à mettre en parallèle avec les dires des usagers d'un lieu. Ces diagrammes permettent aussi de comparer dans l'absolu des lieux entre eux.

C. Problèmes de la netteté, de l'intelligibilité de la parole

a) Critères subjectifs

Les mots de "netteté", d'"intelligibilité" traduisent, pour l'auditeur, la capacité que lui laisse l'acoustique du lieu de séparer distinctement les syllabes ou les notes lors de la diffusion d'un message sonore. La parole normale comporte quelques 5 syllabes/seconde ; la musique, quelques 5 notes/seconde ... Mais il est des musiques de virtuoses ultra-rapides ; un lieu ne peut donc être décrit subjectivement que si on précise le type de parole ou de musique diffusé (chant grégorien, Caprices de Paganini, etc...).

b) Critère objectif

Pour éviter les termes - ambigus également - de "netteté" et d'"intelligibilité", j'ai préféré définir ces qualités par le terme de "pouvoir séparateur" du lieu. Pour définir objectivement le "pouvoir séparateur", il suffit de se rappeler que des sons successifs identiques se séparent nettement entre eux lorsque leur niveau diffère de quelques 5 décibels. Bref, un son qui suit un autre son qui s'éteint progressivement, sera nettement perçu lorsque ce dernier aura chuté de 5 dB. Dès lors, le pouvoir séparateur peut être défini objectivement comme l'inverse du temps qu'il faut à un son, à l'arrêt, pour "chuter" de 5 décibels dans des conditions données. La "netteté" est donc objectivée ainsi de façon réaliste.

D. Problèmes de la netteté des attaques des sons

a) Critères subjectifs

Musiciens et mélomanes parlent couramment de l'"inertie", de la "mollesse", de la "vivacité", du "mordant" des sons, et cela en liaison avec la qualité acoustique des lieux. Ces termes sont visiblement "parlants". Mais, que recouvrent-ils objectivement ?

b) Critère objectif

Les vocables subjectifs recouvrent en fait une grandeur physique



LEIPP - Critères subjectifs objectivable des lieux d'écoute.

bien connue : celle de "constante de temps", définie comme la durée qu'il faut à un système pour arriver à son amplitude maximale lorsqu'on l'excite ; en fait, c'est le "transitoire d'attaque" de la salle. Le critère objectif que j'ai retenu (que j'appelle "inertie") est l'inverse de la constante de temps de la salle (excitée par le bruit rose normalisé que j'utilise). L'inertie traduit en fait le nombre de sons élémentaires (syllabes, notes) que l'on peut produire en ayant le sentiment que les sons "arrivent à plénitude" - une notion bien claire parmi les musiciens et les mélomanes.

III - APPAREILLAGE ET METHODE UTILISEES

Tous les critères objectifs définis plus haut peuvent être extraits des enregistrements de niveau d'un signal normalisé (bruit rose de 94 dB à 1 mètre de la source). Ce signal est diffusé aux points où sont normalement placées les sources dans une salle ; on enregistre sur magnétophone le bruit en question aux points d'écoute habituels du lieu (plus ou moins nombreux selon les dimensions de la salle, sa symétrie géométrique, etc.). On relève en laboratoire les enregistrements de niveau, en global et par bandes d'octave. De ceux-ci, on extrait une "fiche caractéristique" où sont chiffrés les critères objectifs (transposables en diagrammes ou numérisables) : densité spectrale, traînages, pouvoir séparateur et inertie.

Environ 80 salles, connues empiriquement pour leurs qualités et leurs défauts par les usagers, ont été testées ainsi. Une longue expérience pratique nous a montré que la méthode était réaliste : des critères objectifs relevés, on peut déduire tous les "dires" des usagers d'un lieu. Parmi les salles testées, citons l'Opéra de Paris, Notre-Dame de Paris, le Théâtre des Champs-Élysées, la Salle Pleyel, la salle de l'Ancien Conservatoire de Musique, les lieux de l'Abbaye de Fontevraud et de Noirlac, de nombreuses salles "Polyvalentes" contemporaines, etc... On trouvera des détails complémentaires dans les communications I.C.A. de MM. EXPILLY et THFOIN.

BIBLIOGRAPHIE

- LEIPP E. - "Une méthode réaliste pour tester l'acoustique des lieux d'écoute". In : Colloque C.N.R.S. "Qualité acoustique des lieux d'écoute", E.R.A. 537, Paris, 1981.
- "Un test réaliste de la qualité acoustique des lieux d'écoute". Conférences des Journées d'Etude du Festival International Son et Image Video, Ed. S.D.S.A., Paris, 1982.



METHODE DE TEST DES LIEUX D'ECOUTE PERMETTANT L'OBJECTIVATION
DES CRITERES ACOUSTIQUES SUBJECTIFS.

EXPILLY François, THFOIN Claude.

Laboratoire d'Acoustique de l'Université Paris VI, E.R.A. 537
4 Place Jussieu, 75230 PARIS Cedex 05.

Les tentatives faites depuis un siècle environ pour prévoir le comportement acoustique des lieux d'écoute n'ont pas toujours été couronnées de succès, et on a dû admettre que la prise en compte de la seule durée de réverbération ne suffisait pas à la réalisation d'une bonne salle. Les impératifs acoustiques des diverses utilisations d'une salle sont, la plupart du temps, contradictoires ; dans ces conditions, comment relier à des grandeurs physiques mesurables les qualités acoustiques exigées pour telle ou telle utilisation ? La méthode proposée par E. LEIPP et ses collaborateurs est une tentative de réponse à ce problème.

Le matériel nécessaire à la réalisation des tests sur place comprend : un baffle autonome NAGRA, type DSM, permettant de diffuser un bruit rose normalisé (94 dBC à 1 mètre), un mini-magnétophone NAGRA, type SNN, pour enregistrer la réponse de la salle en divers points, et enfin un décibel-mètre. La compacité de ce matériel et sa facilité d'utilisation permettent d'effectuer les tests rapidement, ce qui est souvent une condition sine qua non. Les réponses de la salle sont ensuite analysées en laboratoire.

Avant d'effectuer les tests, on s'informe de la place des acteurs ou de la disposition des musiciens pour choisir les positions successives de la source de bruit rose, le choix des points d'écoute tenant compte de l'avis des utilisateurs de la salle, en particulier des auditeurs habituels. Il est malheureusement très rare que l'on puisse opérer en salle pleine ; la méthode proposée est donc généralement utilisée pour comparer entre elles des salles vides.

Pour un couple point d'émission-point d'écoute, on commence par enregistrer la réponse de la salle à 15 secondes de bruit rose brusquement mis en route et interrompu ainsi que l'annonce du niveau relevé au sonomètre. Puis, on enregist-



EXPILLY, THFOIN - Méthode de test des lieux d'écoute.

tre la réponse de la salle à 2 secondes de bruit rose, pendant lesquelles on doit éviter tout bruit parasite, car c'est de cet enregistrement que l'on va déduire l'inertie, le traînage et le pouvoir séparateur de la salle, pour le couple point d'émission-point d'écoute considéré. Enfin, on enregistre quelques secondes du bruit de fond de la salle quand on le juge utile.

Le matériel nécessaire à l'analyse en laboratoire des enregistrements effectués dans la salle comprend : un magnétophone NAGRA, type ISN, relié à un décibelmètre intégrateur BRUEL et KJAER, type 2218, muni d'un banc de filtres d'octave, lui-même relié à un enregistreur de niveau qui peut donc fournir la réponse globale de la salle ainsi que les réponses dans les 9 octaves réparties entre 63 et 16.000 Hz.

Pour chaque séquence relative à un couple point d'émission-point d'écoute, on ajuste le niveau de sortie du magnétophone, de sorte que l'indication de niveau fournie par le décibelmètre-intégrateur coïncide avec l'indication annoncée en salle pendant les 15 secondes de bruit rose : la chaîne d'analyse est ainsi étalonnée. On peut alors tracer sur une même feuille le diagramme de densité spectrale de la réponse de la salle aux 15 secondes de bruit rose, le diagramme correspondant relatif au bruit de fond de la salle et le diagramme relatif à la source de bruit relevé en chambre sourde : la comparaison des 9 diagrammes fournit une idée du confort d'écoute et de la coloration de la salle.

La réponse filtrée de la salle aux 2 secondes de bruit rose présente l'allure de la figure ci-dessous. On en déduit, pour chaque octave, l'inertie, le pouvoir séparateur et le temps de traînage de la salle.

On obtient ainsi, pour chaque couple point d'émission-point d'écoute, les 4 diagrammes de densité spectrale, d'inertie, de pouvoir séparateur et de traînage dans les 9 bandes d'octave. En regroupant tous les diagrammes relatifs à un même point d'émission, on visualise le comportement acoustique de la salle relatif à ce point d'émission.

Pour chaque salle testée, un architecte relève le plan et toutes les particularités volumétriques et surfaciques caractéristiques de la salle. Une étude corrélative, portant sur un grand nombre de salles connues, entre les paramètres objectifs mesurés et les caractéristiques architecturales devrait faire apparaître certaines règles permettant à l'avenir d'éviter de graves erreurs au niveau du projet architectural.



PROCEDES DE SIMULATION ACOUSTIQUE D'UNE SALLE

VIAN Jean-Paul

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
24 Rue Joseph Fourier
38400 SAINT MARTIN D'HERES
FRANCE

L'acoustique des salles n'est pas une science exacte et dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de prédire complètement les propriétés d'une salle de concert, d'un studio d'enregistrement ou d'une halle à vocation polyvalente, à partir de considérations théoriques. Ceci s'explique par deux raisons. La première est la complexité des phénomènes physiques sonores, intervenant dans un espace fermé, que les méthodes mathématiques actuellement disponibles ne permettent pas de résoudre. La seconde est relative à l'aspect subjectif de la perception auditive, qui rend parfois assez flou la détermination des exigences humaines en la matière.

L'impossibilité d'utiliser des méthodes de calcul exactes rend indispensable le recours à une modélisation, si on ne veut pas lors de l'étude d'une salle assumer les risques d'erreurs graves ou se contenter de reproduire indéfiniment des solutions types.

Un grand nombre de procédés de simulation a été utilisé pour faciliter l'étude acoustique d'une salle, que ce soient des procédés de simulation partielle permettant d'appréhender certains phénomènes seulement (cuves à rides et maquettes optiques à deux dimensions) ou des procédés de simulation plus globale, tels que les maquettes acoustiques tridimensionnelles ou les programmes informatiques.

1. LES MAQUETTES ACOUSTIQUES

Les rapports d'échelle utilisés pour la réalisation d'une maquette acoustique varient approximativement du dixième au centième, mais il est évident que le choix d'une échelle conditionne fortement la nature des mesures que l'on pourra y réaliser. Historiquement, ce sont les plus petits rapports qui ont d'abord été utilisés. Dans ces maquettes, il n'était guère envisageable de faire autre chose que l'étude des premières réflexions, à cause de la directionalité des transducteurs et de l'absorption par l'air. Pour élargir l'usage des maquettes, on a progressivement eu recours à des échelles de plus en plus grandes, jusqu'à utiliser des échelles de 1/20 à 1/8 pour pouvoir faire avec précision toutes les mesures que l'on peut faire dans une salle réelle, y compris des tests subjectifs en faisant passer des sons dans la maquette. Les professeurs SPANDOCK [1], JORDAN [2] et FASOLD [3] puis plus tard les laboratoires de la BBC [4] et



J.P. VIAN : SIMULATION D'UNE SALLE

de l'université de Cambridge (BARRON) [5] ont attaché leur nom à ces techniques d'évaluation subjective sur modèle réduit. Malgré le grand intérêt que présentent ces études sur maquette à grande échelle, un certain nombre de limites restreignent l'usage qui peut en être fait. Les dimensions de ces maquettes, leur coût, leur relatif manque de flexibilité, ainsi que l'importance des équipements et des tests qu'elles nécessitent, font qu'elles ne peuvent être utilisées que pour des projets de grande importance à un stade déjà avancé de la conception.

Par contre, l'utilisation de l'échelle 1/50, si elle n'offre pas les mêmes possibilités que l'échelle 1/10, offre un bon nombre d'avantages et a été l'objet ces dernières années d'un regain d'intérêt. BARRON semble avoir tiré le parti maximum de ces maquettes. On peut y mesurer les durées de réverbération jusqu'à l'octave 2 kHz, les réponses impulsionnelles, les rapports énergie initiale sur énergie tardive, la distribution spatiale de ces rapports et les durées de réverbération initiales jusqu'à 1 kHz. Le coût de ces maquettes au 1/50, leur encombrement réduit, et le fait qu'elles peuvent facilement constituer un outil de travail pour les architectes, les rendent plus largement utilisables que leurs semblables au 1/10. Leur utilisation reste cependant subordonnée à un environnement de laboratoire acoustique.

2. LES PROGRAMMES ORDINATEURS

Les limites d'emploi des maquettes acoustiques et les très grandes possibilités des ordinateurs ont conduit les acousticiens des salles à se tourner vers les programmes de calculs, comme moyen de simulation et d'aide à la conception.

Il est bien connu qu'il existe deux approches possibles pour modéliser sur ordinateur les phénomènes acoustiques dans une salle, la méthode des images acoustiques et la méthode des rayons. Ces deux méthodes reposent sur les hypothèses de l'acoustique géométrique. La méthode des images permet théoriquement une prévision du signal de pression acoustique dans la salle mais se heurte rapidement à la prolifération du nombre total de sources images qui varie approximativement en $(p/2)^m$, p étant le nombre de parois et m l'ordre maximal des sources images [6]. L'usage de cette méthode est en général restreint aux salles parallélépipédiques ou de formes simples.

La méthode des rayons sonores s'adapte facilement à toute sorte de géométrie, mais elle oublie l'aspect ondulatoire des phénomènes acoustiques. C'est-à-dire qu'elle permet, avec une certaine erreur estimable, de prévoir un échogramme, mais pas directement la pression acoustique. Compte tenu de la souplesse de cette méthode et des possibilités qu'elle offre de modéliser plus ou moins facilement les réflexions diffuses, la diffraction par des arêtes, l'absorption des parois en fonction de l'angle d'incidence et de la fréquence, cette méthode est plus largement utilisée.

3. EXEMPLE DE SIMULATION COMPLETE DE L'ACOUSTIQUE DE SALLES SUR ORDINATEUR

Dans le but de tester les possibilités des méthodes numériques de simulation de l'acoustique des salles, nous avons développé une application de



J.P. VIAN : SIMULATION D'UNE SALLE

la méthode des rayons sonores sur un miniordinateur.

Nous avons cherché à obtenir les échogrammes avec précision de manière à pouvoir déduire par le calcul les indices habituellement utilisés tels que E.D.T., clarté, intelligibilité ... et obtenir aussi par convolution une simulation des sons que l'on pourrait entendre dans la salle. A condition que cette simulation soit fidèle, elle présente un grand intérêt puisqu'elle permet directement l'évaluation subjective.

Ce travail repose sur une hypothèse que nous cherchons à vérifier, à savoir qu'il est possible d'obtenir par filtrage des échogrammes obtenus par le calcul dans les différentes bandes d'octaves, une réponse impulsionnelle large bande qui constituerait une approximation valide de la réponse impulsionnelle de la salle. Il n'est pas possible de justifier théoriquement un tel traitement, mais les premières expériences montrent que l'idée présente un certain intérêt. Les travaux en cours tendent à le vérifier et à déterminer le domaine de validité des prévisions que cette méthode permet de faire.

La communication de D. HEYMAN "Comparison between the room responses in real scale and those predicted by numerical model" décrit sommairement la manière dont sont effectués le calcul des échogrammes par la méthode des rayons, le filtrage numérique et la reconstitution de ces derniers, ainsi que le produit de convolution entre la réponse impulsionnelle ainsi obtenue et une séquence sonore quelconque, pour la synthèse de la réponse de la salle. Les premiers résultats obtenus sur quelques salles existantes montrent une bonne concordance avec les mesures en ce qui concerne les échogrammes et les durées de réverbération. La simulation sonore de ces salles dont quelques exemples sont présentés, offre, à défaut d'une parfaite similitude qui n'a pu encore être établie faute de temps, un caractère de vraisemblance tout à fait évident. La figure ci-après donne une illustration des fonctions réalisées par l'ensemble des programmes de calcul.

Pour améliorer les performances de ce système, la fonction stéréophonique est actuellement en cours d'introduction dans les programmes. Outre l'écoute stéréophonique, cette caractéristique permettra le calcul des paramètres relatifs à la corrélation spatiale et aux réflexions latérales.

4. CONCLUSION

Les nouveaux développements de la méthode des rayons sonores que nous venons d'évoquer, l'expérience des acousticiens utilisant déjà ces programmes de calcul, ainsi que les idées nouvelles de perfectionnement de ces méthodes, semblent désigner l'ordinateur comme l'outil d'aide à la conception acoustique des salles des années à venir. Il semble dès maintenant possible d'envisager le développement de programmes de C.A.O. acoustique, destinés au non-spécialistes, pour la résolution de tous les petits problèmes d'acoustique interne que peuvent rencontrer les concepteurs. Dans cette perspective, le recours aux maquettes acoustiques devrait être moins fréquent et limité soit à des travaux de recherche, soit aux très grands projets.



J.P. VIAN : SIMULATION D'UNE SALLE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. SPANDECK
"Die Veransbestimmung der Akustik eines Raumes mit Hilfe von Modellversuchen" 5^e ICA S 313
- [2] V.L. JORDAN
"Room acoustics and architectural acoustics development in recent years" Applied Acoustics (2) 1969, 69
- [3] W. FASOLD et H. WINKLER
"Raumakustik 107 111 Verlag für Bauwesen" BERLIN (1976)
- [4] H.D. HARWOOD, A.N. BURD
"Acoustic scaling of Studios and Concert Halls" Acustica vol. 28 (1973)
- [5] M. BARRON
1:50 Scale acoustic models for objective testing of auditoria
Applied Acoustics 361-375 (1979)
- [6] H. JURICIC, F. SANTON
Images et rayons sonores dans le calcul numérique des échogrammes
Acustica, vol. 28 (1973)

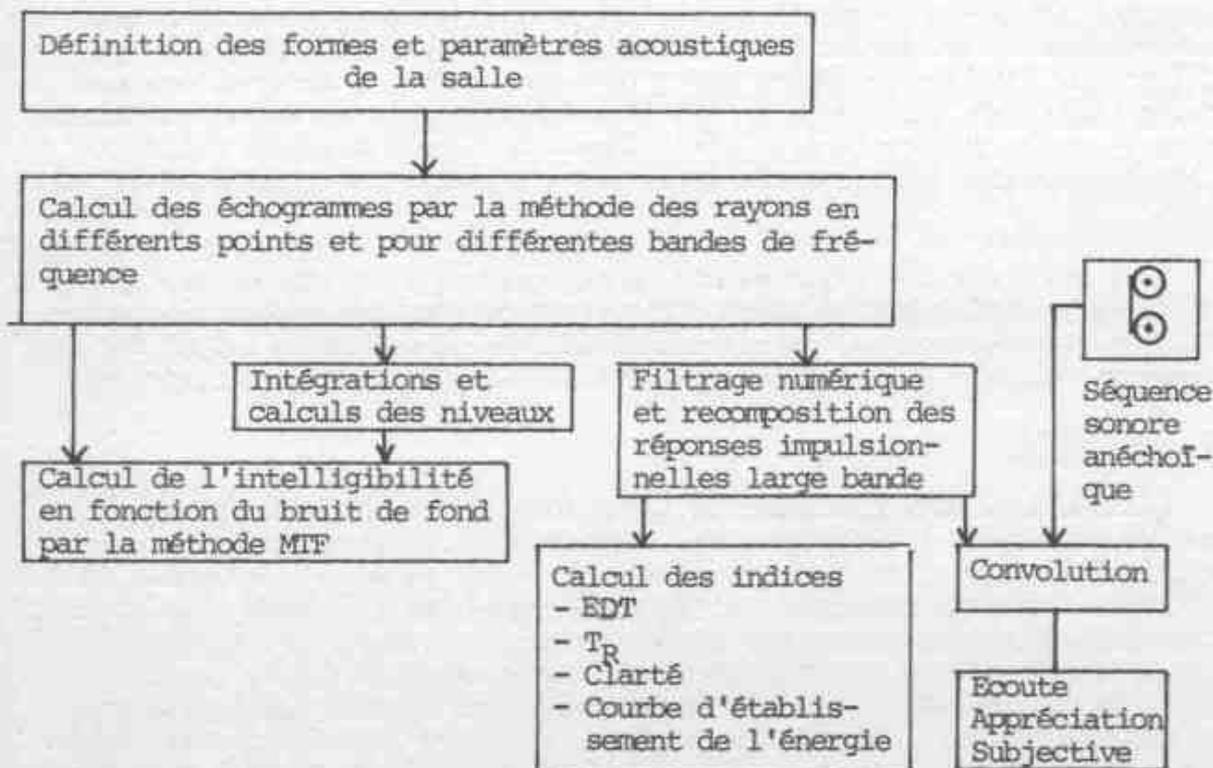


Schéma fonctionnel du simulateur acoustique des salles



CHARACTERISTIQUES D'UN LABORATOIRE POUR L'ENSEIGNEMENT DE L'ACOUSTIQUE DES BATIMENTS

RECUERO LOPEZ, Manuel - GIL GONZALEZ, Constantino

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación

Complejo Politécnico de Vallecas - Camino de la Arboleda, s/nº - MADRID-31 España.

On était dans le devoir d'améliorer l'enseignement théorique des cours sur "Dessin et conditionnement acoustique des salles" à l'École Universitaire d'Ingénierie Technique des Télécommunications, avec la mise en marche d'un laboratoire, pour ainsi enrichir la formation expérimentale des élèves.

On a cherché à suivre, au moment d'envisager la réalisation de cet laboratoire, les suivantes idées.

- 1º) Il y aura d'expériences principales lesquels ont le but de montrer - les idées basiques de l'acoustique des salles.
- 2º) Faire le dessin et construction des chambres "type" (chambre réverbérante, sourde, complément acoustique, etc.) auxquelles on puisse dérouler les certaines expériences.
- 3º) Avoir de la place suffisant pour mettre au point tous les expériences.
- 4º) Penser deux types différents d'expériences, les unes nous aideront à l'étude expérimentale d'un certain phénomène, et les autres nous permettront apprendre des nouvelles techniques de mesure d'accord avec les normes internationales.
- 5º) Avoir l'équipement basique de très bon qualité permettant la réalisation de plus grand nombre d'expériences.
- 6º) Grouper les élèves de façon à avoir groupes avec pas plus de deux élèves étant donnés les caractéristiques spéciales de ces expériences.

Pour arriver à comprendre les phénomènes qu'ont lieu à l'intérieur d'une chambre, du point de vue acoustique, on a besoin de connaître les théories statistique géométrique et ondulatoire.

Avant le début de l'exposé des expériences sur les phénomènes acoustiques qu'on verra plus tard, il est très intéressant que l'élève fasse la connaissance de l'appareillage du laboratoire.

Nous avons conclu que pour mieux expliquer les théories basiques, les expériences complémentaires devront être les suivantes:

- Mesure du temps de réverbération d'une chambre par la méthode du bruit



coupé.

On essaye que l'élève mesure, d'accord avec la normative international, une des parametres plus importants pour la connaissance du champ sonore d'une chambre.

- Couplement=acoustique=entre=deux=salles.

Cet experience fait l'étude du couplement acoustique entre deux salles suivant les dimensions de la fenetre qu'onvre l'una sur l'autre. On mesure la variation des caracteristiques acoustiques des salles avec les dimensions de l'ouverture.

- Couplement electro-acoustique des salles.

On fait le couplement electroacoustique entre deux sales et on voit comment la qualité du son qu'on reçoit au chambre secondaire depend des caracteristiques acoustiques de la chambre principal.

- Mesure du champ sonore dans une salle.

On mesure les niveaux de presion sonore sur un certain nombre de points de la salle, pour deduire s'il s'agit de champ diffus.

- Etude geometrique d'une salle.

Dans une des salles du laboratoire et avec la technique des impulsions, on fait l'étude acoustique de la salle suivant la théorie geometrique.

- Calcule des surfaces pour differents ordres de reflexión.

Il s'agit de prouver l'effect produit sur le niveau sonore qu'on a au sol d'une salle, lorsqu'on change les qualités acoustiques des materiaux aux autres surfaces de la salle.

- Calcule des modes propres d'une salle.

Notre interêt à cet experience c'est de mettre en evidence l'existence de modes propres, et la dependance qu'il y a entre ceux-ci et la geometrie de la salle.

- Etude des ondes axiaux, tangeciaux et obliques.

On fait la mesure du temps de reverberation pour les differents types d'ondes qui tient origine a la salle.

La sourceacoustique fait sa radiation pour de frequences qui correspondent à certaines modes propres, ainsi qu'ailleurs.

Etant donné que les materiaux des surfaces d'une salle ont une grand influence dans le champ acoustique, il est necesaire connaitre les magnitudes acoustiques de ces materiaux, tels que le coefficient d'absortion et l'impedance acoustique. C'est pour sa que nous trouvons necesaire les suivants experiences.

- Mesure du coefficiente d'absortion sonore des materiaux on chambre reverberante.

La mesure du coefficiente d'absortion est fait avec le but de connaitre la perte d'energie par absortion dans une salle reverberante, d'accord avec la normative international.



-
- Mesure du coefficiente d'absortion et de l'impédance acoustique des materiaux dans un tube d'onde stationnaires.

On donne les caracteristiques d'un material por la valeur de s'impédance acoustique et de son coefficient d'absortion pour incidence normal des ondes sonores.

Une fois qu'on a fini la connaissance des techniques de mesure et des phénomènes acoustiques qu'ont son origine dans les salles, on suive avec l'étude experimental des caracteristiques acoustiques des salles particuliers, pour exemple: classes, studios de radio, T.V., théâtres, salles de concert, etc.

- Etude acoustique d'une classe.

Dans une classe du Domaine Universitaire on fait la mesure du temps de reverberation et de l'index de prononciation. Avec ces valenrs les élèves tireront des conclusions en donnant des solutions pour améliorer l'acoustique de la classe.

- Etude acoustique d'un studio de radio.

Avec cet experience on veut que l'élève fasse les mesures et soit capable de tirer des conclusions sur des salles speciaux en d'hors du laboratoire.

- Mesure des caracteristiques acoustiques d'un studio T.V.

On tache d'étudier le comportement acoustique d'un studio T.V. en faissant tous les mesures qu'ont aura besoin et qui donnent l'informa-tion cherché.

- Etude acoustique d'une salle pour concerts.

Nous croyons que tous les experiences qu'on vient de montrer, seront suffisant pour faire les mesures des parametres caracteristiques de ces salles compte tenu des exigences acoustiques dans le sens d'aboutir a une bonne ambiance pour icuer la musique.

Pour finir on peut pas oublier l'influence du bruit sur l'acoustique des salles. Nous avons l'importance cu'il a au moment de faire le dessin du laboratoire en mettant des experiences qui montrent les techniques de mesure et control du bruit et vibrations.

GRANDES SALLES POLYVALENTES
LARGE MULTIPURPOSE HALLS

ROGER LAMORAL

ROGER LAMORAL Conseil

AV. JEAN CRESP "COPACABANA"
06400 CANNES (FRANCE)

Dans le monde actuel rares sont les grandes salles ne servant qu'à un seul usage, essentiellement pour de simples raisons de rentabilité. On conçoit ainsi des volumes polyvalents, sachant pertinemment que ce qui est baptisé théâtre à la conception servira vraisemblablement un jour de salles de variétés, ou de salle de concert, "occasionnellement" bien sûr ...

C'est pourquoi je donnerai ici les caractéristiques de six grands volumes existants et d'un autre en cours de réalisation lors de la rédaction de ce texte mais terminé lors du 11^e ICA.

I - GRAND AUDITORIUM 104 Maison de Radio France - Paris

- volume total : 12,000 m³
- 1000 spectateurs
- sièges absorbants avec dossier face arrière réfléchissante
- grande scène bois permettant 150 musiciens et 200 choristes
- grandes orgues de 102 jeux
- murs latéraux : diffusants dans la zone de la scène
légèrement diffusants dans la zone des spectateurs
par bas relief sculpté de Leygue
- plafond - staff diffusant par vagues curvilignes au-dessus de l'orchestre
- staff plat au-dessus des spectateurs
Le staff est renforcé afin d'éviter une absorption importante aux fréquences basses.
- murs de fond de salle (parterre et balcon) : absorbants
- temps de réverbération :
 - 2,2 secondes à 125 Hz
 - 1,7 secondes à 1000 Hz
 - 1,5 secondes à 4000 Hz - il est fixe -



ROGER LAMORAL

- Cette salle prévue pour la musique symphonique a eu des utilisations diverses par la suite. Elle a été inaugurée en 1963 en même temps que l'ensemble de la Maison de la Radio de Paris.

2 - GRAND AUDITORIUM ERASME - PALAIS DE LA MUSIQUE ET DES CONGRES DE STRASBOURG

- volume total : 22,000m³
- 2000 spectateurs
- sièges absorbants avec face arrière réfléchissante
- sol réfléchissant
- scène bois
- mur arrière absorbant
- murs latéraux en staff raidi et renforcé
 - partie avant avec grands éléments diffusants dirigés vers les spectateurs pour la moitié inférieure et vers le plafond pour la moitié supérieure
 - partie arrière en larges dents de scie
- plafond diffusant en staff renforcé et raidi
- temps de réverbération salle occupée :

fréquence	40	100	150	200	500	1000	2000	4000	5000
T. R.	3	3	2,6	2	2	2	2	1,8	1,6

- cette salle à absorption fixe a été prévue polyvalente par simple utilisation d'une sonorisation discrète pour la parole. Elle est cependant à la base une salle de concert symphonique utilisée comme telle par l'orchestre philharmonique de Strasbourg depuis 1975.

Les gradins décalés servent à augmenter les premières réflexions à proximité des spectateurs et à diminuer l'absorption rasante de l'onde directe.

3 - AUDITORIUM DU PALAIS DES FLEURS D'AIX LES BAINS

- volume total de 18,000 m³
- 1400 sièges en dur
- sol réfléchissant
- mur du fond absorbant
- murs latéraux diffusants en béton brut
- scène avec éléments diffusants murs et plafond
- plafond en staff renforcé suspendu légèrement diffusant
- temps de réverbération salle occupée :

fréquence	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
T. R.	2,7	2,6	2,4	1,9	1,8	1,75	1,4		



ROGER LAMORAL

- cette salle était conçue au départ comme polyvalente mais avec une utilisation privilégiée pour le concert symphonique. Il était prévu des rideaux absorbants amovibles sur les deux faces latérales afin de permettre l'utilisation pour la parole. Ces rideaux n'ont pas été posés lors de l'inauguration en 1978 d'où de grandes qualités en symphonique mais un temps de réverbération trop élevé pour la parole.

4 - GRAND AUDITORIUM DU CENTRE INTERNATIONAL DE PARIS 74

- volume total 53,000m³ (1,855,000 cuft)
- largeur au mur de fond de salle : 80 m
- largeur à l'ouverture de scène : 48m
- 3700 sièges absorbants très larges avec face arrière réfléchissante
- sol réfléchissant
- plafond staff renforcé 7 cms diffusants afin de créer des réflexions obliques latérales par le plafond, les murs étant trop éloignés
- murs latéraux diffusants en staff gainé de bois (sculptures d'Hajdu)
- scène diffusante avec scénographie complète
- temps de réverbération (vide ou occupée) :

f	50	100	125	250	500	1000	2000	4000
TR	3,4	3,16	2,8	2,17	2,08	2,08	1,93	1,64

- salle polyvalente conçue comme telle mais dont la scène est trop grande et surtout trop large pour le symphonique. Il n'y a pas d'absorption variable mais une sonorisation élaborée dirigée vers les spectateurs et non vers les parois afin d'éviter de faire sentir la réverbération assez élevée de la salle convenant au symphonique.

5 - PATINOIRE SALLE POLYVALENTE MERIADECK A BORDEAUX . 82

- volume total 70,000m³
- 5500 sièges possibles, non absorbants
- la forme comprend de grands décrochements favorisant la diffusion aux fréquences basses.
- parois généralement absorbantes, comme une grande partie d'un plafond très élevé (près de 40m au centre)
- temps de réverbération salle vide :

f	125	250	500	1000	2000	4000
TR	2,86	2,75	2,96	3,03	2,86	2,46

- temps de réverbération à 1000 Hz

vide : 3,03 avec 3000 personnes : 2,03 avec 6000 : 1,67

Cette patinoire est également une salle polyvalente mais pas une salle de concert (trop grande). On étudie cependant une possibilité d'utilisation dans ce sens par l'orchestre philharmonique de Bordeaux.

ROGER LAMORAL

6/ Hémicycle du Palais de l'EUROPE A STRASBOURG

D'un volume de 10000m³ et pouvant contenir 500 personnes cette salle ne sert qu'à la parole en principe bien que l'on y ait joué de la musique. Elle n'est donc pas véritablement polyvalente. On pourrait cependant l'utiliser ainsi sauf pour du symphonique (trop sourde car le TR est de 1,15 secondes à 1000 Hz.)

Très luxueusement décorée avec une charpente apparente en bois elle a une forme concave sur un plan circulaire théoriquement peu favorable mais qui n'est pas gênante grâce aux éléments diffusants et absorbants répartis.

Elle date de 1976

7/ GRAND AUDITORIUM DU NOUVEAU SIECLE A LILLE

- volume : 20000m³
- 2000 places sièges absorbants - sol réfléchissant - conque d'orchestre amovible
- utilisation : symphonique - variétés - parole -
- absorption variable et TR variable par ouvertures sur un plenum
- gradins décalés comme à Strasbourg mais en plus accentué.

Cette salle doit être inaugurée au printemps 1983 et sera utilisée en principe par l'Orchestre Philharmonique de Lille



CONTRIBUTION DE LA BASE DE DONNEES C.A.BAT. A L'ETUDE
DE L'ISOLEMENT ACOUSTIQUE ENTRE LOGEMENTS.

Jean BERTRAND

Jean GORSE

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
Avenue de l'Amiral Chauvin - 49130 LES PONTS DE CE - France

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58 Boulevard Lefebvre - 75732 PARIS Cedex 15 - France

1. INTRODUCTION

Au stade du projet, le concepteur souhaite disposer d'outils simples de calcul prévisionnel pour déterminer la valeur de l'isolement acoustique des logements aux bruits aériens.

Sachant que de nombreuses causes de variation de cet isolement peuvent être identifiées, il est intéressant de les analyser et de les quantifier pour les introduire dans les modèles de calcul.

Hormis les causes de variations liées aux fuites acoustiques, il est bien connu que la valeur de l'isolement mesurée entre deux cellules dépend, non seulement de l'indice d'affaiblissement de la paroi qui les sépare, mais aussi d'un paramètre empirique caractérisant les transmissions secondaires.

A partir de la base de données des Contrôles en Acoustique du Batiment - C.A.BAT [1], on a, par une analyse statistique appropriée, étudié la contribution des parois rayonnantes dans la perte d'isolement aux bruits aériens entre deux locaux superposés séparés par une dalle pleine.

2. DEFINITION DE L'ETUDE

2.1. Choix du paramètre étudié

On constate généralement des écarts entre les isolements normalisés mesurés in situ et ceux calculés à partir de la relation empirique classique :

$$(1) D_n = R - a + b$$

dans laquelle :

- . R est l'indice d'affaiblissement de la paroi séparatrice, exprimé en dB(A) pour un bruit rose à l'émission ;
- . b est un terme correctif dépendant du volume V du local de réception, de la surface S de la paroi séparatrice et de



durée de réverbération T : $b = 10 \log (0,16 V/ST)$;

. a est un terme correctif lié aux transmissions indirectes.

On propose donc d'étudier le domaine de variation de a calculé à l'aide de la relation :

$$(2) \tilde{a} = R + b - \tilde{D}_n$$

dans laquelle :

. \tilde{D}_n est l'isolement normalisé mesuré ;

. R et b sont déterminés à partir des données relevées in situ.

L'écart \tilde{a} est le paramètre étudié, considéré comme une variable aléatoire, retenu pour expliquer ce qui est dû aux transmissions indirectes dans la valeur de \tilde{D}_n en correspondance avec la nature des parois latérales du local de réception.

Une approche de ce problème est proposée dans [3], la règle est la suivante :

<< L'importance de la chute de l'isolement dépend de la surface de parois de maçonnerie "légère" liées à la paroi de séparation entre les locaux. Dans le cas où cette dernière est "lourde", la valeur en dB(A) de la diminution d'isolement est estimée par une règle empirique simple qui consiste à compter le nombre de cloisons "légères" liées à la paroi de séparation et à multiplier ce nombre par 1 ou 1,5 db(A) ... >>

Autrement dit, il s'agit de vérifier cette règle empirique qui fixe la valeur de a dans la relation (1).

2.2. Choix des méthodes d'analyse statistique

L'énoncé de cette règle d'usage conduit à choisir deux méthodes d'analyse statistique complémentaires pour étudier le champ de variation de \tilde{a} (2) :

- Un modèle d'analyse de la variance pour tester l'influence de la variable qualitative "nombre de parois 'légères' " P telle que $p_i \in \{0,1,2,3,4\}$ sur les valeurs prises par \tilde{a} ;
- Un modèle de régression linéaire pour montrer l'existence d'une dépendance fonctionnelle entre les variables quantitatives \tilde{a} et P_r (surface de parois "légères").

De là, nous en déduisons des estimations de la valeur correctrice a .

3. RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE

L'hypothèse essentielle faite dans cette étude est le critère de classification des parois verticales des locaux. On a préféré un classement en deux catégories "rayonnantes" ou non "rayonnantes" de ces parois, plutôt que celle énoncée dans la règle [3], dans le but de maximaliser l'écart de puissance acoustique rayonnée par transmission indirecte.



Compte tenu, d'une part, de cette règle de classement des parois verticales étendue aux façades, et, d'autre part, de filtres sélectifs portant sur les autres dispositions constructives, on construit un échantillon homogène de 220 résultats d'isollements prélevés dans une population de 3000 essais aux bruits aériens verticaux mesurés in situ.

3.1. Influence sur la valeur de l'isollement mesuré des transmissions indirectes caractérisées par le nombre de parois latérales "non rayonnantes" du local de réception liées à la paroi séparatrice.

Il s'agit de montrer, en utilisant le modèle d'analyse de la variance, si les variations de \tilde{a} sont dues à des fluctuations aléatoires ou bien à des écarts systématiques.

nombre de parois "non rayonnantes" du local de réception P_i	valeurs a , intervalles de confiance D_i en dB(A) au risque α de 5%
a) 0	$7,8 \pm 1,68$
1	$8,1 \pm 0,97$
2	$6,0 \pm 0,52$
3	$6,0 \pm 0,57$
4	$5,4 \pm 0,80$
b) 0 - 1	$8 \pm 0,80$
2 - 3	$6,0 \pm 0,40$
4	$5,4 \pm 0,80$

Tout calcul fait, on montre que :

- Le nombre de parois "non rayonnantes" p_i introduit des écarts systématiques au risque statistique α de 5% sur les valeurs de a , ce qui confirme la règle d'usage ;

et, on en déduit, pour le même risque α , les intervalles de variations D_i de a , centrés sur leur valeur moyenne \tilde{a}_i , liés à ce nombre p_i de parois, voir tableau (a,b) ci-contre.

3.2. Prise en compte de la longueur de parois "rayonnantes" l_r ou "non rayonnantes" l_{nr}

pour l'estimation de la valeur corrective a .

On propose, à partir de la classification des parois verticales, d'étudier l'existence d'une liaison stochastique entre les valeurs de \tilde{a} et les longueurs relatives l_r/L ou l_{nr}/L , L étant le périmètre du local. Cette dernière hypothèse se justifie, compte tenu que les cellules sont de hauteur quasi constante et qu'enfin la loi de masse n'est pas le seul paramètre explicatif dans la perte d'isollement. Ainsi, on montre qu'au risque statistique α de 1% il existe pour chacun des couples de variables $(a, l_r/L)$ une liaison stochastique, d'où les régressions linéaires suivantes :

$$(3) a_r = - 0,339 P_r + 7,63, P_r = 10|\log(l_r/L)|;$$

$$(4) a_{nr} = 0,424 P_{nr} + 5,18, P_{nr} = 10|\log(l_{nr}/L)|;$$

avec respectivement 210 et 180 degrés de liberté.



4.3. Quelques valeurs remarquables

La comparaison des résultats donne pour les deux méthodes :

a) Valeurs à l'origine : on constate que a_{nr} (100 %) = 5,18 (4) ce qui confirme \tilde{a}_4 et correspond à la valeur empirique, $a=5$ donnée dans [3]. Par contre, a_r (100%) = 7,63 (3) cohérente avec \tilde{a}_0 est faible comparée à la valeur empirique $a = 10$.

b) Valeurs centrales : on constate pour 50 % de parois l_r ou l_{nr} une bonne concordance entre les trois valeurs :

$$a_r (50\%) = 6,61 \simeq a_{nr} (50\%) = 6,46 \simeq \tilde{a}_2 = 6,19$$

c) Accroissement de la perte d'isolement : avec la relation (4) on constate que cet accroissement Δa_{nr} est de l'ordre de 1,27 par doublement du pourcentage de parois non rayonnantes.

CONCLUSION

Cette étude sur les transmission indirectes par les parois latérales a permis de confirmer la règle d'usage, en plus de fournir une formule simple de calcul du terme correctif a à prendre dans le calcul de D_n .

Ces premiers résultats, complémentaires de ceux fournis en laboratoire ou par les modèles théoriques [2] montrent, que la base de données C.A. BAT permet d'apporter des éléments de réponses statistiques lorsque de multiples paramètres interviennent simultanément dans la valeur de la mesure in situ de l'isolement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le fichier en acoustique du bâtiment C.A.BAT
J. GORSE - J. BERTRAND - Avril 1979 - Document L.C.P.C.
- [2] Transmission du bruit par les structures
JF MATHIEU - Cahier du C.S.T.B. 1605 livraison 204
Novembre 1979.
- [3] L'isolation acoustique et le gros oeuvre.
Guide pratique - R. BARBARA, J. CLAUNOV, M. MEISSER
F.N.B. - Union Nationale de la Maçonnerie SEDIMA. Mai 1977.



DISPERSION DES MESURES D'ISOLEMENT ACOUSTIQUE

LEGROS Claude - GUILHOT Jean-Pierre - FLENNER Jean-Pierre

Université Paul Sabatier

L.A.M.I.

38 rue des 36 ponts, 31062 TOULOUSE Cédex FRANCE

La détermination de l'isolement acoustique d'une paroi entre deux locaux nécessite la mesure des niveaux sonores dans les deux pièces, et la mesure de la durée de réverbération dans la pièce de réception.

Cette étude propose l'évaluation de la dispersion des mesures d'isolement acoustique de paroi, prenant en compte la dispersion de la mesure du niveau stationnaire et celle de la durée de réverbération, utilisant une source aléatoire stationnaire interrompue.

Dispersion de la mesure du niveau stationnaire dans une pièce

L'étude a été faite pour les fréquences supérieures et inférieures à la fréquence de Schroeder $f_s = 1000 \sqrt{V/V_0}$ V, volume de la pièce. Les variances spatiale et d'ensemble ont été calculées et vérifiées par l'expérience.

- Au dessus de la fréquence de Schroeder, les théories statistiques (1), (2) ont permis d'obtenir les résultats suivants :

. variance spatiale réduite : $\sigma^2 = [1 + 0,145 B T_0]^{-1}$ où B est la bande passante du bruit excitateur ;

. variance d'ensemble réduite : $\sigma^2 = 1/Bk$ où k est la constante de temps de la détection.

Dans ces expressions σ^2 représente la variance réduite de la pression quadratique moyenne.

- Au dessous de la fréquence de Schroeder, les hypothèses de champ diffus ne sont plus vérifiées eu égard au faible nombre de modes excités.

La théorie modale doit alors être appliquée, en exprimant la pression acoustique au point M à l'aide des fonctions de Green (3), (4).

La variance spatiale s'écrit $\sigma^2 = 4,75/N$ tandis que la variance d'ensemble est $\sigma^2 = 0,825T/Nk$ où N représente le nombre de modes propres compris dans la bande passante du filtre d'analyse.

Dispersion de la mesure de la durée de réverbération

Les études récentes de DAVY et al (4), au dessus de la fréquence de Schroeder, ont permis, sous certaines hypothèses de calculer :

. la variance spatiale de la durée de réverbération $\sigma^2 = (0,55)^2 / B T_0$



et la variance d'ensemble de la durée de réverbération $\sigma^2 = (0,71)^2 / BT_i$.

La durée de réverbération est supposée obtenue par la méthode des moindres carrés, à l'aide d'un signal aléatoire interrompu à $t=0$ (5).

VERIFICATION EXPERIMENTALE

Une vérification expérimentale des théories ci-dessus a été développée à l'aide d'un appareillage spécifique comprenant une batterie de filtres d'octave, suivis de détecteurs quadratiques à sortie logarithmique de 60 dB de dynamique. Un convertisseur analogique numérique délivre le niveau de pression acoustique à un ordinateur, lequel est, d'autre part, chargé de la gestion du dispositif de mesure.

16 positions du microphone et 16 positions de la source ont été utilisées. Les résultats sont représentés sur les figures 1 à 4 et sont en bon accord avec la théorie (5), (6).

Dispersion de la mesure d'isolement acoustique

L'isolement acoustique d'une paroi entre deux locaux est donné par la relation

$$D_i = L_{1i} - L_{2i} + 10 \log(T_i/0,5) \quad \text{où}$$

L_{1i} et L_{2i} sont les niveaux sonores à l'émission et à la réception dans la bande de fréquence de rang i et T_i la durée de réverbération correspondante.

On démontre que si les fluctuations sont faibles :

$$\text{Var } D_i = (4,34)^2 (2N_{T_i}^2 + N_{T_i}^2)$$

si les variances réduites des pressions quadratiques moyennes sont supposées identiques à l'émission et à la réception.

On peut alors estimer la variance du niveau sonore normalisé reçu, pondéré A (80 dB par bande d'octave à l'émission) :

$$\text{Var } L_A = \left(\frac{4,34}{\sum_i A_i I_i} \right)^2 \sum_i A_i^2 I_i^2 (2N_{T_i}^2 + N_{T_i}^2)$$

Estimation de l'erreur commise dans la mesure d'un isolement acoustique

Les relations ci-dessus permettent une telle estimation. A titre d'exemple, prenons une paroi ayant un isolement acoustique variant de 6 dB par octave, suivant la loi de masse. La valeur calculée de l'écart-type du niveau normalisé reçu L_A s'écrit :

$\text{Var } L_A = 0,85 \text{ dB}$ avec une contribution prépondérante des fréquences basses.

Les limites de confiance à 95 % du niveau normalisé reçu seront donc données à $\pm 2 \text{Var } L_A$ soit $\pm 1,7 \text{ dB}$.

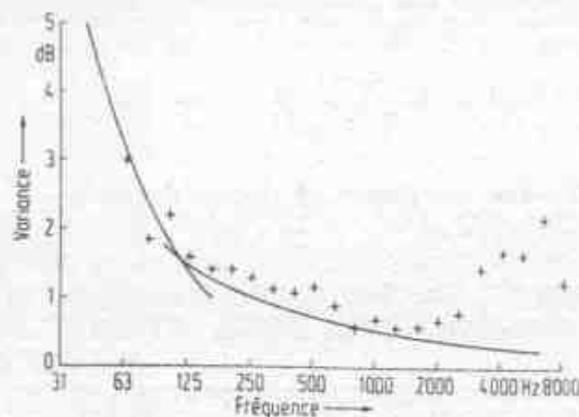


Fig. 1. Variance spatiale en fonction de la fréquence.

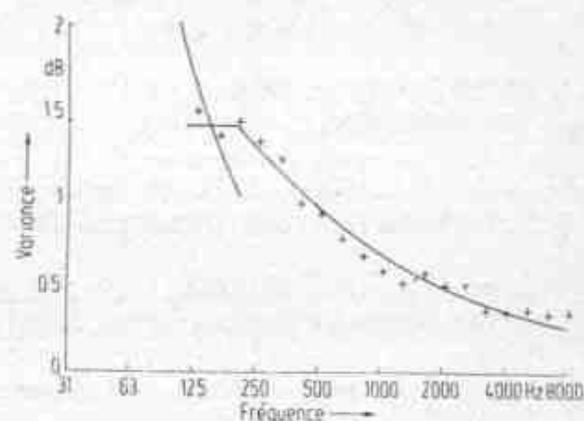


Fig. 2. Variance d'ensemble en fonction de la fréquence

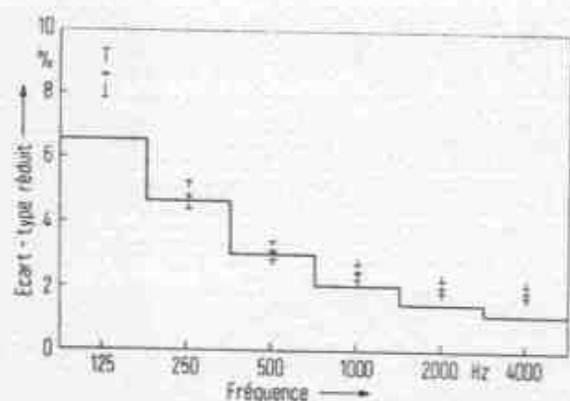


Fig. 3. Fluctuation spatiale du temps de réverbération obtenu par la méthode des moindres carrés. On a comparé les résultats expérimentaux et leurs limites de confiance à 0,05 aux valeurs théoriques.

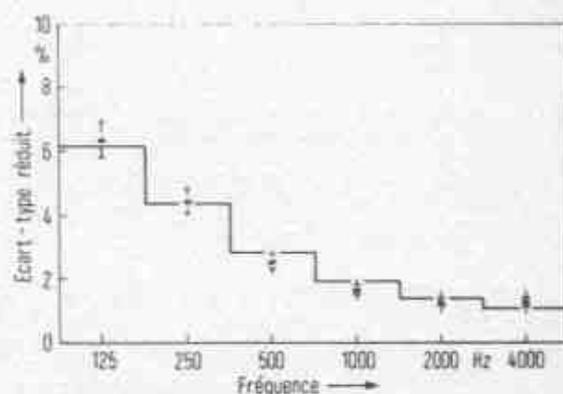


Fig. 4. Fluctuation temporelle du temps de réverbération obtenu par la méthode des moindres carrés. On a comparé les résultats expérimentaux et leurs limites de confiance à 0,05 aux valeurs théoriques.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Schroeder, M.R., Effect of frequency and space averaging on the transmission responses of multimode media. *J. Acoust. Soc. Amer.* 46 (1963), 277.
- (2) Andres, H.G., Über ein Gesetz der räumlichen Zufallsschwankung von Rauschpegeln in Räumen und seine Anwendung auf Schalleistungsmessungen. *Acustica* 16 (1965), 279.
- (3) Morse, P.M. et Ingard, K.V., *Theoretical acoustics*. Mc. Graw Hill, New York 1968.
- (4) Davy, J.L. Dunn, I.P. et Dubout, P., The variance of decay rates in reverberation room. *Acustica* 43 (1979), 12.
- (5) Flenner, J.P., Guilhot, J.P., Legros, C., Dispersion des mesures de la durée de réverbération d'un local. *Acustica* 50 n°3 (1982) 201-208.
- (6) Guilhot, J.P., Legros, C. et Flenner, J.P., Dispersion spatiale et temporelle des niveaux sonores dans un local réverbérant. *Acustica* 48 (1981), 232.



MODELISATION DE L'ISOLEMENT NORMALISE A PARTIR DES MESURES "IN SITU"

AZAIS Claude, GUILHOT Jean-Pierre

Laboratoire d'Acoustique de Métrologie et d'Instrumentation - Université Paul Sabatier, 38, Rue des 36 Ponts - 31077 TOULOUSE CEDEX

La prévision de l'isolement acoustique obtenu par une paroi insérée dans une structure se heurte à un certain nombre de difficultés dont les importances relatives sont difficiles à évaluer. Parmi les plus importantes on peut citer :

- l'influence des dispersions dues à la mise en oeuvre ;
- l'influence de l'ensemble de la structure sur les hypothèses de base, pour l'élaboration des relations théoriques.

I - ESTIMATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE ET DES DISPERSIONS DE LA MISE EN OEUVRE DES MATERIAUX.

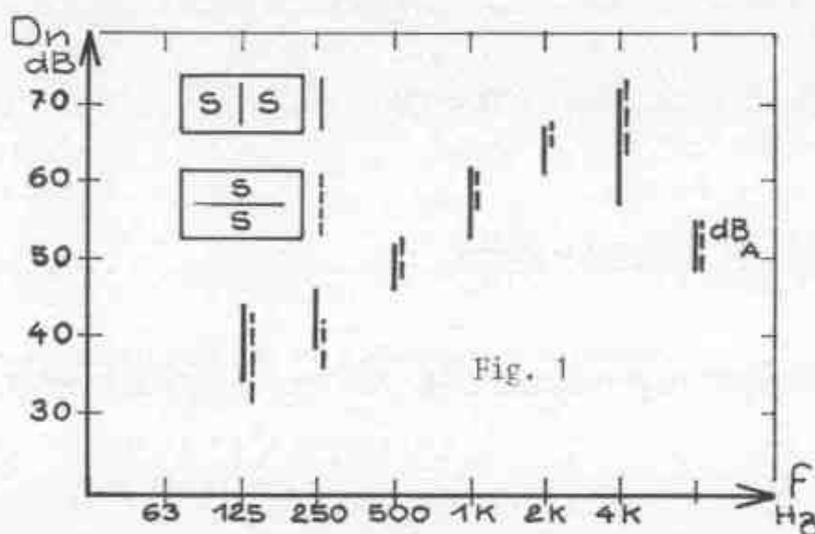
L'expérience a porté sur un ensemble de 10 couples de logements identiques, ces logements sont groupés en petits immeubles R + 2 dont on a utilisé, soit des pièces juxtaposées, soit les pièces superposées pour étudier l'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impacts. Parmi les pièces potentiellement utilisables, nous avons choisi celles de géométrie les plus régulières et dont les surfaces de couplage étaient sans ambiguïtés.

Les mesures systématiques effectuées sur les couples de logement, portaient sur l'isolement brut par bande de fréquence, ainsi que celle de la durée de réverbération du local de réception. L'ensemble des 10 résultats obtenus ne permet pas de faire ressortir une vérité statistique, cependant, certaines limites d'incertitude peuvent être décelées. Sur la fig. nous avons porté à titre d'exemple, les résultats obtenus pour les séparatifs verticaux et horizontaux d'un même local (séjour) pris sur les dix cellules en essai.

L'examen de l'ensemble des résultats montre que les incertitudes constituent un phénomène aléatoire. Nous avons pu mettre en évidence que l'intervalle d'incertitude dû de manière indissociable aux différences de mise en oeuvre des matériaux associées aux erreurs métrologiques, s'élève à environ 5 dB. Une hypothèse simplificative nous conduit à admettre que l'erreur est centrée et égale à $\pm 2,5$ dB.



C AZAIS Modélisation de l'isolement à partir des mesures "in situ"



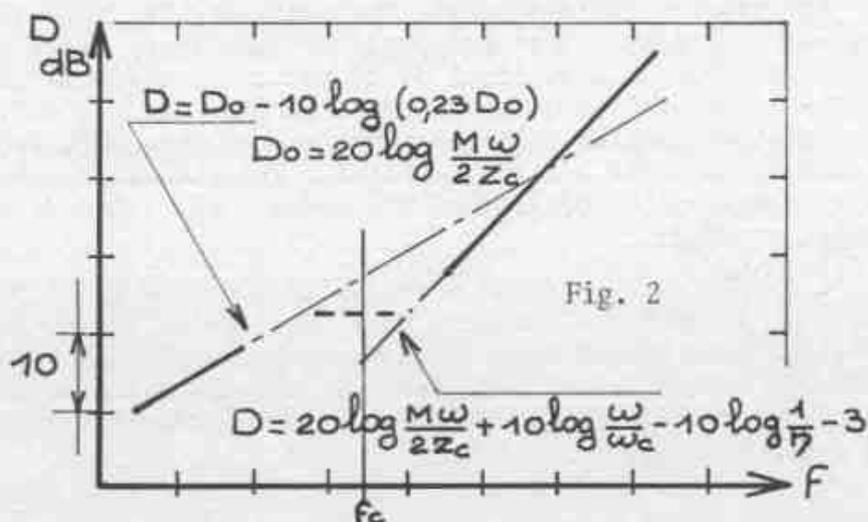
Modélisation de l'isolement "in situ"

L'étude mathématique des propriétés isolantes des parois a fait l'objet de nombreux travaux conduisant à une formulation de plus en plus complexe au fur et à mesure que les hypothèses de calcul se rapprochent de la situation réelle.

L'étude empirique que nous avons effectuée dans la première partie du travail, a fourni un nombre important de résultats, il était tentant de rechercher quelle était l'expression mathématique existante la mieux adaptée à représenter la situation rencontrée.

La morphologie des courbes d'isolement observées nous a fait rejeter à priori des courbes à variation monotone, ce sont donc des relations plus complexes tirées des travaux de Watters Beranek que nous avons utilisées

La fig. 2, montre la formulation mathématique de ces relations, formulation qui évolue selon le domaine de fréquence considéré. On notera que la partie centrale (plateau de Watters) a une ordonnée mal définie, de plus, les paramètres η facteur de perte, F_c fréquence critique ne sont fournis par la littérature qu'au niveau des ordres de grandeurs.



Préliminaire à la confrontation théorie-expérience

Les expressions mathématiques rencontrées permettent de calculer la valeur de l'isolement brut, alors que nos résultats de mesure nous fournissent l'isolement normalisé. Il fallait donc, avant confrontation passer de façon théorique de l'isolement brut à l'isolement normalisé. Ceci entraîne l'introduction d'un terme tenant compte de la profondeur du local de réception :

$$D_n = D + 10 \log (0,3 V/S)$$

V/S = d profondeur du local pour des pièces contiguës ayant une paroi commune de surface égale (pas de décrochement).

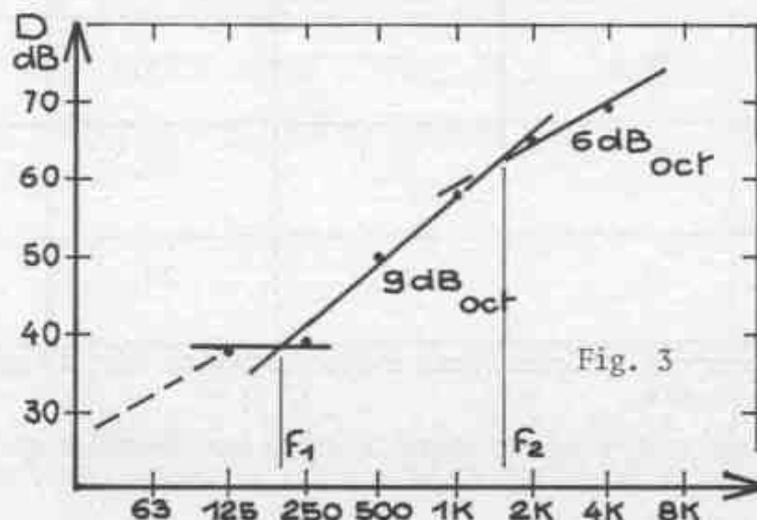
Un autre terme de correction utilisé de façon classique est la prise en compte du nombre de parois légères, s'appuyant sur la paroi principale et créant une perte d'isolement.

Dans notre méthode de prévision nous avons pris en compte - à partir de résultats bibliographiques simplifiés - l'influence des parois légères en supposant la concordance suivante :

- 1 cloison perte de 1 dB vis-à-vis de l'isolement brut,
- 2 cloisons perte de 2 dB vis-à-vis de l'isolement brut
- 3 cloisons perte de 3 dB vis-à-vis de l'isolement brut.

D'autre part, nous avons admis que l'énergie rayonnée par une cloison légère était émise à une fréquence voisine de sa fréquence critique ; ceci nous a conduit à ne prendre en compte la perte d'isolement que pour des fréquences supérieures à la fréquence critique de la paroi principale.

La relation théorique initiale modifiée des derniers termes correctifs a été comparée aux résultats expérimentaux. S'il a été constaté une bonne concordance aux fréquences basses, il n'en était pas de même aux fréquences élevées. Nous avons donc proposé une nouvelle loi comme indiquée sur la figure 3.





C AZAIS Modélisation de l'isolement à partir des mesures "in situ"

Résultats de la modélisation

L'ajustement numérique des résultats expérimentaux aux différents segments de l'expérience proposée, nous permet de tirer les paramètres caractéristiques des parois "in situ". Ainsi, pour notre exemple, nous déterminons les valeurs suivantes :

Paramètres	Paroi	
	Verticale	Horizontale
Hauteur du plateau de Watters	40	42
$F_c \times \text{épaisseur} \quad Q.F_c$	2000	2000
Facteur de perte γ	0.02	0.04

La connaissance de la loi d'isolement proposée, associée aux paramètres (γ , F_c , épaisseur : e , nombre de cloisons légères) caractéristiques de la paroi, permet de prévoir sur plan l'isolement probable. Nous avons expérimenté le modèle sur une construction dont les plans étaient voisins et les matériaux de construction identiques. Les résultats obtenus sont les suivants :

dB_4 Configuration	Valeur minimum de L_{AA}^*	Valeur maximum de L_{AA}	Valeur calculée	Dispersion moyenne (rappel)
ch_3/ch_2	34,5	38	37	$\pm 2,5$
ch_1/ch_1	32	36,6	35,2	$\pm 2,5$
ch_2/ch_2	32,5	35	35,2	$\pm 2,5$
ch_3/ch_3	33	34,5	34,7	$\pm 2,5$
$cuisine/cuisine$	34	38,5	35,2	$\pm 2,5$

L'examen de ces résultats permet de juger sur cet exemple de la validité du modèle.

* L_{AA} : niveau sonore mesuré dans le local de réception en suivant le protocole de mesure défini dans l'arrêté de Juin 1969.



PRISE EN COMPTE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES ET MECANIQUES DU LOCAL DE RECEPTION ET DE LA FAÇADE COMME VARIABLES DISCRIMINANTES DU SPECTRE D'ISOLEMENT ACOUSTIQUE DE FAÇADE.

Jean GORSE

Jean BEAUMONT

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58 Boulevard Lefebvre - 75732 PARIS CEDEX 15-France

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
Rue Jean Mentelin - Strasbourg Koenigshoffen
B.P. 9 67085 STRASBOURG CEDEX - France.

1. PRESENTATION

Il est bien connu qu'il existe des différences notables entre la courbe type d'indice d'affaiblissement en fonction de la fréquence d'un vitrage [1] et le spectre fréquentiel d'isolement de façade, mesuré après réalisation de l'élément de façade de l'immeuble.

Partant de cela, il est intéressant d'analyser et de quantifier ces causes de variations de ce spectre fréquentiel d'isolement afin de les prendre en compte dans les calculs, au stade du projet.

On sait que le spectre d'isolement de façade mesuré à l'intérieur du local est lié, d'une part au champ acoustique extérieur sollicitant la façade du local, aux caractéristiques techniques et technologiques de l'élément de façade et du local, mais aussi d'autre part, aux conditions de réalisation et aux autres dispositions constructives du bâtiment [2] [3].

L'action simultanée des effets de tous ces paramètres, qualitatifs ou quantitatifs, de l'élément de façade et du local, caractérise intrinsèquement le spectre d'isolement. Cette définition correspond à la notion de fonction de transfert d'un filtre [4].

Compte tenu de cette dernière notion, on propose l'étude de l'influence de ces paramètres sur la fonction de transfert, définie par octave dans la bande de fréquence 125 Hz - 4000 Hz, d'un élément de façade comprenant un vitrage simple et sollicité par une source sonore aléatoire normalisée.

Une solution de ce problème peut être donnée par l'application de méthodes heuristiques aux résultats de mesure acoustique contenus dans la base de données des isollements acoustiques de façade : FACA [5].



2. RESULTATS DE L'ANALYSE DES CAUSES DE VARIATION DE L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT FREQUENTIEL DE FAÇADE.

Disposant simultanément dans cette base de données des spectres d'isolement et de la description qualitative ou quantitative des dispositions constructives, nous avons mené cette étude en deux étapes :

- dans un premier temps, nous avons regroupé les spectres en familles homogènes au sens d'une norme fonctionnelle, en utilisant une méthode appropriée d'agrégation de courbes [6];
- ensuite, nous avons tenté d'expliquer le classement obtenu à l'aide des valeurs prises par cinq variables géométriques ou mécaniques caractérisant le local et sa façade, en mettant en oeuvre une méthode d'analyse discriminante [7].

En faisant cette démarche, on considère donc implicitement que la forme des spectres et leur amplitude par bande d'octave sont représentatives du comportement acoustique global des éléments décrits par ces paramètres : caractéristiques du vitrage, dimensions du local, dispositions constructives telles que les conditions d'encastrement, la présence d'un système d'aération, etc...

2.1. Classification automatique des spectres

Il s'agit donc de regrouper les spectres en familles correspondant à la combinaison des effets, dans chaque bande de fréquence, de tous ces paramètres descriptifs (qualitatifs pour les désordres et quantitatifs pour les données géométriques et mécaniques).

Il faut alors choisir un critère approprié - norme fonctionnelle - prenant en compte toutes ces particularités. Comme les spectres sont caractérisés par de brusques sauts, nous avons choisi la norme définie par :

$$\text{SUP}_i | S^1(f_i) - S^2(f_i) |$$

où S^1 et S^2 sont les amplitudes de deux spectres d'isolement et f_i la fréquence de l'octave i [6].

Cette agrégation a été effectuée sur une population de 74 spectres d'isolement de façade (vitrages simples), normalisés par rapport aux spectres du temps de réverbération correspondant.

Une classification en 10 groupes (fig. 1) est apparue comme fournissant la meilleure homogénéité interne de chaque groupe de spectres. Cette classification appelle les commentaires suivants :

- le groupe 8 est un cas aberrant ;

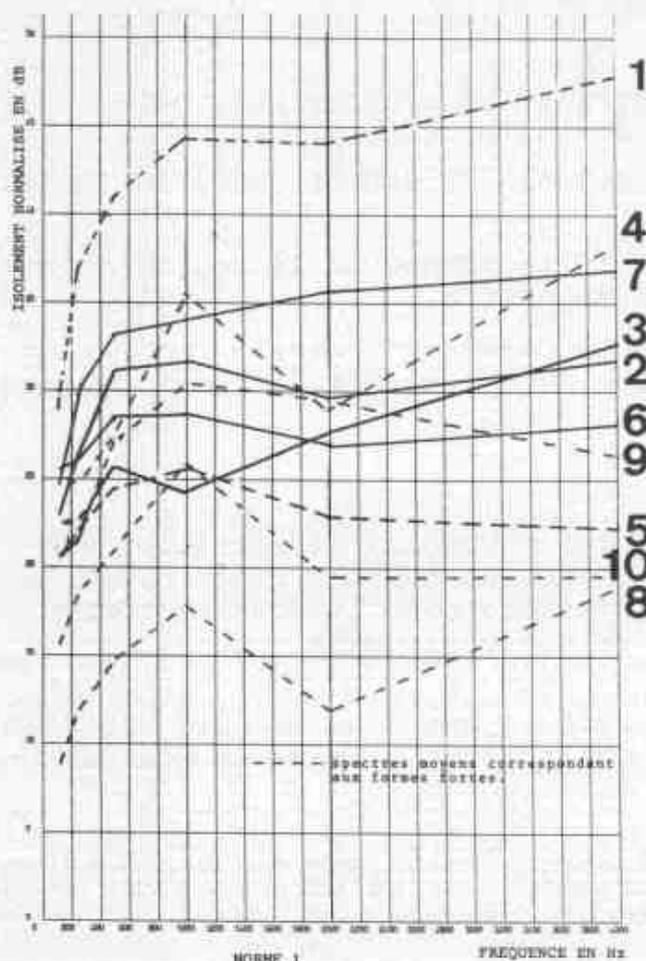


Fig.1- Classification de spectres d'isolement de façade en 10 groupes; spectre moyen de chacun des groupes.

élimination des classes 8 et 10, pour lesquelles une variable au moins présentait une dispersion nulle), correspondant à 68 spectres d'isolement de façade ;
- 5 variables explicatives (voir tableau).

pas	variables	pourcentage de "bien classés" par l'analyse
1	épaisseur du vitrage	23,53
2	pourcentage de surface vitrée par rapport à la façade	27,94
3	pourcentage de surface vitrée par rapport au plancher	33,82
4	surface vitrée	45,59
5	angle d'incidence	54,41

- 6 groupes se sont révélés stables à partir de la quatrième étape du calcul: groupes 1,4,5,8,9 et 10.

- le groupe 1 rassemble tous les spectres correspondant à des vitrages d'épaisseur moyenne 9,2 mm (alors que pour les autres classes, l'épaisseur moyenne varie de 3,6 à 5,6mm).

2.2. Analyse discriminante pas à pas sur les paramètres mécaniques et géométriques de l'élément de façade du local.

Compte tenu qu'aucune hypothèse ne peut être faite sur les distributions statistiques des paramètres quantitatifs, nous avons utilisé une méthode d'analyse discriminante quadratique non linéaire dite de pas à pas [7].

Les données soumises à l'analyse discriminante sont :

- 8 classes de la partition obtenue précédemment (après

Les principaux résultats de l'analyse sont résumés dans le tableau ci-contre, dans lequel les variables sont classées par ordre d'influence décroissant, et où est quantifié le pourcentage de discrimination apporté par la combinaison non linéaire des variables prises en compte à chaque pas du calcul.



On constate :

- l'épaisseur du vitrage intervient au premier pas, ce qui correspond au rôle prépondérant de la loi de masse ;
- ensuite viennent les caractéristiques géométriques du local de réception ;
- la surface vitrée et l'angle d'incidence de la source sonore ne semblent jouer qu'un rôle secondaire.

Finalement, avec les paramètres choisis a priori, on explique 54,4 % des différences entre les familles de spectres d'isolement de façades.

3. CONCLUSIONS

Les effets combinés des variables géométriques et mécaniques, choisies a priori, sur les courbes fréquentielles d'indice d'affaiblissement de façade, sont importants comme l'indique le taux de 54,4 % de bon classement fourni par l'analyse discriminante.

Cependant, il ne s'agit là que d'un premier résultat significatif, qui pourra être amélioré en prenant en considération les autres dispositions constructives.

D'autre part, cette étude montre que l'analyse par des méthodes heuristiques, des causes de perturbation des spectres d'isolement de façade, est une méthode pertinente.

4. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Notions d'acoustique à l'usage des architectes Ingénieurs Urbanistes - R. JOSSE - EYROLLES - Paris 1972.
- [2] Isolation acoustique des fenêtres - V. SIMETIN - ZBORNIK RADOVA. I.G.H.
- [3] Façade et nuisances phoniques - A. BONNEVRY. Cahier du C.S.T.B. n° 128 - 1972 - Paris.
- [4] Méthodes et techniques de traitement du signal et application aux mesures physiques. J. MAX et al. MASSON - 1981-Paris
- [5] Fichier Acoustique des Isolements de Façades. J. BEAUMONT, R. BILGER, J. GORSE. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - 1979. Paris.
- [6] Recherche d'un indice acoustique nocturne - M. MAURIN IRT-CERNE - 1980. Lyon.
- [7] Méthode et programmes d'analyse discriminante . M. ROMEDER et al. DUNOD. 1973. Paris.



ISOLATION ACOUSTIQUE DES FENETRES ET DES FACADES

D. SOUBRIER

F. HENDERIECKX

Centre Scientifique et Technique de la Construction
Rue du Lombard 41 - B - 1000 Bruxelles (Belgique)

La fenêtre - élément essentiel de l'architecture - assure des fonctions multiples et parfois contradictoires : élément de contact permanent avec l'extérieur, elle doit aussi être une barrière efficace contre certaines agressions du milieu extérieur (vent - pluie - chaleur ou froid) dont le bruit n'est pas le moindre.

La qualité de l'isolation acoustique des façades est fortement influencée par la performance atteinte par les fenêtres. Cette dernière va dépendre de nombreux facteurs dont :

- le choix de la méthode de mesures : en laboratoire, in situ, source de bruit, angle d'incidence
- la nature du châssis : bois, aluminium, PVC, acier, ...
- le type de vitrage : simple, double, épaisseur du vitrage et de la lame d'air, coupure thermique
- les dimensions et la superficie : position des fréquences de résonance
- la pose du vitrage et son étanchéité dans le châssis : couche amortissante
- l'étanchéité des ouvrants et des dormant, l'étanchéité à la maçonnerie
- la présence de volets roulants, de conduits de ventilation
- les techniques de réhabilitation : survitrage, double fenêtre
- le recours à des techniques plus élaborées : verre feuilleté, gaz de remplissage dans les vitrages doubles, non parallélisme des doubles vitrages.

Certains paramètres sont bien connus comme l'influence de l'angle d'incidence, l'épaisseur du vitrage. D'autres le sont moins comme l'étanchéité, les techniques de rénovation. Aussi ne nous paraît-il pas approprié de reprendre tous les points.



D. Soubrier - F. Henderieckx "Isolation fenêtres - façades"

1. L'étanchéité à l'air d'une fenêtre a une grande importance quant à l'obtention d'une isolation acoustique optimale de la façade : étanchéité entre le dormant et le battant mais aussi entre le dormant et le gros-œuvre.

Le CSTC a effectué, en collaboration avec l'industrie verrière, une recherche sur les répercussions de l'étanchéité sur l'isolation acoustique. La figure 1 donne un exemple des indices d'affaiblissement acoustique obtenu par une fenêtre à deux battants - ouvrant à la française - châssis bois - double vitrage 6/12/4 avec remplissage au gaz, lorsque l'on utilise différentes sortes de bandes d'étanchéité ($S = 2,84 \text{ m}^2$)

L'indice de qualité ISO, l'indice exprimé en dB(A), suivant la réglementation française, sont donnés dans la figure 2 ainsi que le Schall-damm-Mass R_w suivant la norme DIN 52210.

Figure 2

Type d'essai	Critère obtenu			Etanchéité à l'air $\text{m}^3/\text{h} \times \text{m}$ de joint
	ISO R 717 dB	R_{route} dB(A)	DIN 52210 dB	
I	19	19	20	29,8
II	24	23	24	7,5
III	32	28	32	3,26
IV	34	29	34	0,96

La nature du joint ainsi que l'étanchéité à l'air de la fenêtre elle-même peuvent faire augmenter l'isolation aux bruits aériens de 10 dB(A) ou de 14-15 dB suivant les normes ISO ou DIN.

Pour un vitrage 10-12-4, les augmentations observées de l'indice d'affaiblissement seraient de 14 dB(A) route ou de 17-18 dB suivant les normes ISO et DIN.

Une autre illustration est donnée à la figure 3 où les largeurs des joints de fonctionnement ont été portées jusqu'à 2,4 mm, avec des conséquences sur l'indice moyen allant jusqu'à 12 dB.

2. Dans le cas de grandes fenêtres, la surface du dormant et des battants atteint 30 % et plus de la surface totale de la baie. Il n'est donc pas étonnant que la performance finale ne soit pas seulement influencée par le type de vitrage et l'étanchéité de la fenêtre mais également, et dans une proposition appréciable (3 à 5 dB), par la nature du châssis. Un exemple est donné au tableau de la figure 4.

Composition du châssis	Vitrage 6/12/4		Vitrage 10/12/4	
	ISO (dB)	dB(A) route	ISO (dB)	dB(A) route
Bois	32	28	33	30
Aluminium	32	28	34	30
Aluminium avec coupure thermique	30	27	36	31
PVC	35	30	37	32

Figure 4



Ces valeurs peuvent sembler faibles parce qu'elles se rapportent à la fenêtre seule ($S = 2,84 \text{ m}^2$), si on considère l'isolation d'une façade normale traditionnelle (brique 9 cm - creux 5 cm avec laine minérale - briques perforées 14 cm), les valeurs obtenues seront augmentées d'environ 6 dB.

3. L'influence des volets roulants sur l'isolation acoustique de la fenêtre peut être aussi bien positive que négative : le volet baissé apporte une protection supplémentaire, cette amélioration serait d'autant plus élevée que la distance entre le volet et la fenêtre est suffisamment grande - sur ce plan, des distances de 10 cm sont nettement meilleures que les distances habituelles (< 5 cm).
Mais ce qu'on gagne d'un côté peut être perdu si l'on ne prend garde à l'étanchéité de la caisse à volet et à y placer des matériaux absorbants dans le cas où elle est encastrée dans la façade.
La figure 5 relative à un châssis bois contenant un vitrage simple de 8 mm en donne une illustration. On y constate entre autre le relèvement à la fréquence de coïncidence, ce qui peut aller jusqu'à une amélioration de 7 dB dans l'indice de qualité ISO.
4. Depuis la crise de l'énergie, plusieurs systèmes ont été mis au point dans le but d'améliorer l'isolation thermique des fenêtres existantes. Ces systèmes appelés "châssis rapporté" (survitrage) sont placés du côté intérieur ou extérieur du châssis existant. Des essais exécutés sur huit systèmes placés sur une fenêtre de référence (avec châssis bois - deux ouvrants - vitrage de 4 mm) démontrent à la fois l'efficacité du système et l'influence de l'épaisseur de la lame d'air. L'amélioration acoustique des systèmes varie en moyenne de 2 à 9 dB (sur vitre de 8 mm à une distance de 75 mm). L'étanchéité du châssis existant aura une grande incidence sur le résultat final, aussi un dispositif de renforcement d'étanchéité mis en oeuvre sur place est souvent nécessaire.
Un autre système consiste à remplacer le vitrage simple par un vitrage double ou plus épais dans le châssis existant moyennant adaptation de ce dernier à la nouvelle épaisseur. Les améliorations constatées sont peu élevées et les remarques sur l'étanchéité des parties dormantes et ouvrantes sont identiques.
5. Une lutte adéquate contre le bruit répond aux souhaits de nos contemporains, elle se manifeste dans l'évaluation de leur logement, pour cela l'existence de normes spécifiant des critères de confort ou des exigences minimales est impérative mais le contrôle in situ de l'isolation acoustique finale repose sur le choix des méthodes de mesures, et celui-ci peut aboutir à des résultats différents rendant les comparaisons caduques : une grande dispersion apparaît dans les mesures in situ suivant le type de sources utilisées (trafic extérieur - générateur de bruit blanc) aussi bien que la technique retenue (fenêtre ouverte - fenêtre fermée). Ce point est cependant encore à l'étude.
L'optimisation de l'isolation acoustique a cependant ses limites et sa recherche ne doit pas engendrer d'autre nuisance par l'abaissement du niveau de bruit de fond dans l'habitation, par exemple.

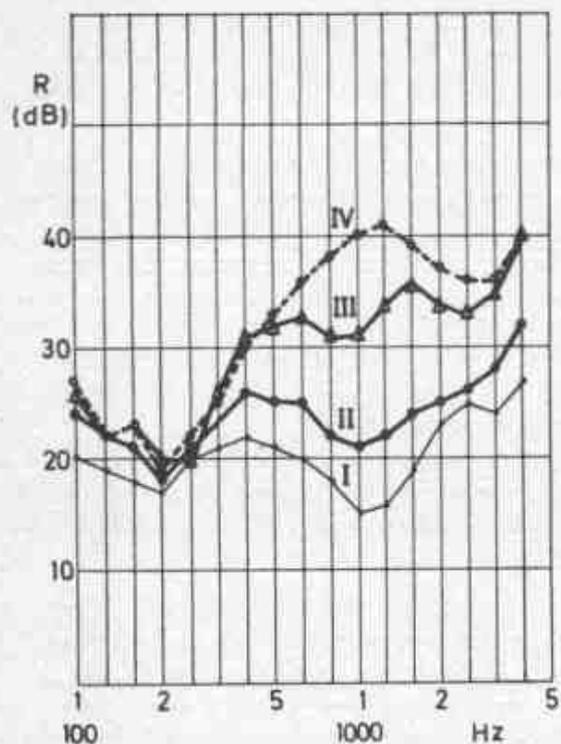
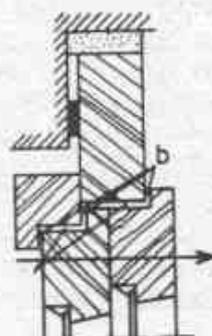
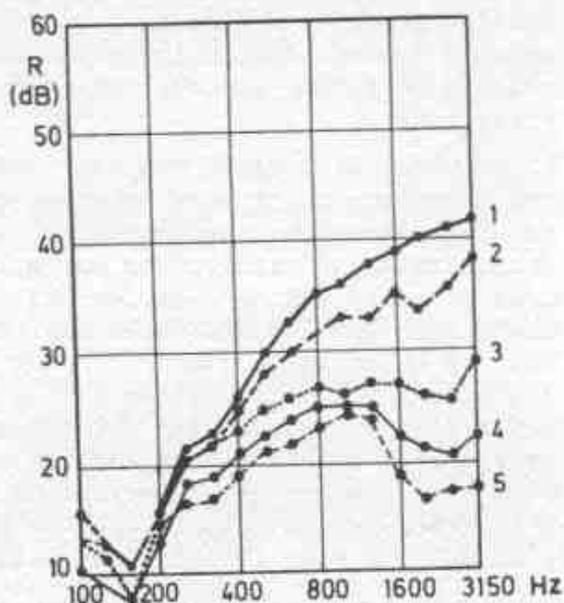


Fig. 1 — Influence des bandes d'étanchéité sur les indices d'affaiblissement du bruit d'une double fenêtre ouvrante en bois à double vitrage.

- I : sans bande
- II : mousse souple
- III : profilé élastique
- IV : silicone



- 1. joint de fonctionnement scellé : $\bar{R} = 29$ dB
- 2. $b = 0$: $\bar{R} = 26$ dB
- 3. $b = 0,6$ mm : $\bar{R} = 23$ dB
- 4. $b = 1,2$ mm : $\bar{R} = 19$ dB
- 5. $b = 2,4$ mm : $\bar{R} = 17$ dB

Fig. 3 — Isolation acoustique d'un châssis en bois muni de joints de fonctionnement de largeur variable b (mesures de laboratoire).

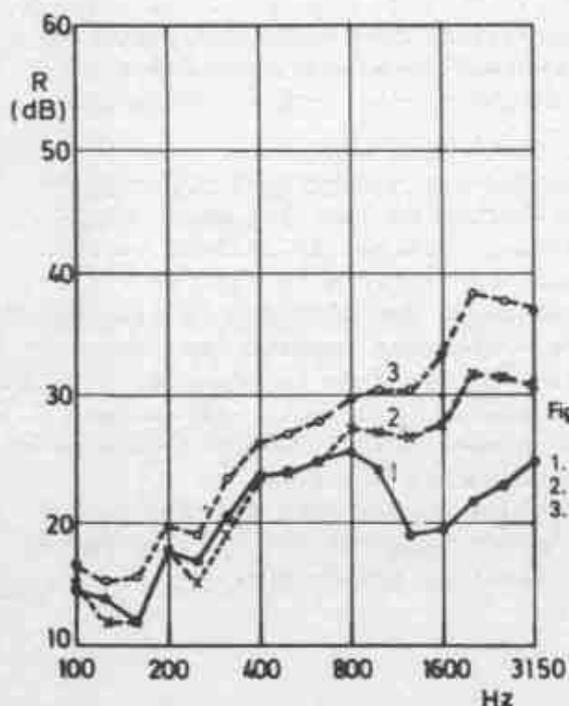


Fig. 5 — Amélioration de l'isolation acoustique d'une fenêtre par un volet roulant.

- 1. fenêtre sans volet roulant
- 2. fenêtre avec un volet roulant et une faible étanchéité
- 3. fenêtre avec un volet roulant et une bonne étanchéité de tous les côtés



D. Soubrier - F. Henderieckx "Isolation fenêtres - façades"

Références

- A. Cops et F. Henderieckx "L'isolation acoustique des façades et ses améliorations possibles". CSTC - Revue n° 2-3 juin/septembre 82 - Bruxelles.
- F. Henderieckx et D. Soubrier "Isolation acoustique des fenêtres". CSTC - Revue n° 1 mars 1976 - Bruxelles.



MESURE DE L'ISOLEMENT ACOUSTIQUE DES FACADES
A L'AIDE D'UNE SOURCE IMPULSIVE DE BRUIT

CRESTOIS Philippe

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

84, avenue Jean Jaurès - CHAMPS SUR MARNE
B.P. 02 77421 MARNE LA VALLEE CEDEX 2 (France)

1. INTRODUCTION

Depuis l'arrêté du 6 Octobre 1978 relatif à l'isolement des bâtiments d'habitation contre les bruits de l'espace extérieur, il est apparu, d'une part, la nécessité de vérifier le respect du niveau de la qualité acoustique requis par le présent arrêté et, d'autre part, la faiblesse des méthodes de mesure existantes.

La mesure de l'isolement aux bruits aériens à partir du bruit de l'espace extérieur (circulation automobile, aérienne ou ferroviaire) dont on veut se protéger, peut être faussée par la présence de bruits à l'intérieur du bâtiment, qui s'ajoutent à ceux provenant de l'extérieur sans possibilité de discrimination.

La mesure à partir de sources artificielles de bruit (habituellement des hauts parleurs) est difficile en raison de la directivité des sources et de leurs mises en place malaisées.

Pour pallier à ces inconvénients, le C. S. T. B. a adapté à cet usage une méthode de mesure utilisant des bruits de courte durée mais de forte intensité, mise précédemment au point pour la mesure de l'isolement aux bruits aériens à l'intérieur des bâtiments. Cette méthode est reprise dans la norme NF S 31-057 "vérification de la qualité acoustique des bâtiments".

2. BIBLIOGRAPHIE

Il semble que la proposition la plus ancienne de mesure des isollements à l'aide de bruits impulsifs revienne à RAES (1). Une méthode a été décrite et testée par INGEMASSON (2). Il utilisait comme source de bruit un pistolet de starter ; au dépouillement, le signal était



Ph. CRESTOIS - Isolement de façade bruit impulsif

filtré puis intégré sur un dosimètre de bruit. Suite à des études faites au C. S. T. B. à partir de 1974, De TRICAUD (3) puis ROLAND (4) proposent une démonstration plus générale de l'identité de la méthode impulsive avec celle utilisant un bruit permanent, et de ses avantages.

Ils ont réalisé des mesures comparatives de l'isolement entre deux locaux en laboratoire et sur chantier. La source de bruit est un pistolet d'alarme. Au dépouillement, le signal enregistré sur magnétophone est filtré puis intégré sur un appareil adaptable à un sonomètre, remplacé plus récemment par un analyseur en temps réel.

3. MODE OPERATOIRE

La source impulsive de bruit est constituée d'une petite charge de poudre de magnésium (1,5 g) mise à feu électriquement. Son spectre de bruit possède un maximum entre 500 et 1000 Hz et son niveau de pression crête est d'environ 155 dB à 1,00 m. Cette source placée à 7,00 m en avant de la façade permet d'exciter la portion intéressée par des ondes planes dont le niveau de pression est toujours supérieur à celui du bruit existant (intérieur et extérieur) mais sans soumettre ses éléments à des déformations non linéaires.

Les niveaux de pression acoustique, engendrés par la source à l'intérieur du bâtiment et à 2,00 m en avant de la façade, sont simultanément enregistrés sur un magnétophone bi-piste.

Le dépouillement s'effectue sur un analyseur en temps réel couplé à un calculateur. On calcule dans les 18 bandes 1/3 d'octave, le niveau de pression efficace émission et réception intégré linéairement pendant une seconde. L'intégration est déclenchée par le signal électrique de mise à feu enregistré sur la piste de service du magnétophone.

Le temps de une seconde est un compromis évalué par ROLAND (4) entre l'erreur commise si l'intégration est trop courte et celle commise par l'intégration du bruit de fond. Cela n'empêche pas de mesurer le niveau de pression du bruit de fond une seconde après le signal et, si nécessaire, d'effectuer des corrections sur la valeur de l'intégrale. La pratique montre que le signal est toujours bien supérieur au bruit de fond.



4. TEST IN SITU

Afin de tester les qualités opérationnelles de la méthode, nous avons procédé à des mesures comparatives sur 30 façades de bâtiments collectifs et 10 maisons individuelles dont les isolements étaient compris entre 25 et 50 dB(A).

La source impulsive est placée par rapport au centre de la portion de façade intéressée, suivant un angle de site qui est celui sous lequel est vu le bruit dont on veut se protéger et un angle d'azimut nul.

La méthode de mesure de référence est celle qui utilise le bruit permanent de l'espace extérieur. L'importance du bruit de fond est minimisée par la recherche de l'isolement maximum par bande de 1/3 d'octave pendant environ 15 minutes.

La comparaison entre les deux méthodes montre que :

- si la plus grande partie de l'énergie venant de l'extérieur passe par la portion de façade intéressée (ce fut le cas de tous les bâtiments collectifs et de 2 maisons individuelles), la méthode impulsive donne des résultats identiques à la méthode de référence, avec une supériorité aux forts isolements.
- si l'énergie passe aussi par d'autres voies placées en dehors de la portion de façade excitée par la source impulsive (cas de 8 maisons individuelles ; transmission par les toitures, cheminées, portes d'entrée, etc.), la méthode impulsive sous-estime l'isolement en ne prenant pas en compte les autres voies de transmission.

A part cette limitation qui pourrait être dépassée en plaçant la source impulsive à une plus grande distance de la maison, la méthode impulsive s'est révélée facile d'emploi et utilisable, quelque soit le bruit produit à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments.

REFERENCES

(1) RAES A.C.

"La technique des travaux" 3-4 (1959)

(2) INGEMASSON S.

"Förenklad mätning av ljudisolering skottmetoden - Byggeforskningen" Rapport R 49 (1972)

(3) De TRICAUD P.

"La mesure des isollements aux bruits aériens à l'aide de sources de bruit impulsives" Cahiers du C. S. T. B. n° 157 (1975)

(4) ROLAND J.

" Amélioration de la méthode de mesure rapide de l'isolement aux bruits aériens, basée sur l'utilisation des bruits impulsifs" Annales de l'I.T. B.T.P. n° 177 (1980)

(5) CRESTOIS Ph.

" Mise au point de la méthode de mesure de l'isolement acoustique procuré par les façades" Rapport C.S.T.B. (1981)



PROTECTION DES IMMEUBLES CONTRE LES BRUITS EXTERIEURS

RADEV Atanas, prof.ing. RADEVA Natacha, ing.
TCHONKOV Ivan, ing.

Institut Scientifique du Bâtiment
1618 Sofia, 36, Petko Napétov

Introduction

L'urbanisation accélérée et le développement du transport de Bulgarie pendant les dernières 15-20 années ont mis le problème de la protection des locaux contre les bruits extérieurs à l'un des premières places parmi ceux dans le domaine de la lutte contre le bruit. L'enquête concernant la réaction des habitants contre le bruit du trafic pénétrant dans les immeubles qui a eu lieu à Sofia 1979, a montré que 92-97 % environ des habitants sont en dérangés. Le taux assez considérable peut être expliqué par l'isolation acoustique insuffisante des fenêtres utilisées en Bulgarie, par la grande superficie de vitrerie des facade ainsi que par l'habitude du Bulgare de vivre, six mois de l'année environ, les fenêtres ouvertes.

1. Mesures d'organisation et techniques pour amélioration du climat acoustique dans les villes de Bulgarie

Plus de dix années déjà, dans des points de mesures situés dans des centres départementaux différents on fait contrôler, deux fois par an, le changement du niveau équivalent du bruit du trafic. On a constaté une augmentation du niveau équivalent du bruit par an de 1,2 à 1,4 dB . On a remarqué, pour les deux dernières années, une certaine stabilisation du niveau équivalent du bruit dans un nombre de points de contrôle, résultat de la possibilité limitée de la circulation



Radev etc. Protection contre les bruits extérieurs

des véhicules.

Dans la réalisation d'un arrêté ministériel de 1973 les usines assez bruyantes ont été situées en extrémité des villes et on a aussi construit des voies routières détournant le trafic transit du centre des villes.

On a élaboré des cartes de bruit de 17 centres départementaux reflétant le niveau actuel du bruit des rues et des boulevards donnant un pronostic pour l'avenir jusqu'à l'année 2000. Pour la protection contre les bruits extérieurs des habitations on a élaboré et déjà mis en oeuvre des constructions originales des murs écrans aussi que des technologies pour leur production et montage.

2. Isolement acoustique des murs de façade dans la construction habituelle des bâtiments d'habitation

Ayant en vue les conditions climatiques en Bulgarie on a accepté que 45 ou 55 % des murs de façade des bâtiments publics et d'habitation soient vitrés.

Le type général des fenêtres employées dans la construction des bâtiments d'habitation est celui des fenêtres à ventail dédoublé/licence suède/(fig. 1). Leur isolation acoustique est présentée à la fig. 1. Les fenêtres sans garnitures d'étanchéité produites dans nos usines ont une isolation acoustique $R_{op} = 25$ dB qui, lors de l'exploitation diminue à $R_{op} = 16-17$ dB.

L'augmentation de la superficie du vitrage de 25 à 75 % montre qu'elle joue le rôle prépondérant pour la détermination de l'isolement acoustique. Dans ce cas, la solution unique qui s'impose est de faire considérablement accroître l'isolement des fenêtres.

Les essais en laboratoire que nous avons réalisés à NISI et qui incluent l'expérimentation des garnitures d'étanchéité et du vitrage assymétrique ont donné un isolement acoustique

Radev etc. Protection contre les bruits extérieurs

déjà doublé : de $L=21$ dB à $L=42$ dB pour les fenêtres à ventail dédoublé et de $L=32$ dB à $L=45$ dB pour les doubles fenêtres. Les résultats de ces expériences sont donnés aux fig. 1 et 2.

3. D'autres méthodes concernant la protection contre le bruit du trafic

Nous avons apprécié que les méthodes classiques de l'acoustique connues jusqu'à présent ne peuvent pas résoudre les nouveaux problèmes et dès 1981 nous avons commencé des recherches sur la protection contre les bruits extérieurs par le moyen des "atténuateurs actifs".

Notre expérience dans ce domaine n'est pas encore très riche. Nous comptons exclusivement sur les progrès actuels des techniques électroniques.

Nous avons réalisé la production d'une onde en opposition de phase et d'amplitude à celle du signal à l'aide de mécanismes électroniques ainsi qu'un changement égal de 0° à 170° du retard ou bien du dépassement du signal secondaire par rapport au signal primaire (fig. 5). Les résultats de notre première étude relative à la diminution du niveau des bruits extérieurs à l'aide des atténuateurs actifs sont donnés à la fig. 6.

La solution du problème de la protection contre les bruits extérieurs est difficile mais c'est un travail qui a la chance de réussir dans les années à venir.



Radev etc. Protection contre les bruits extérieurs

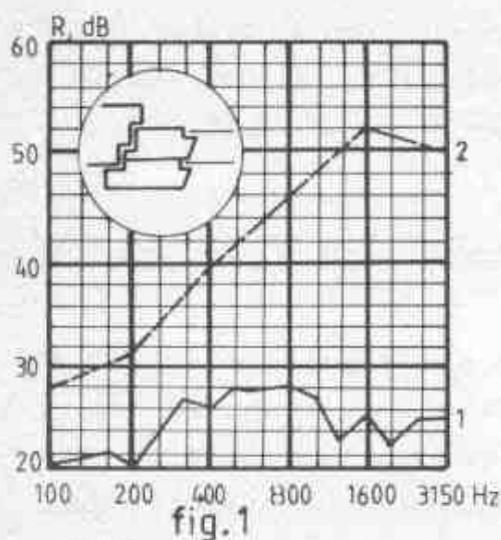


fig.1
Fenêtre à ventail dédouble
1-sans d'étanchéité
2-complètement étanché avec mastic

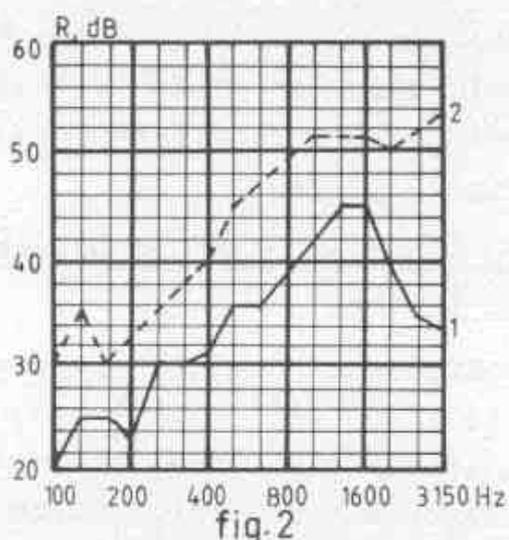


fig.2
Double fenêtre
1-sans d'étanchéité
2-complètement étanché avec mastic

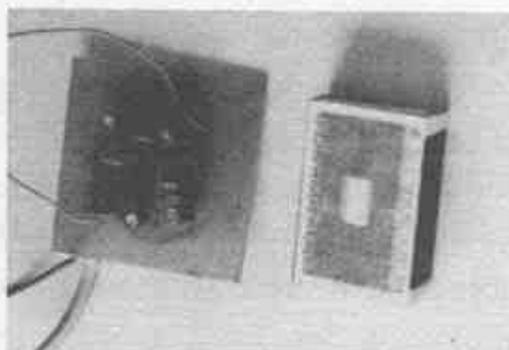


fig. 3

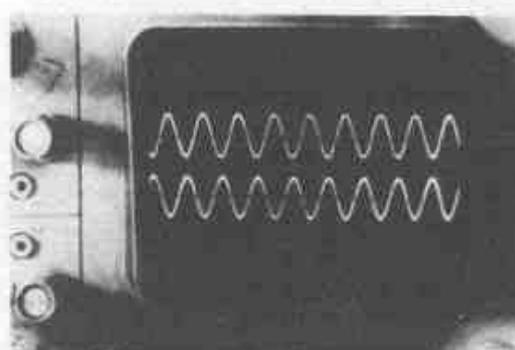


fig. 4



fig. 5

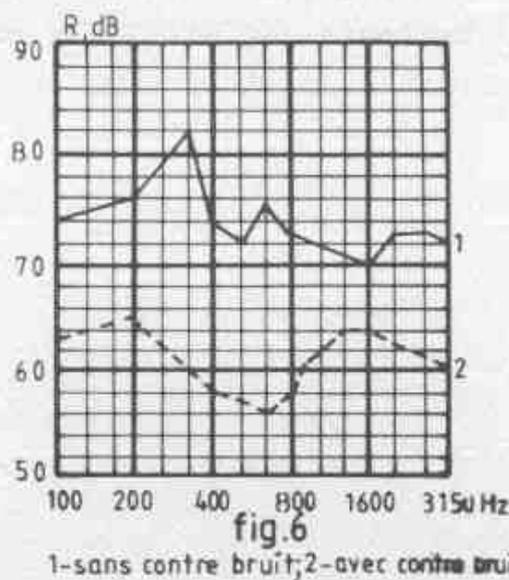


fig.6
1-sans contre bruit; 2-avec contre bruit



ISOLEMENT ACOUSTIQUE DES PAROIS COMME FONCTION DE LA
STRUCTURE DU MATERIAU

RADEV Atanas, prof.ing.

RADEVA Natacha, ing.

Institut Scientifique du Bâtiment
1618 Sofia, 36, Petko Napetov

Introduction

La théorie et la pratique nous ont fait connaître que les facteurs physiques caractérisant la structure des matériaux (masse volumique, vitesse des ondes sonores longitudinales, coefficient, frottement intérieur etc.) ont une influence considérable sur l'isolement acoustique des parois. D'après Cremer

$$R = 20 \lg (M_n \cdot f_k / \rho c) + 30 \lg (f / f_k) + 10 \lg \gamma - 3$$

Ne sont pas faites de recherches dans le but d'être établi dans quelles limites il est possible d'être changés les facteurs mentionnés et à quel point ces changements peuvent influencer l'isolement acoustique des parois.

1. Isolement acoustique des parois en fonction du déplacement de f_k vers la zone de faibles fréquences

Il est connu qu'en employant un même matériau, l'augmentation de l'épaisseur de la paroi cause l'augmentation de sa masse et parallèlement, de son isolement acoustique. L'influence de l'épaisseur de la paroi sur l'isolement acoustique est donnée à la fig.1. Dans le cas où la masse

Radev, Radeva Isolement acoustique des parois...

est approximativement la même, l'isolement acoustique de la paroi en béton d'argile expandée avec $h = 140$ mm est de 5 dB plus faible que celui d'une paroi pareille également en béton d'argile expandée mais avec $h = 200$ mm. Dans ce cas l'isolement acoustique plus grand de la paroi avec épaisseur 200 mm est déterminé par le déplacement de sa fréquence critique vers les fréquences plus faibles.

L'exemple de la fig. 1 concerne les cas où la fréquence critique se déplace vers la zone de faibles fréquences en augmentant l'épaisseur de la paroi. Le déplacement de la fréquence critique des parois vers la zone de faibles fréquences peut être obtenu également par l'augmentation de la vitesse des ondes longitudinales.

A la base de ces raisonnements on peut composer le modèle théorique (fig. 2) du changement de l'isolement acoustique comme fonction du déplacement de la fréquence critique.

En étudiant des structures différentes de béton de masse volumique égale, nous avons constaté un changement de c_m dans des limites où f_K se déplace par deux tiers vers les plus faibles fréquences et suivant le modèle théorique (fig. 2) l'isolement acoustique de la paroi doit augmenter par 4-5 dB.

2. Isolement acoustique des parois comme fonction du changement du coefficient des pertes intérieures

L'influence du coefficient des pertes intérieures sur l'isolement acoustique des parois malgré certaines restrictions, se fait voir dans la formule de Cremer citée plus haut. Bien qu'on ne puisse évaluer avec précision par le moyen de cette formule l'effet acoustique en cas des valeurs plus hautes de η , l'isolement acoustique dans tous les cas augmente considérablement. Ce fait est prouvé par voie expérimentale par A. Radev /2/ et montré à la fig. 3. L'expérience est réalisée sur des modèles en M 1 : 5, exécutés respective-

Radev, Radeva Isolement acoustique des parois...

ment en bitume et en parafine, de même épaisseur et à peu près de même masse volumique. Le modèle en bitume assure un isolement acoustique de 17 dB plus grand que celui en parafine. A cause de la grande valeur de η (1,2 + 1,5) dans le cas de bitume ne se fait pas voir une diminution de l'isolement dans la zone de f_k .

Nous avons obtenu des résultats intéressants sur des modèles en polystyrène expansé (fig.4) dont les pores ouverts étaient fermés à l'aide d'une couche de la graisse. Au dessus de f_k l'isolement acoustique augmente avec 26 + 27 dB par octave, lorsque dans les constructions ordinaires elle est de l'ordre de 6 + 8 dB et selon la formule de Cremer - 9 dB par octave. Les résultats pareils nous avons obtenus également sur des modèles en béton de résine avec des granules en polystyrène expansé (fig.5).

Nous avons encore réalisé des essais pour amélioration de l'isolement acoustique des parois en béton en augmentant le facteur η par le moyen des additifs appropriés. Les résultats obtenus sont sans commentaire parce que les études sur ce problème continuent encore.

A la base des recherches réalisées on peut faire la conclusion que par le moyen d'être contrôlés certains facteurs déterminant la structure des matériaux on peut exercer une influence considérable sur l'isolement acoustique des parois.

LITERATURE

1. Cremer L. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. Akust. Zeitschrift, 7, 1942
2. Радев А., Възможности за постигане висока звукоизолация с леки единични ограждащи конструкции, I конференция по акустика, Варна, 1973



Radev, Radeva Isoelement acoustique des parois

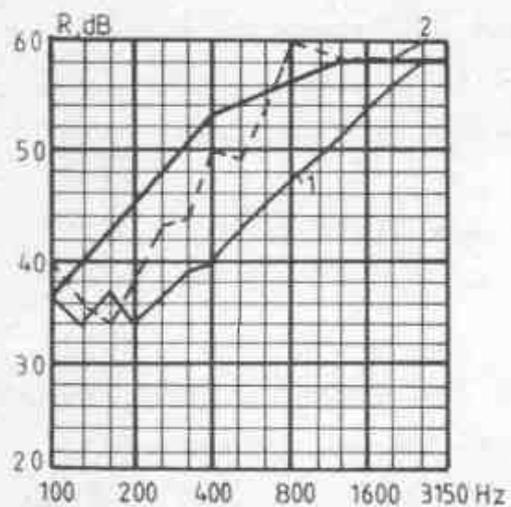


fig. 1

1-140 mm; 2-200 mm

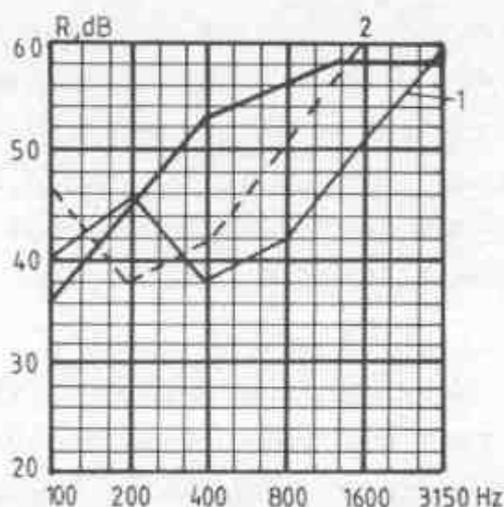


fig. 2

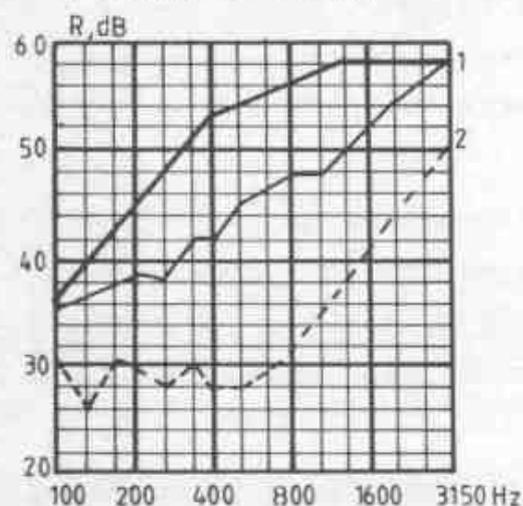


fig. 3

1-bitume-100mm; 2-parafine-90 mm

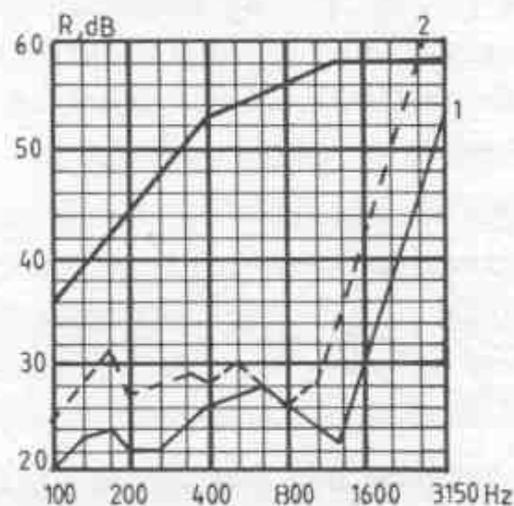


fig. 4

1-30 mm; 2-50 mm

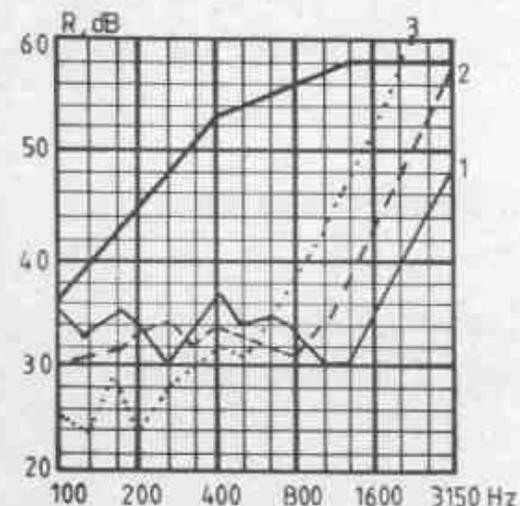


fig. 5

1-25 mm; 2-50 mm; 3-100 mm

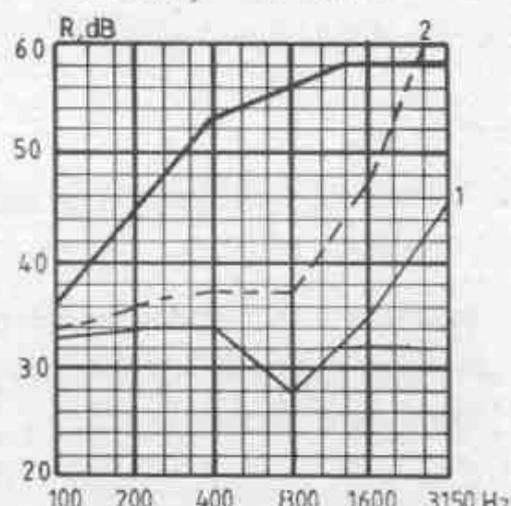


fig. 6

1-sans additif; 2-avec additif



ETUDE COMPARATIVE SUR LA TRANSMISSION DU BRUIT DE STRUCTURES
DANS LES BÂTIMENTS DE TYPE DIFFÉRENT DE CONSTRUCTION

KOTCHEVA-MADJAROVA Antonia, Dr.ing.

Institut Scientifique du Bâtiment (NISI)
36, Petke Napétov 1618 Sofia - Bulgarie

Les études théoriques et expérimentales prouvent que par suite de la transmission de l'énergie par voies indirectes, la pression sonore dans les bâtiments contemporains peut augmenter de 10-12 dB c.s.d. l'isolation acoustique entre les locaux peut affaiblir de 10-12 dB. D'ici la nécessité d'être étudiées les causes de l'apparition des bruits de structures dans les bâtiments ainsi que les méthodes de leur diminution.

Par des méthodes de mesure traditionnelle et vibrométrique sont étudiés des bâtiments de type différent de construction: construction en grands panneaux (CGP), coffrage de grande superficie (CGS), dalles soulevées en paquets (DSP) et coffrage glissant (CG) (fig.1.).

On a étudié l'influence des rapports différents des rigidités cylindriques des murs et des planchers D_m/D_p sur l'isolation acoustique des dalles plancher-plafond.

La meilleure isolation contre le bruit aérien en cas des dalles de plancher de même épaisseur est constatée dans les bâtiments de type de construction DSP dont le rapport des rigidités cylindriques des murs et des planchers est le plus grand τ 3,53.



Madjarova A. La transmission du bruit de structures...

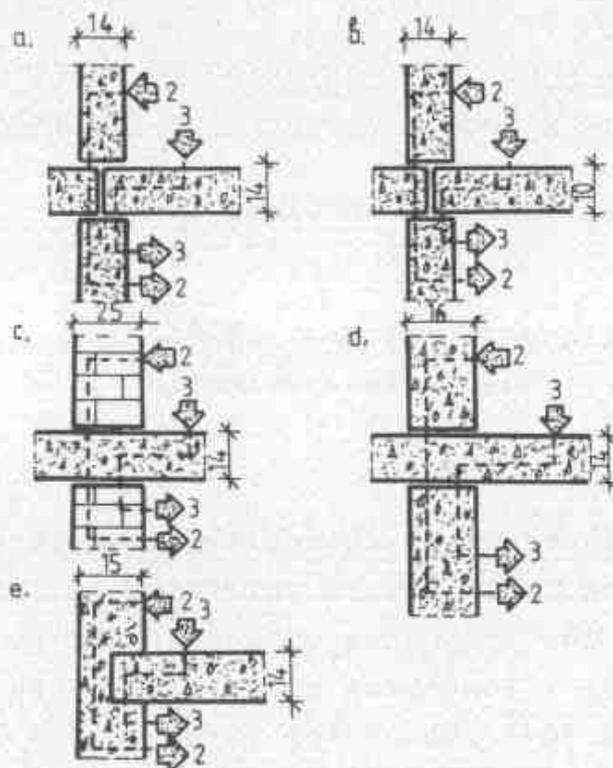


fig. 1. Schéma des joints dans des bâtiments: a, b - bâtiments en grands panneaux (BGP); c - dalles soulevées en paquets (DSP); d - coffrage de grande superficie (CGS); coffrage glissant (CG); 2, 3 - voies indirectes de la transmission du bruit

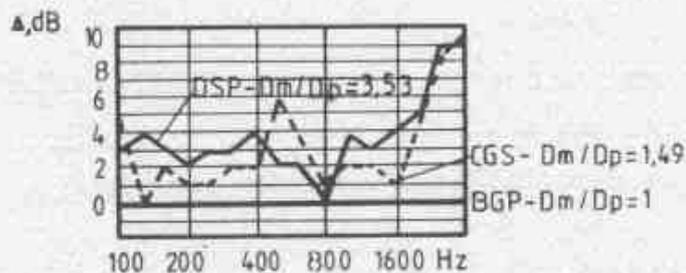


fig. 2. Amélioration de l'isolation contre le bruit aérien des planchers de la même masse (béton armé - 140 mm) en rapport différent des rigidités cylindriques aux droits des joints D_m/D_p en comparaison de $D_m/D_p = 1$



Madjarova A. La transmission du bruit de structures...

Les murs entre les appartements ont l'index de l'isolation acoustique 54 dB en cas de densité superficielle de 360 kg/m^2 en ce qui les pertes de l'énergie sonore augmentent par les voies latérales 2 et 3. La haute capacité de l'isolation acoustique des voies latérales (murs en céramique effective de l'épaisseur 250 mm) fait augmenter l'isolation acoustique des dalles de plancher de même structure et masse. En cas de rapport entre les rigidités cylindriques égal à 1 on a mesuré le moindre index de l'isolation des planchers contre le bruit aérien -49 dB.

En prenant comme base de référence la caractéristique acoustique de l'isolation contre le bruit aérien des planchers dans les constructions en grands panneaux $D_m/D_p = 1$ l'amélioration de l'isolation acoustique des planchers de la même épaisseur dans les bâtiments construits suivant les autres procédés de construction sera de 0 à 9 dB (fig.2). Ainsi vu que $D_m/D_p = 3,53$, dans les DSP $\Delta = 3,75$ dB et dans les CGS $\Delta = 3,13$ dB.

Pour les murs et les planchers en panneaux simples homogènes sera convenable que $D_m/D_p = 1,5 + 1,7$ parce que de cette manière diminue la transmission sonore par les voies latérales 2 et 3. En augmentant le rapport de 0,03 à 1,49 l'isolation acoustique des planchers de même épaisseur s'améliore de 4 dB.

On a réalisé la mesure des niveaux moyens des vitesses de vibration par la méthode de Erler et Fasold sur les murs et planchers et sur les constructions colatérales dans le local isolé et on a construit les caractéristiques acoustiques pour l'isolation contre le bruit aérien des voies indirectes 2 et celles de 2, 3 et 4 simultanément. Les écarts dans les caractéristiques acoustiques des voies indirectes dans des bâtiments de même type de construction sont très grands (au delà de 800 Hz ils sont de 5 à 10 dB). A peu près les mêmes sont les écarts dans l'isolation des voies latérales dans des bâ-



Madjareva A. La transmission du bruit de structures...

timents de type différent de construction. Donc les bâtiments d'habitation modernes en pratique ne se distinguent pas en ce qu'il s'agit de la transmission et de l'atténuation des bruits de structures.

Conclusions et recommandations:

- dalles de plancher de mêmes masse et construction (béton armé 14 cm) dans des bâtiments de type différent de construction font voir capacité d'isolation acoustique différente en fonction du rapport des rigidités cylindriques des murs et des planchers aux droits de leurs joints;
- en rapport des rigidités cylindriques des murs et des planchers de 1,2 à 1,7 diminue la transmission par les voies latérales 2 et 3 conformément aux exigences normatives.
- dans les bâtiments avec des dalles simples entre les étages l'isolation acoustique par voies indirectes est en pratique la même indépendamment de la direction horizontale ou verticale.
- l'influence des voies indirectes sur l'isolation acoustique augmente considérablement dans l'intervalle de moyennes et hautes fréquences et à cette cause la diminution de la masse des parois est inadmissible;
- dans les bâtiments modernes la quantité de l'énergie sonore transmise par voies indirectes est à peu près égale à celle transmise par voie directe; par exemple dans le cas des murs entre les appartements dont l'index d'isolation contre le bruit aérien correspond à la norme (51 dB) par voies indirectes sont transmis 38% environ de la capacité sonore totale et 62% - directement par la paroi; dans le cas de l'isolation acoustique de la paroi 52-53 dB, les capacités sonores transmises par voies directes et indirectes deviennent égales.



MIGNOT Thierry - DURABILITE ACOUSTIQUE

DURABILITE DE LA PROTECTION ACOUSTIQUE DES BATIMENTS.

MIGNOT Thierry

Architecte - acousticien

36, rue de l'Orangerie
78000 - VERSAILLES

L'isolation acoustique est actuellement conçue et réalisée pour répondre à des exigences réglementaires ou contractuelles au stade de la livraison des bâtiments, il n'est pas réellement tenu compte de l'évolution possible dans le temps des performances et par conséquent des critères de durabilité et d'entretien.

Le moyen d'investigation le plus sûr pour apprécier la possibilité de dégradation de l'isolation acoustique est l'observation de résultats de mesures acoustiques effectuées à plusieurs années d'intervalle, à des emplacements identiques n'ayant pas subi de transformations et dans des conditions de mesure semblables. De tels essais n'existent qu'en tout petit nombre, ils sont insuffisants pour pouvoir tirer des conclusions acceptables, ils permettent cependant d'ouvrir le débat. Par exemple :

- Mesures d'isolement aux aériens entre pièces superposées dans une opération près de Lille. L'intervalle de temps entre les mesures se situe entre 2 et 6 ans. Sur les 15 essais effectués 3 isolements sont meilleurs, 1 isolement n'a pas varié et 11 isolements se sont dégradés. Si l'on prend la précaution étant donné l'intervention de laboratoires différents, de ne considérer que les variations supérieures à la marge de tolérance de mesure, les 3 résultats qui subsistent présentent une dégradation de 5 et 7 dBA après 5 années et 4 dBA après 6 années.
- Mesures d'isolement vertical ou horizontal réalisées par un laboratoire de l'Equipement avec un intervalle de temps compris entre 2 et 5 ans. Sur 9 essais, 2 isolements se sont améliorés, 1 isolement n'a pas varié et 6 isolements se sont dégradés. Si l'on ne considère que les résultats supérieurs à 3 dBA, 8 essais sont à négliger et une seule mesure présente un déficit de 4 dBA après 3 ans et 4 mois.
- Quelques cas existent où la dégradation est manifeste, comme par exemple une réduction de l'isolement de 15 dBA à la suite de la déformation d'une façade légère filante.
- Vis à vis des bruits d'impact une importante étude a été effectuée par un institut de physique d'Allemagne de l'Ouest sur des planchers flottants. Sur l'ensemble des mesures effectuées après 3 ans



d'existence : 3% ont mis en évidence une perte d'isolement d'au moins 8 dB et 19% une perte d'au moins 5 dB.

- Un fabricant de plaques de gomme naturelle, dans lesquelles il est possible par découpage de confectionner des plots antivibratiles, présente dans sa documentation publicitaire des résultats de mesure de vibrations effectuées sur un socle flottant après 10 années d'utilisation. La perte d'efficacité exprimée en niveau d'accélération atteint un maximum de 17 et 22 dB sur les fréquences centrées sur 800 et 1250 Hz.
- En laboratoire cette fois, il ne s'agit donc pas de vieillissement naturel, un centre de recherche a effectué une campagne de mesure sur le bruit produit par 12 robinetteries à différents stades d'usure provoquée par la manoeuvre d'ouverture et de fermeture du robinet. Après 200 000 cycles de fonctionnement, la mesure étant effectuée à la moitié du débit du robinet, un résultat n'a pas varié, 8 robinets se sont améliorés de 1 à 16 dBA et 3 se sont dégradés de 6 à 7 dBA. Ces essais instructifs, étant donné que 200 000 cycles de fonctionnement correspondent approximativement à 10 années d'utilisation, ne reflètent cependant pas un usage en condition réelle c'est à dire l'étude de robinets soumis aux effets de l'entartrage et de la corrosion, surtout en eau chaude.
- Pour les ascenseurs, un laboratoire de l'Équipement a retrouvé dans ses archives 7 couples de mesures dans un intervalle de 1 à 2 ans. Les résultats sont divergents puisqu'il est constaté à la fois des améliorations pouvant aller jusqu'à 10 dBA ou des dégradations jusqu'à 4 dBA. L'importance des possibilités de réglage ou de dérèglement est démontrée ainsi que l'importance d'une maintenance acoustique qui se porte au delà de la seule vérification du bon fonctionnement mécanique.

Ces quelques exemples n'ont pas fait l'objet d'une analyse de vieillissement parcequ'il aurait fallu dès l'origine des mesures observer en détail les différentes voies de transmissions et avoir une description détaillée des ouvrages.

L'étude de l'évolution dans le temps des performances acoustiques doit se rapprocher de celle des modifications inhérentes aux constructions à savoir : les variations dimensionnelles, l'évolution chimique des matériaux et l'usure.

Rappelons que les ouvrages en béton font l'objet de déformations dues au fluage (de l'ordre du 100 e de mm/m/kg/cm²), que l'on considère comme achevé au 3/4 après un an de chargement, et sous l'effet des variations de température (de l'ordre du 100 e de mm/m/degé centigrade). Sous l'action de ces déformations et également sous l'effet de flexions différentielles des planchers, les maçonneries et les cloisons sont soumises à des contraintes tant verticales qu'horizontales de compression et de traction. En faisant varier la raideur et les conditions de liaison au bord des parois, on modifie leur comportement acoustique. A l'extrême, c'est à dire en passant d'un encastrement complet à une désolidarisation périphérique, il a été vérifié en laboratoire qu'une cloison légère en maçonnerie voit son indice d'affaiblissement acoustique augmenter de 3 à 5 dBA.



Parmi les matériaux dont l'organisation moléculaire subit des variations dans le temps par le seul contact avec l'environnement ambiant, l'élastomère est à cause de son utilisation croissante dans le bâtiment, largement concerné (calfeutrement, raccords, fourreaux, supports élastiques ...)

- la dégradation des joints d'étanchéité d'une menuiserie de façade peut entraîner une perte d'isolement de l'ordre de 5 à 10 dBA.
- un fourreau de colonne de chauffage n'assurant plus sa fonction d'étanchéité entre deux locaux superposés peut conduire à une perte d'isolement de l'ordre de 3 à 5 dBA.

L'évolution des performances acoustiques par l'usure concerne les revêtements de sol, par enlèvement de matière ou tassement de la sous-couche (la diminution d'un millimètre d'épaisseur du dossier correspond approximativement à une réduction de performance de 3 dBA) et l'ensemble des équipements en mouvement ou soumis à un mouvement. Par exemple le palier endommagé d'une pompe, bien que celle-ci puisse répondre encore un certain temps à sa fonction mécanique, peut augmenter de plus de 10 dBA le niveau de bruit produit dans un local voisin, un ventilateur peut voir avec le temps ses pales se charger de poussières et augmenter l'effet de balourd, un silencieux peut s'encrasser, l'obturation des pores du matériau absorbant réduisant les performances, les ventouses d'extraction de la V.M.C. peuvent elles aussi s'encrasser occasionnant une augmentation de la vitesse de passage de l'air et un sifflement etc ...

Citons enfin les dalles flottantes qui peuvent voir leur effet diminuer dans le temps pour différentes causes :

- perte des propriétés élastiques de la sous-couche par :
 - . écrasement des fibres ou des cellules
 - . dégradation chimique
 - . imprégnation liquide
- solidarisation de la dalle avec la structure environnante par :
 - . mouvement différentiel de la dalle ou du revêtement
 - . introduction de matières solides dans le relevé
 - . liaisons rigides établies par le mobilier.

Un laboratoire a mesuré plus de 10 dB de déficience à partir de 400 Hz pour un seul point de contact de la dalle et plus de 20 dB avec 10 points de contact.

Les bâtiments d'habitation collectifs font l'objet d'une exigence de protection acoustique minimale lorsqu'ils sont neufs, mais cette exigence n'est pas maintenue dans le temps.

Il est vivement souhaitable que l'on en sache un peu plus sur cette question de la durabilité à travers des observations systématiques de bâtiments en considérant bien que de faibles variations de performances ne sont pas à négliger. Il est en effet démontré que l'introduction de la tolérance de mesure de 3 dBA sur le seuil réglementaire d'isolement aux bruits aériens fait passer le taux de gêne de 8% à 22%.

Les résultats de la recherche permettraient d'orienter la conception des ouvrages afin que les dispositifs de protection acoustique à faible durée de vie puissent être remplacés sans dommage, de mettre en évidence l'intérêt d'un classement de durabilité liant la caractéris-



que acoustique à celle de l'usure, et d'établir les bases du carnet de santé acoustique type applicable à la maintenance des constructions.



LE BRUIT DANS LES INSTALLATIONS CENTRALES D'ADDUCTION D'EAU ET DE CHAUFFAGE

IONESCU Mariana - Cristina

Institut de Recherche du Bâtiment (INCERC)

266 , Sos.Pantelimon 73559 Bucarest - Roumanie

Les installations qui dotent les bâtiments d'habitations , dans le but d'augmenter le confort (adduction d'eau, chauffage central), peuvent être autant de sources de discomfort , à cause du bruit et des vibrations produites pendant leur fonctionnement .

Le bruit et les vibrations produites dans les centrales d'installations des bâtiments d'habitations à plusieurs étages représentent des facteurs polluants tant pour les travailleurs qui desservent ces installations que pour ceux qui habitent les immeubles en question .

Les principales causes de l'apparition du bruit et des vibrations dans les centrales d'installations sont : le fonctionnement des pompes électriques (dans ce cas , les facteurs fondamentaux étant , à la fois , de nature mécanique et hydraulique : commande , montage en paliers , variation de la pression et du débit) , leur mode de fondation , la configuration et le mode de fixation des conduites de transport , le montage des réservoirs de pression et le flux de l'eau dans les conduites .

Les bruits et les vibrations ainsi générées sont propagés par trois voies : aérienne , structurelle et hydraulique .

Les recherches qu'on a effectuées dans le laboratoire d'acoustique de l'Institut de Recherche du Bâtiment (INCERC) de Bucarest ont pour but l'analyse des possibilités de diminuer le bruit à la sources et l'étude de la propagation du bruit et des vibrations par voies aérienne et structurelle .

Pour diminuer le niveau du bruit aérien qui existe dans la centrale d'installations du sous-sol du laboratoire , on a carcassé une pompe électrique SADU avec des panneaux phono-absorbants en ouate minérale , dont l'épaisseur est de 5 cm , et on a isolé le réservoir tampon avec des panneaux en ouate minérale , protégés par une couche de plâtre (2-3 cm d'épais-



IONESCU Mariana-Cristina Le bruit dans les installations
centrales

seur), appliquée sur rabbitz .

La diminution du niveau de bruit aérien obtenue en adoptant ces solutions a été d'environ 12 dB(A) .

Pour analyser la possibilité de réduire le bruit propagé par les conduites , on a monté , dans la centrale d'installations , des raccords flexibles , avec une longueur de 0,5 à 1,5 , sur les conduites d'adduction et de réfolement des pompes électriques (fig.1) . Ces raccords sont exécutés en utilisant des tubes en caoutchouc (Ø 125-200 mm) armés avec des spirales d'acier (Ø 2-3 mm) et doublés à l'intérieur de caoutchouc blanc; ces raccords se comportent bien dans les conditions de circulation de l'eau chaude ($\theta = 60-70^{\circ} \text{C}$) et aux pressions de 4-8 atmosphères . Les raccords ont été montés horizontalement , à un écart , par rapport à la pompe , équivalant à 5-6 diamètres de la conduite, et ils sont soutenus à l'une des extrémités par un élément vertical monté sur le plancher par une couche intermédiaire en caoutchouc .

La diminution du niveau de bruit propagé dans les pièces du rez-de-chaussée a été de 6-9 dB(A) .

Les recherches expérimentales effectuées "in situ" ont eu comme premier but la comparaison des valeurs mesurées dans les centrales d'installations et dans les appartements avec les valeurs admissibles; pour les cas dans lesquels on a constaté que les limites admissibles ont été dépassées , les recherches ont établi les causes et les modalités de remède .

Les mesures ont été effectuées en 18 centrales d'installations (9 centrales d'adduction d'eau et 9 centrales de chauffage) .

Les résultats des mesures ont été comparés avec le niveau de bruit global /en dB(A)/ du bruit aérien propagé dans la centrale , déterminé par la relation :

$$L = 10 \lg P + 20 \lg n - 20 \lg r_c + K \quad (1)$$

où :

P = puissance nominale du moteur électrique (Kw) ;

n = nombre des tours par minute ;

r_c = distance de la source génératrice au point de mesure (m);

k = coefficient qui dépend des particularités constructives et technologiques .

En comparant les niveaux de bruit aérien mesurés avec ceux théoriquement calculés (voir fig.2) , on observe que certaines pompes électriques ont un fonctionnement normal , tandis que d'autres comportent un dépassement de 1-8 dB(A) par rapport



au niveau théorique ; ce dernier détail met en évidence le fait que ces outillages présentent des défauts mécaniques des sous-ensembles (rotor , accouplements , paliers etc.) .

En comparant les valeurs des niveaux de bruit mesurées dans les appartements (fig.3) avec celles mesurées dans les centrales d'installations , on a constaté que, dans les appartements séparés de leurs centrales par un étage du bâtiment , le bruit est propagé par la voie structurelle , tandis que, pour ceux situés à côté des centrales d'installations , la propagation du bruit a lieu par les deux voies: aérienne et structurelle .

Les résultats obtenus par la mise en pratique des différentes solutions ont mis en évidence les suivantes :

- les traitements phonoabsorbants dans la centrale d'installations (plafonds, parois) conduisent à la diminution du bruit aérien dans la centrale; ces traitements ne peuvent pas réduire le niveau de bruit dans les appartements séparés des centrales par un ou plusieurs étages parce que la propagation du bruit a lieu , dans ces cas , par la voie structurelle ;

- par le montage des raccords flexibles en caoutchouc , on a confirmé les résultats obtenus dans le laboratoire , la diminution du niveau de bruit en atteignant environ 5-7 dB(A) ;

- on a obtenu une diminution du niveau de bruit en appartements d'environ 4 dB(A) en détachant les conduites d'adduction d'eau et en les isolant à leur passage par les parois.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

1. IUDIN, E. Ia.: Isolation contre les bruits , Bucarest , 1968
2. IONESCU M.C.: Contributions sur la diminution du bruit et des vibrations produites dans les centrales d'installations situées dans les bâtiments , Thèse de doctorat , Iassy , 1982

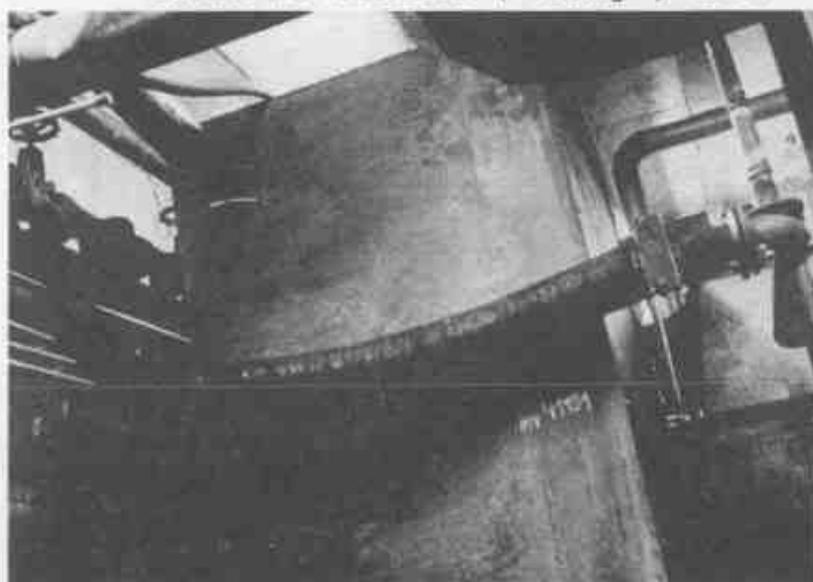


Fig.1. RACCORD FLEXIBLE EN CAOUTCHOUC

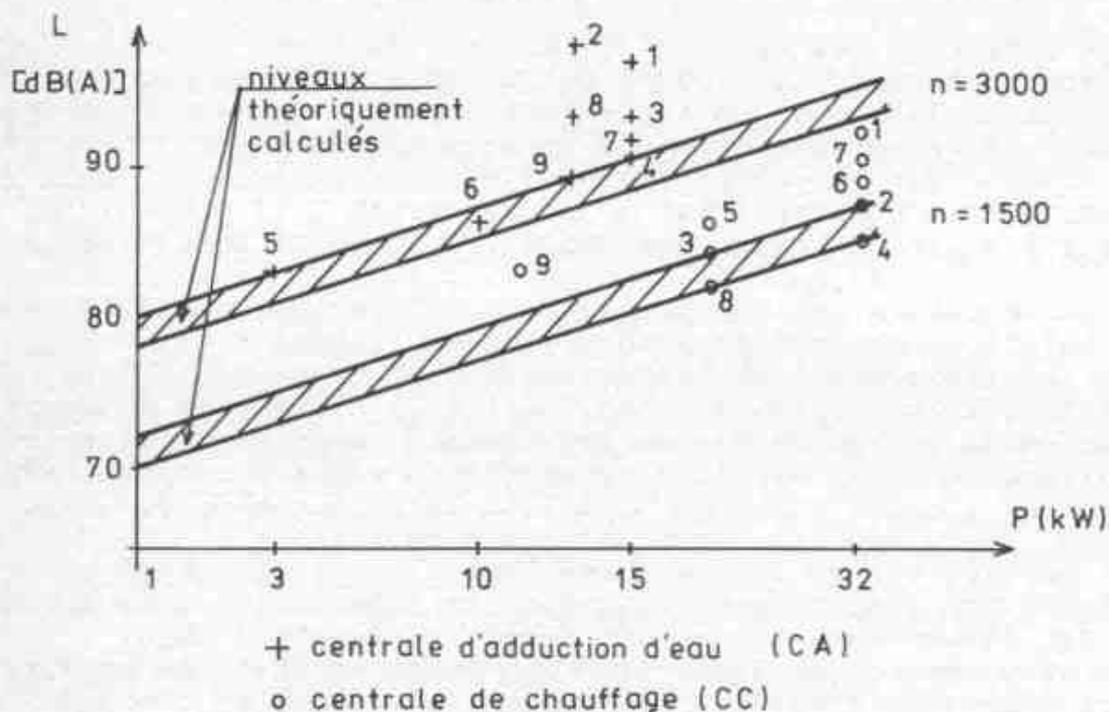
Fig.2. NIVEAUX DE BRUIT DANS LES CENTRALES
D'INSTALLATIONS

Fig.3. NIVEAUX DE BRUIT DANS LES APPARTEMENTS *

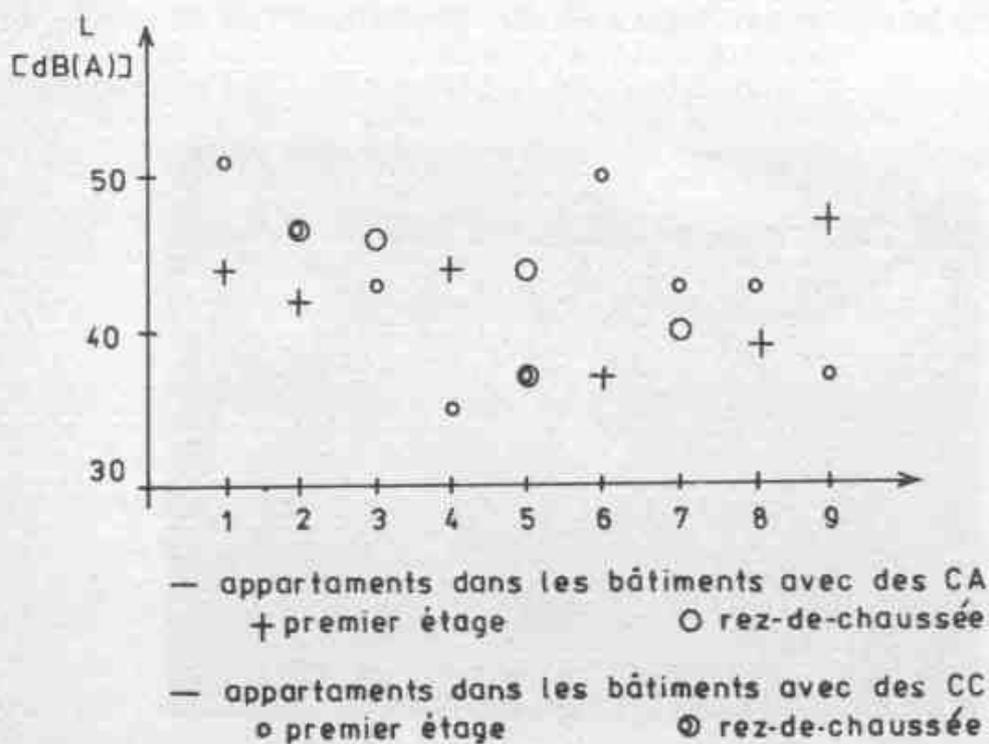
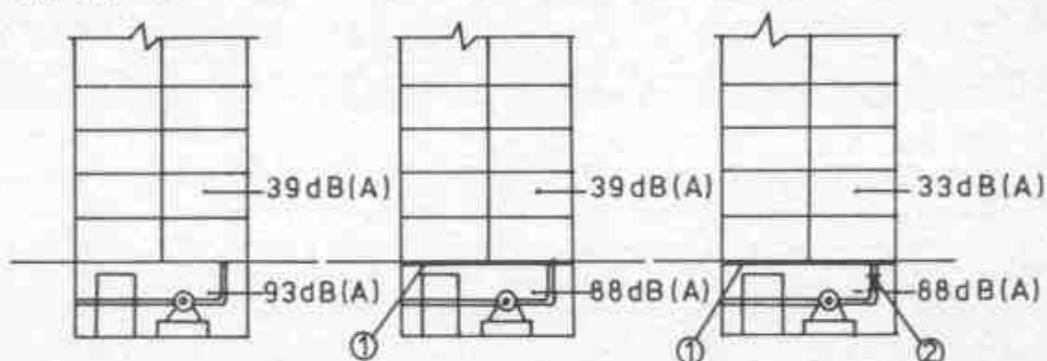
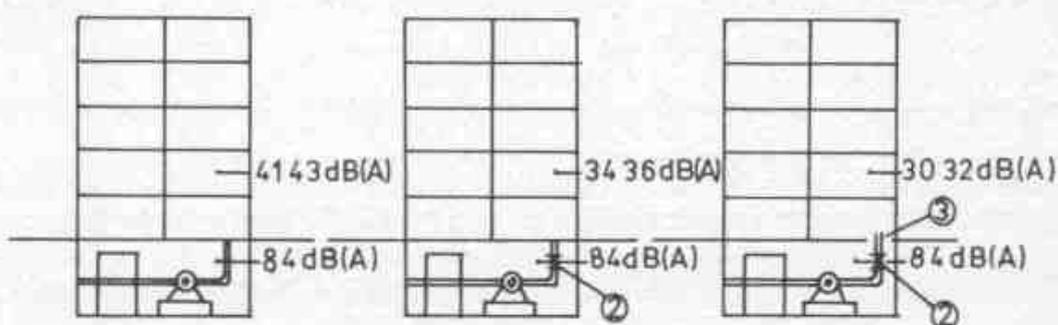


Fig. 4. MESURES DE DIMINUTION DU BRUIT DANS LES BATIMENTS
AVEC DES CENTRALES D'INSTALLATIONS

a) CA - 8



b) CC - 3



1. plafond phonoabsorbant;
2. raccord flexible;
3. détachement et isolation des conduites.

7.5 - 7.6

Transports terrestres et aériens
Ground transport and aircraft noise
Landverkehr und Luftverkehr

EMISSION ACOUSTIQUE DE VEHICULES ROUTIERS EN TRAFIC REEL ET SOUS CONDITIONS
CONTROLEES

A. GERMON - J-P SIRIEYS **

B. FAVRE ***

** commins-bbm
33, rue des Petits Ruisseaux
91370 VERRIERES LE BUISSON
FRANCE

*** I.R.T. - C.E.R.N.E.
109, avenue Salvador Allende
BP 75
69672 BRON CEDEX
FRANCE

1 - INTRODUCTION

Une campagne d'acquisition de données acoustiques concernant plus de deux milles véhicules routiers en trafic réel ainsi que sur cinq véhicules sur piste d'essai a été réalisée par commins-bbm, dans le cadre des études que mène l'IRT-CERNE sur le bruit des véhicules routiers. Les buts recherchés étaient essentiellement :

- d'enrichir les données existantes,
- de déterminer les lois de variation du bruit en fonction de différents paramètres des véhicules du parc automobile,
- d'affiner la connaissance des véhicules en tant que source sonore par une analyse conjointe du niveau maximum et du niveau équivalent court mesurés simultanément.

2 - ACQUISITION DES DONNEES

2.1. EN TRAFIC REEL

On a acquis, pour plus de 2000 véhicules pris au hasard dans des conditions de trafic réel, les données suivantes : Leq(10 secondes) en dB(A), niveau maximum en dB(A) (avec constante de temps "rapide"), vitesse, cliché photographique, annotation sur le type de véhicule, son allure, sa position par rapport à la voie, ses particularités. La position du microphone - placé toujours du côté droit - par rapport aux véhicules, ainsi que les conditions de mesure, étaient aussi proches que possible de celles de la recommandation ISO/R 382. Afin de couvrir une large gamme de vitesse (30 à 150 km/h), 10 sites ont été choisis, certains rapides d'autres lents (l'homogénéité des résultats entre les sites a été vérifiée).

Sur l'ensemble des mesures, près de 1500 échantillons ont fait l'objet d'une acquisition directe du Leq(10 s.) et du Lmax sur le terrain à l'aide d'un analyseur type BK 4426 tandis que près de 700 ont fait l'objet d'enregistrements magnétiques à traiter en laboratoire.

Les données ainsi obtenues ont été ensuite stockées sur cassette magnétique digitale. Le Leq(10 s.) a fait l'objet d'une correction en 10 log (distance) et le Lmax d'une correction en 20 log (distance) pour les rapporter à une distance de 7,5 m entre l'axe du véhicule et le microphone. Chaque véhicule a été identifié par un code permettant d'avoir accès au modèle même, à sa classe (bas, milieu, haut de gamme), à son genre (VL, PL, 2 roues), à sa marque.



2.2. SOUS CONDITIONS CONTROLEES

Ces mesures ont porté sur cinq véhicules différents : Renault R5, Renault R18, Peugeot 505 SR, Simca 1307 GLS, fourgon Citroën C35 LD. Les tests ont été effectués sur une piste d'essai, dans des conditions aussi proches que possible de celles de la Recommandation ISO/R 362 (côté droit et côté gauche pour la plupart). Divers types d'essais ont été réalisés : test ISO d'accélération, passages à vitesse constante pour chaque rapport de boîte de vitesses et pour la gamme des vitesses compatible avec ce rapport entre 10 et 90 km/h environ, passages moteur coupé (bruit de roulement) entre 30 et 90 km/h environ, bruit au point fixe pour divers régimes-moteur, essais de démarrage.

L'ensemble des essais a fait l'objet d'enregistrements magnétiques à dépouiller en laboratoire. De plus, la vitesse du véhicule lors de son passage devant le microphone a été relevée.

Les essais en mouvement ont seuls été dépouillés à l'heure actuelle, en terme de $L_{eq}(10\text{ s.})$ et de L_{max} . Les données obtenues ont été stockées sur cassette magnétique digitale de façon à permettre l'accès à chaque véhicule, rapport de boîte, gamme de vitesse, etc.

3 - EXPLOITATION DES DONNEES

3.1. ANALYSES EFFECTUEES

On a procédé à des analyses de régression des trois quantités suivantes : $L_{eq}(10\text{ s.})$, L_{max} , $F(V) = L_{eq} + 10 \log V - L_{max}$ - en fonction de la vitesse V pour un grand nombre de familles de véhicules, par modèle, par classe, par genre à partir de l'ensemble des données obtenues en conditions de trafic réel.

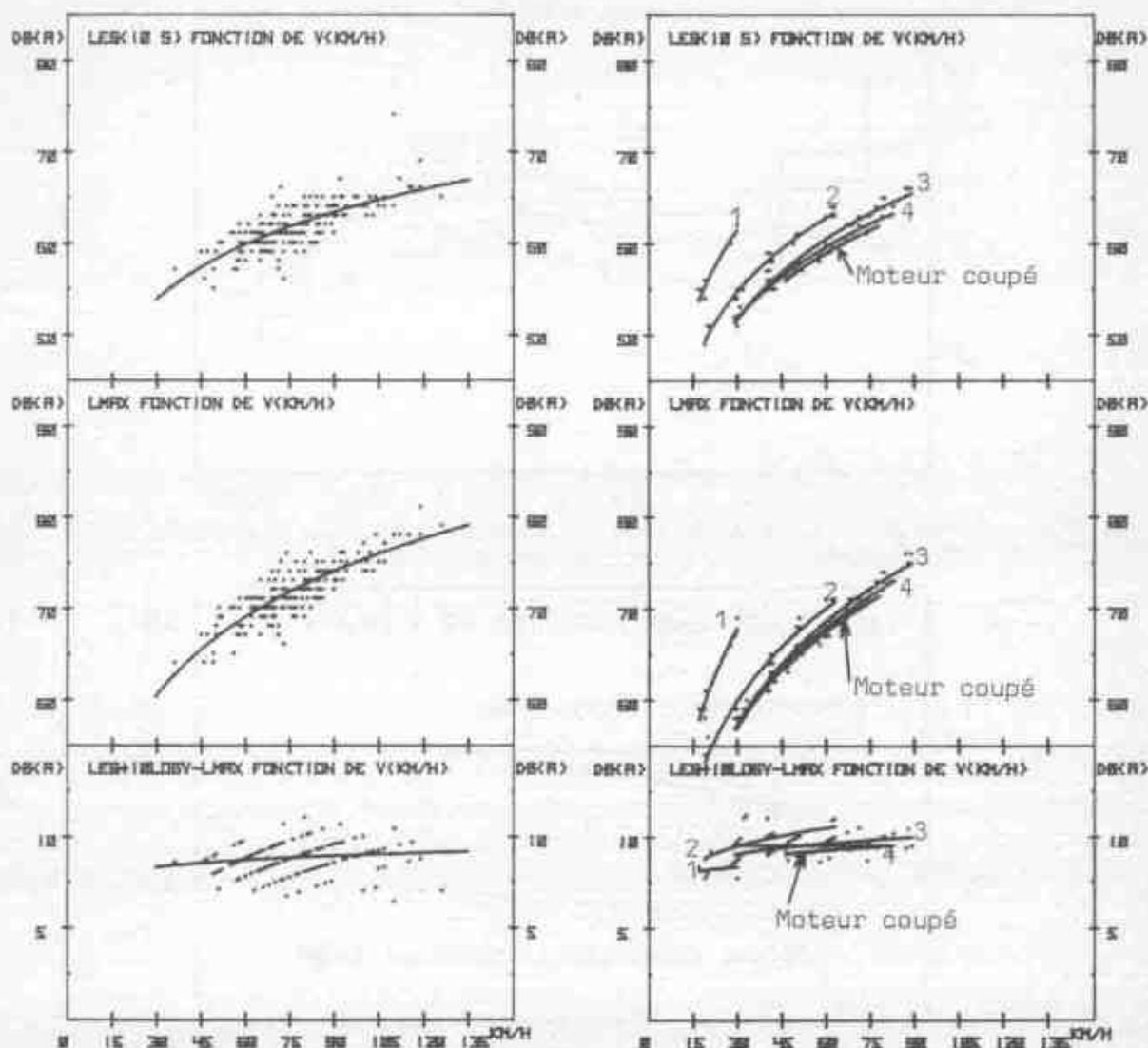
Le même type d'analyse a été effectué pour chaque rapport de boîte de vitesses, ainsi que moteur coupé pour les cinq véhicules essayés en conditions contrôlées. La figure 1 montre un exemple des résultats que l'on a pu obtenir par ce type de traitement.

Par la suite, à partir des enregistrements magnétiques, on a procédé à des dépouillements en termes de $L_{eq}(10\text{ s.})$ et L_{max} par bande de tiers d'octave (entre 25 Hz et 4000 Hz) pour plusieurs familles de véhicules en conditions de trafic réel, ainsi que pour les R18, R5 et 505 en conditions contrôlées. Le même type d'analyse de régression a ensuite été effectué à partir de ces données pour chaque bande de tiers d'octave. La figure 2 montre par exemple l'évolution de L_{max} par bande de tiers d'octave avec la vitesse, pour la Renault 5, obtenue à partir des mesures en trafic réel.

3.2. COMMENTAIRES

L'examen de la figure 1 montre l'évolution du $L_{eq}(10\text{ s.})$ et du L_{max} en fonction de la vitesse et permet de comparer le comportement en trafic réel aux courbes obtenues dans les différents rapports de boîte. De plus, on constate sur la figure 1b la forte influence du bruit lié au moteur dans les premiers rapports de boîte et l'importance du bruit de roulement en quatrième. La comparaison des différentes familles de véhicules permet d'étudier des phénomènes tels que l'évolution des niveaux de bruit lors des remplacements de modèle ou en fonction de la classe de véhicule considéré, etc. (1). Des enseignements du même type peuvent être tirés des résultats d'analyse en tiers d'octave (2,3).

Outre l'intérêt que représente la mesure de L_{max} et de $L_{eq}(10\text{ s.})$ simultanés pour le type d'analyse cité ci-dessus, on peut, en examinant les



a) en trafic réel, 202 véhicules

b) sous conditions contrôlées

FIGURE 1 : Analyse de régression effectuée sur la Renault R5

relations entre ces deux grandeurs, préciser l'intérêt et les limites du modèle monopolaire pour caractériser la directivité de la source de bruit que constitue le véhicule routier et en déduire la puissance acoustique du véhicule. La comparaison porte sur la quantité $F(V) = Leq(10 s.) + LogV + Lmax$ déjà mentionnée. La valeur de $F(V)$ varie selon le type de source considéré comme le montre la figure 3. Celle-ci présente les courbes théoriques obtenues en attribuant au véhicule la directivité soit d'un monopole, soit d'un dipôle orienté co-axialement, soit d'un dipôle orienté normalement à l'axe de déplacement du véhicule, avec des hypothèses simplifiées (pas d'effet Doppler, ni d'effet de sol) (4). Si on prend en compte des hypothèses moins restrictives, les fonctions représentées sur la figure 3 augmentent plus rapidement avec la vitesse (5).

En comparant les valeurs de $F(V)$ mesurées (cf figure 1a) aux valeurs calculées (cf figure 3), on constate que le modèle monopolaire est celui qui approche le mieux les résultats de mesure. Par suite, on peut évaluer la puissance acoustique du véhicule par la relation : $L_w = Lmax + 25,5$ dB.

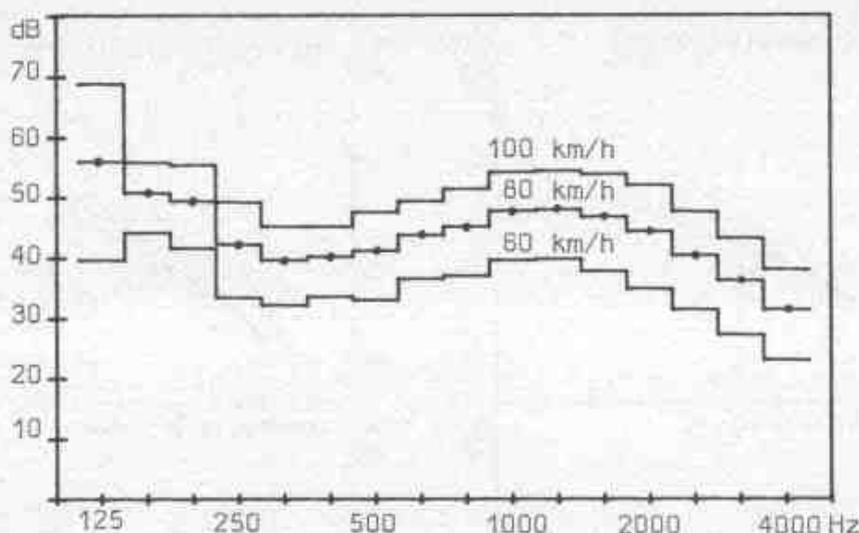


FIGURE 2 : Renault R5 en trafic réel - Evolution du Lmax par bande de 1/3 d'octave avec la vitesse du véhicule

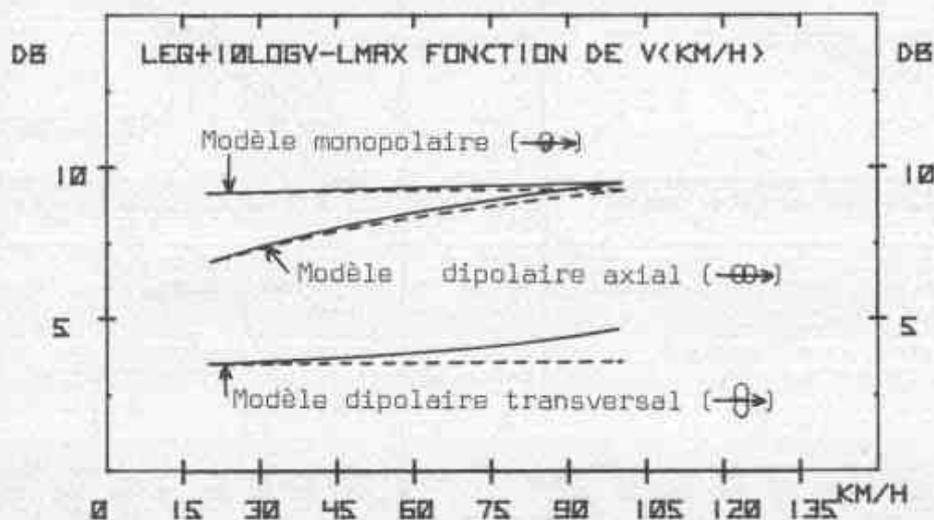


FIGURE 3 : Valeurs de la fonction $F(V)$ obtenues pour différentes modélisations de la directivité d'un véhicule :

- Lmax théorique
- Lmax obtenu avec la constante de temps "rapide"

REFERENCES

1. A. GERMON, J-P SIRIEYS, Etude de l'émission acoustique de véhicules routiers - rapport commins-bbm n° 35 (juillet 1981)
- 2.-3. A. GERMON, J-P SIRIEYS, Etude de l'environnement acoustique de véhicules routiers ; analyse en bandes de tiers d'octave - rapports commins-bbm n° 45 (février 1982), n° 47 (juillet 1982)
4. B. FAVRE, Emission sonore des véhicules routiers - 1 : Evaluation de quelques modèles simples - rapport IRT-CERNE (octobre 1982)
5. B. FAVRE, B. GRAS, Emission sonore des véhicules routiers - 2 : reconstitution de la signature acoustique - rapport IRT-CERNE (janvier 1983)



DETERMINATION DES RELATIONS ENTRE LE BRUIT EMIS PAR LES VEHICULES ROUTIERS ET LE BRUIT RECU EN FACADE D'HABITATION. APPLICATION A L'ENSEMBLE D'UN SITE URBAIN.

Bernard FAVRÉ, Jean-Claude BRUYERE, Philippe ROUILLE

IRT-CERNE

109, avenue Salvador Allende B.P. 75 69672 BRON CEDEX FRANCE

1 - INTRODUCTION :

Le développement de méthodes adaptées à l'évaluation et à la réduction de l'impact du bruit de circulation routière implique une bonne connaissance des relations entre les émissions de bruit des véhicules d'une part, l'impact du bruit routier sur les populations riveraines d'autre part.

Les émissions de bruit des véhicules routiers sont contrôlées dans les conditions réglementaires spécifiées dans le Marché Commun par la directive communautaire C.E.E. 70/157 : ce sont des conditions voisines du point de régime de puissance maximum et de pleine charge du moteur. Toutefois, en conditions réelles de circulation, le bruit réellement émis est plus ou moins différent, selon les véhicules et les types de circulation, du bruit émis en condition réglementaire.

L'impact du bruit sur les populations dépend de la nature du bruit reçu, du type de voie et de tissu urbain, de la composition du trafic ; on le quantifie généralement, pour les trafics soutenus, par un indice acoustique caractérisant le bruit moyen reçu sur la façade extérieure de l'habitation (Leq_A 8^h - 20^h en France). En complément, des indices basés sur les niveaux maximums instantanés et/ou sur les fluctuations de bruit peuvent être associés.

Pour mieux quantifier ces relations, l'IRT-CERNE a développé une méthode basée sur l'observation du comportement cinématique et acoustique de véhicules instrumentés insérés dans le trafic ; les principes de cette méthode ont été exposés en /1/. On présente ici l'application de la méthode à l'analyse acoustique de l'ensemble d'un site urbain retenu comme site pilote pour son évaluation.

2 - PLAN EXPERIMENTAL

Il comporte :

- a) le choix d'un site urbain dont la représentativité a pu être évaluée.
- b) le choix d'un itinéraire,
- c) le choix de véhicules représentatifs du parc.



B. FAVRE, J.C. BRUYERE, P. ROUILLE

Site pilote retenu

Le site a une superficie de 2 km² environ. Il est situé dans le centre de la ville de Lyon, et comporte un tissu urbain d'immeubles d'habitation de 2 à 6 étages, séparés par des rues en "U" (bordées de façades approximativement verticales et continues). On a effectué une analyse fine du tissu ainsi que des voies, qui peuvent être classées, d'après une typologie préconisée par le CETUR /2/, en voies artérielles, de distribution, et de desserte.

L'itinéraire retenu, d'une longueur d'environ 6 km, emprunte, sous la forme d'un circuit fermé, les trois types de voies, et traverse l'ensemble du tissu.

Véhicules représentatifs retenus

Les véhicules utilisés ont été retenus comme représentatifs du parc européen au titre de leurs caractéristiques cinématiques et acoustiques. Il s'agit :

a) de trois voitures automobiles : R5 Renault (gamme basse), R 18 Renault (gamme moyenne), 505 Peugeot (gamme haute).

b) de deux véhicules utilitaires : J9 Peugeot, Trafic Renault.

Des mesures de bruit en chambre sourde et sur piste d'essais ont permis de déterminer leurs caractéristiques acoustiques pour chaque point de fonctionnement du véhicule : spectre de bruit, puissance acoustique pour le bruit mécanique et le bruit de roulement. On a pu montrer que chaque véhicule pouvait être considéré, en première approximation, comme une source ponctuelle et omnidirectionnelle.

Etude acoustique du site

Le programme de calcul "BRUIT" /3/, adapté à l'étude des sources ponctuelles, a été utilisé pour le calcul des atténuations a_i (s) entre différents points de réception R_i répartis sur le site, et les différents points sources disséminés le long de l'itinéraire, d'abscisse s . On a retenu un nombre de 450 récepteurs, positionnés en façade des habitations du site, de manière régulière dans les rues empruntées par l'itinéraire d'une part, dans les rues transversales d'autre part.

Enregistrements cinématiques

Chaque véhicule a parcouru l'itinéraire au cours de 2 périodes : 9 h-11 h et 14 h-17 h (jour) ; 20 h-24 h (soirée), de 10 à 30 fois par période. L'enregistrement en continu, à l'aide d'instrumentation embarquée, de la vitesse, du régime moteur, et de la position le long de l'itinéraire, permet de reconstituer, en fonction du temps et de l'abscisse curviligne, le comportement cinématique et acoustique du véhicule. On peut en conséquence calculer la signature acoustique du véhicule pour chaque récepteur du site, et déterminer les indices acoustiques correspondants, pondérés ou non par les trafics des voies parcourues. Ce calcul fait intervenir la puissance acoustique instantanée du véhicule, et l'atténuation instantanée entre le véhicule et les différents récepteurs, avec $p_i^2(t) = W(t) \cdot a_i(s(t))$.



B. FAVRE, J.C. BRUYERE, P. ROUILLE

3 - RESULTATS

L'étude fournit par véhicule, par type de voie, par type de tissu et par période de temps :

- la détermination des allures de l'espace {vitesse, accélération} les plus fréquentes : la figure 1(a) montre la fréquence temporelle et spatiale des allures de la 505, circulant de jour, pour les différentes classes de vitesse et d'accélération. Les distributions dépendent très peu des véhicules, mais beaucoup du type de voie et de l'heure de circulation.

- la détermination des allures les plus émissives pour ce qui est du bruit mécanique, du bruit de roulement, ou du bruit total. Le bruit mécanique concerne essentiellement les allures d'accélération positive, quelle que soit la vitesse. Il dépend peu du type de voie et de l'heure de circulation ; il dépend davantage du type de véhicule. Le bruit de roulement concerne les allures de vitesse importante, quelle que soit l'accélération. Il dépend peu du type de véhicule, mais dépend de l'heure de circulation et surtout du type de voie.

- la détermination des allures les plus sensibles en ce qui concerne le bruit reçu en façade, selon les niveaux de pic $L_{p_{max}}$, ou selon les niveaux énergétiques Leq_A . La figure 1(b) montre leur fréquence pour la 505, de jour. On constate que les allures intervenant principalement ne sont pas vraiment les mêmes au sens des deux indices. Pour $L_{p_{max}}$, il s'agit surtout des pointes d'accélération, tandis que pour Leq les allures sont assez réparties et plus comparables à celles relatives à la puissance émise. Les répartitions dépendent beaucoup du type de voie et de l'heure de circulation, moins du véhicule, peu du tissu urbain (pour le site étudié).

Parmi les autres résultats, on peut évoquer l'importance respective du bruit mécanique et du bruit de roulement selon les voies (figure 2), la nuisance des diverses catégories de véhicules (tableau 1), la détermination des portions d'itinéraire les plus émissives notamment. Ces résultats peuvent être pondérés par l'ensemble des véhicules du trafic. Il est envisagé de développer cette méthode pour analyser d'autres types de sites également représentatifs du tissu urbanisé.

Véhicule	Leq 1 heure		Lp max	
	jour	soirée	jour	soirée
R 5	35.1	35.5	66.6	67.2
R 18	37.4	37.8	69.1	69.4
505	38.9	38.6	70.9	70.6

Tableau 1 : Valeur moyenne, sur l'ensemble des récepteurs du site, de Leq et $L_{p_{max}}$ pour les 3 catégories de voitures particulières utilisées.

Références :

- /1/ - B. FAVRE - Relation between noise emitted by moving road vehicles and noise received by near-by residents - *Internoise 81* - Amsterdam.
- /2/ - Arrêté de la Direction de la Construction (France) - 6 Octobre 1978.
- /3/ - Programme de calcul automatique des niveaux sonores dus à la circulation routière "BRUIT". CETUR - IRT-CERNE - Juin 1980.



B. FAVRE, J.C. BRUYERE, P. KOUILLE

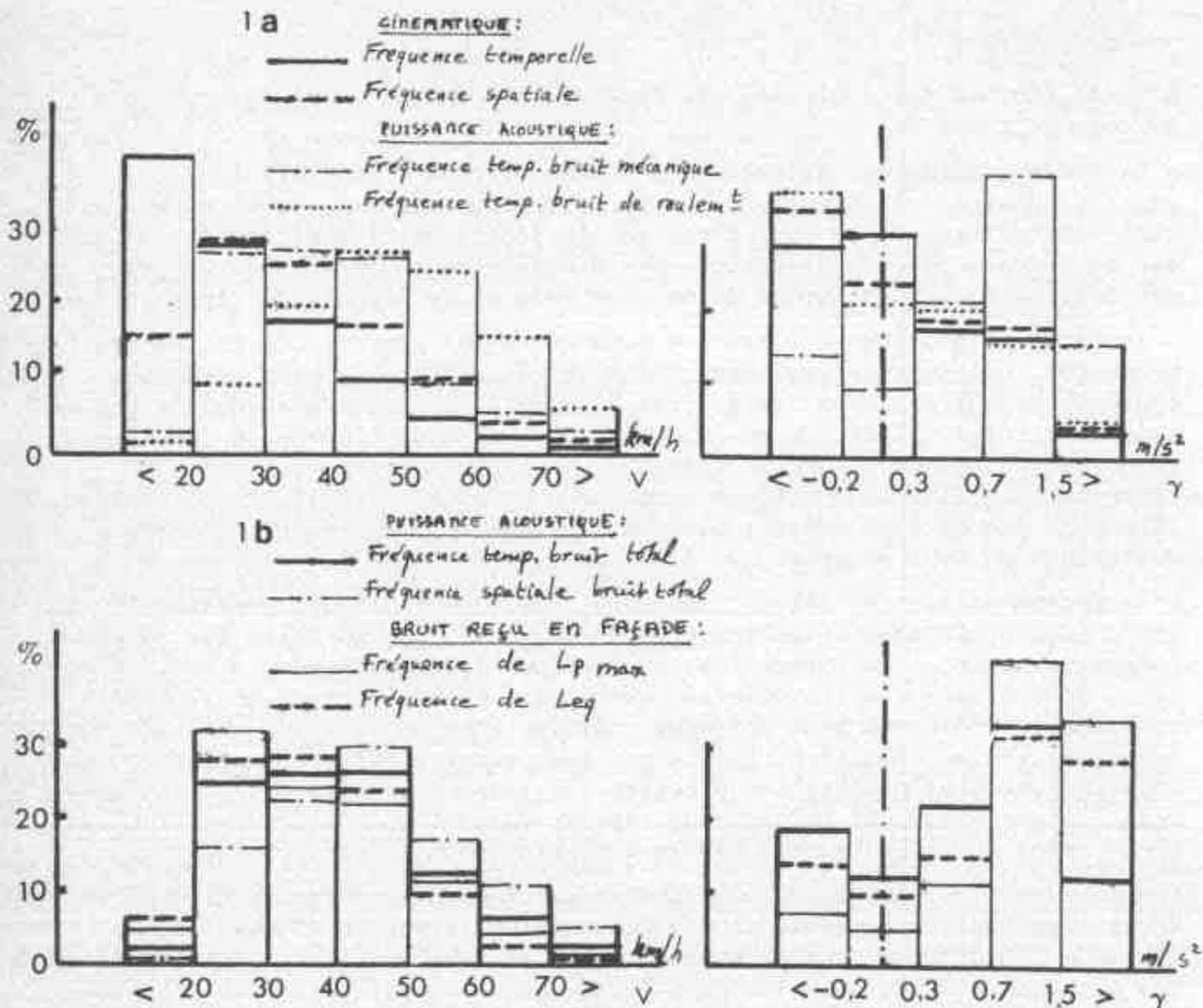


Figure 1 : Histogrammes dans l'espace {vitesse, accélération} pour le véhicule 505 circulant sur l'itinéraire, de jour.

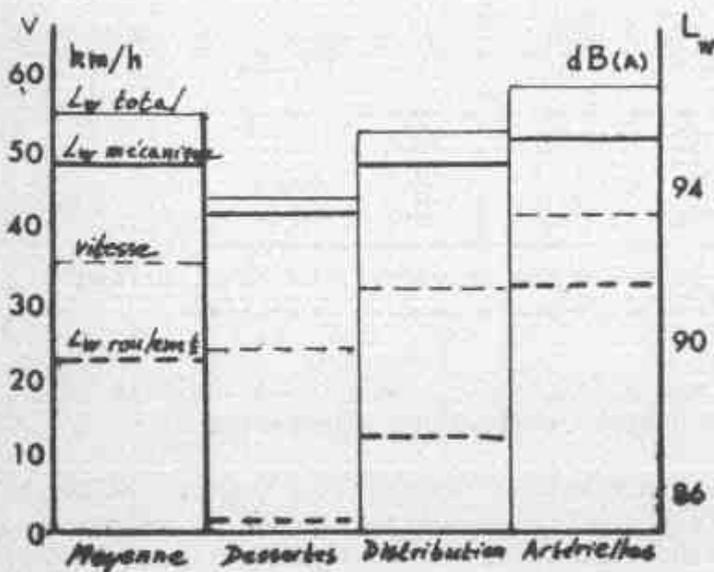


Figure 2 : Variation de la vitesse et de la puissance acoustique de la 505 circulant de jour, selon le type de voie parcourue.



DESCRIPTION DU CHAMP SONORE DANS LES TUNNELS ROUTIERS

J. LECLERC,
Assistant au Service d'Electroacoustique

Université de Liège,
Institut Montefiore,
Campus universitaire, Bât. B 28,
B - 4000 LIEGE (Sart-Tilman) (BELGIQUE)

INTRODUCTION

L'architecture de l'infrastructure routière met quelquefois l'acousticien en présence de situations particulières. C'est le cas, par exemple, des tunnels routiers qui peuvent engendrer pour les riverains une gêne supplémentaire due à la réverbération des ondes sonores sur des parois en général peu absorbantes.

La description du champ sonore réverbéré à l'intérieur d'un tunnel en fonction de ses paramètres géométriques et acoustiques laisse entrevoir la possibilité d'évaluer les réductions du niveau de bruit dans le voisinage des extrémités du tunnel en fonction d'un traitement acoustique donné de ses parois.

PRINCIPE DE LA METHODE UTILISEE

La description du champ réverbéré est obtenue à partir de la méthode des sources-images qui assimile la propagation des ondes sonores à celle d'un ensemble de rayons à comportement sphérique, c'est-à-dire dont l'intensité décroît suivant une expression du type

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

où W est la puissance de la source

r est la distance parcourue par le rayon sonore.

Les réflexions obéissent aux lois de l'optique géométrique et la source sonore est supposée ponctuelle et omnidirectionnelle.

Dans le cas particulier d'un tunnel, toutes les sources-images sont situées dans le plan perpendiculaire à l'axe longitudinal passant par la source et on peut montrer qu'à l'ordre n , elles sont au nombre de $4n$.

La sommation infinie des intensités des différents rayons définit le champ réverbéré au point de réception.

LIBRE PARCOURS MOYEN

Le calcul du champ réverbéré dû aux réflexions d'ordre 1 à N requiert la détermination de $2N.(N+1)$ sources-images, ce qui implique le recours à l'ordinateur.



Notre but étant d'arriver à une formulation simple et aisément manipulable, deux hypothèses supplémentaires sont nécessaires. Premièrement, tous les rayons subissant un nombre n de réflexions entre la source S et le récepteur R , sont supposés parcourir une même distance moyenne LM_n (le libre parcours moyen). L'intensité réverbérée en R due aux réflexions d'ordre n s'écrit donc :

$$I_{Rn} = W \frac{4n(1-\alpha)^n \exp[-m(n+1)LM_n]}{4\pi [(n+1)LM_n]^2}$$

- où - $W = 4\pi I$ est la puissance de la source S
 - α est le coefficient d'absorption des parois
 - m est le coefficient d'atténuation par l'air
 - LM_n est le libre parcours moyen relatif à l'ordre n
 - $(n+1)$ traduit le fait qu'un rayon subissant n réflexions est formé de $(n+1)$ segments.

L'intensité réverbérée totale est alors égale à :

$$I_R = \sum_{n=1}^{\infty} I_{Rn} = I \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4n(1-\alpha)^n \exp[-m(n+1)LM_n]}{[(n+1)LM_n]^2}$$

Si cette première hypothèse conduit à une erreur négligeable (rarement supérieure à 0.5 dB), la seconde hypothèse va limiter la validité de l'expression obtenue à des tunnels dont la longueur n excède par un certain multiple de la diagonale de la section (ce multiple est de l'ordre de 4). Elle consiste à supposer que le libre parcours moyen est indépendant de l'ordre de réflexion et donc que :

$$LM_n = \text{constante pour tout } n.$$

Dans les limites qui viennent d'être précisées, cette constante est égale à la moitié de la diagonale de la section, avec une erreur moyenne inférieure à 10%, pour autant que la longueur L du tunnel soit égale au double de ce libre parcours moyen,

$$(\text{soit } L = \sqrt{A^2+B^2})$$

INTENSITE REVERBEREE TOTALE

Moyennant les hypothèses simplificatrices précitées, l'intensité réverbérée totale s'exprime par :

$$I_R = I \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4n(1-\alpha)^n \exp[-m(n+1)LM]}{[(n+1)LM]^2}$$

$$\text{soit, si } LM = \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}$$

- où - A est la largeur du tunnel
 - B est la hauteur du tunnel



$$I_R = \frac{16 I \exp\left[-m \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right]}{A^2+B^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(1-\alpha)^n \exp\left[-mn \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right]}{(n+1)^2}$$

En posant $q = (1-\alpha) \exp\left(-m \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right)$, on obtient :

$$I_R = \frac{16 I \exp\left[-m \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right]}{A^2+B^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nq^n}{(n+1)^2}$$

La somme $S = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nq^n}{(n+1)^2}$ peut être calculée numériquement et tabulée en fonction de q .

En imaginant qu'un tunnel de longueur L quelconque est composé d'une succession de tunnels de longueur égale à

$$\frac{L}{\sqrt{A^2+B^2}}$$

on obtient finalement, en posant :

$$K = \frac{16 \exp\left(-m \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right)}{A^2+B^2}$$

$$\frac{I_R}{I} = (K.S)^{L/\sqrt{A^2+B^2}}$$

GAIN OBTENU PAR TRAITEMENT ACOUSTIQUE

Soit un traitement acoustique portant sur une longueur L' , tel que le nouveau coefficient d'absorption de ce tronçon soit égal à α' .

En posant $q' = (1-\alpha') \exp\left(-m \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2}\right)$ et $S' = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{nq'^n}{(n+1)^2}$, on a :

$$\frac{I'_R}{I_R} = (K.S)^{\frac{L-L'}{\sqrt{A^2+B^2}}} \cdot (K.S')^{L'/\sqrt{A^2+B^2}}$$

Le gain au point de réception, en dB, s'exprime donc par :

$$G = 10 \log \frac{I_R}{I'_R} = 10 \log \left(\frac{S}{S'}\right)^{L'/\sqrt{A^2+B^2}}$$



Soit
$$G = \frac{10L'}{\sqrt{A^2+B^2}} \log \frac{S}{S'} \text{ dB}$$

Cette formule peut être généralisée à une ligne continue de sources sonores de même puissance. On trouve :

$$G = 10 \log \frac{Q^L - 1}{Q^{L-L'} \cdot Q'^{L'} + Q'^{L'} \left(\frac{\ln Q}{\ln Q'} - 1 \right) - \frac{\ln Q}{\ln Q'}}$$

avec $Q = (K S)^{1/\sqrt{A^2+B^2}}$ et $Q' = (K S')^{1/\sqrt{A^2+B^2}}$

Exemple numérique

Considérons un tunnel de section 5 x 10 m, de longueur égale à 50 m.

Au départ, $\alpha = 0.03$ et on traite acoustiquement un tronçon de 10 m, tel que $\alpha' = 0.2$.

Nous envisagerons deux valeurs du coefficient m pour montrer son influence sur le gain réalisable:

$$m = 10^{-4} \text{ et } m = 10^{-2}$$

Source unique : $\alpha' = 0.2$ $m = 10^{-4}$ $G = 4.3 \text{ dB}$

$m = 10^{-2}$ $G = 3.1 \text{ dB}$

File continue

de sources : $\alpha' = 0.2$ $m = 10^{-4}$ $G = 2.6 \text{ dB}$

$m = 10^{-2}$ $G = 1.5 \text{ dB}$

CONCLUSIONS

La théorie des sources-images s'avère être un outil efficace pour décrire le champ sonore à l'intérieur des tunnels routiers.

Les simplifications ayant conduit à notre formulation peuvent être partiellement levées par une meilleure approximation du libre parcours moyen et de la longueur de tunnel minimisant ses variations en fonction de l'ordre de réflexion.

Il n'empêche que la correspondance entre les valeurs prévues et mesurées sur modèle réduit est d'ores et déjà très satisfaisante.



PROTECTIONS CONTRE LE BRUIT DES ROUTES : LES ECRANS ACOUSTIQUES

BAR Pascal

CETUR - Ministère des Transports
8, Avenue Aristide Briand - 92220 - BAGNEUX -

1/- Introduction

Le premier écran acoustique a été réalisé en France en 1972 en bordure ouest des autoroutes A6 - B6, dans la commune de l'Hay-les-Roses. Conçu pour un autre site, il ne protège qu'une partie des bâtiments, mais cet écran expérimental a servi à mettre au point nos modèles de calcul d'efficacité, les procédés de construction et de mise en oeuvre développés ultérieurement.

De 1973 à 1975, tous les matériaux ont été testés, des ouvrages exceptionnels ont été construits (mur Est de l'Hay-les-Roses), les approches esthétiques ont été explorées. Depuis 1975, les principales difficultés de conception et d'implantation des écrans ont été résolues : écrans sur ouvrages en crête de remblais, sur murs de soutènement, sur buttes, couvertures partielles ou totales des chaussées.

2/- Dimensionnement - Implantation

Les dimensions des écrans (hauteur, longueur) et leur implantation précise dans le site sont réalisées sur la base d'études théoriques placées sous la responsabilité du Maître d'Ouvrage.

- Hauteur : calculée à partir de l'étude de la diffraction. Différents modèles sont utilisés : abaques de Maekawa, et abaque de Rapin (CSTB), intégrés dans des programmes automatiques de calcul (programme Bruit du CETUR), ou bien simulations sur maquette au Centre du CSTB de Grenoble. Un nouveau programme très précis et performant basé sur la théorie géométrique de la diffraction (développée par Keller) est en cours de mise au point au CETUR.
- Longueur : calculée à partir des modèles d'extension finie. Bien souvent, cette notion est prépondérante sur l'efficacité de l'écran.

Ces méthodes ont été formulées dans un des fascicules du Guide du Bruit : Prévision des niveaux sonores (6).



3/- Recommandations techniques pour la réalisation des écrans acoustiques

L'ensemble des règles pour la construction des écrans sont également formulées dans le Guide du Bruit (4) et (5). Elles portent sur :

- . les exigences liées à l'acoustique : choix des matériaux, implantation optimale par rapport au site à protéger, traitement de l'arête de diffraction, interruption et recouvrements minimaux, traitement des extrémités, réflexions parasites, étanchéité de l'ensemble des dispositifs à la transmission.
- . les dispositions constructives générales liées à tous ouvrages implantés en bordure de voies routières : stabilité propre de l'écran, sécurité à l'égard des véhicules, effet de paroi, risques d'éblouissement, communications, incendie, entretien, contraintes et possibilités de traitement esthétique.

3.1. Choix de matériaux :

Après le choix de dimensions (hauteur, longueur), les seuls éléments intrinsèques à l'écran qui en déterminent l'efficacité sont la transmission d'une part, le couple réflexion-absorption d'autre part. Les recommandations techniques définissent des indicateurs de qualité et des exigences minimales pour ces deux éléments. Précisons que tout écran, pour être implanté en France, doit avoir fait l'objet d'essais normalisés et répondu à ces exigences.

. transmission

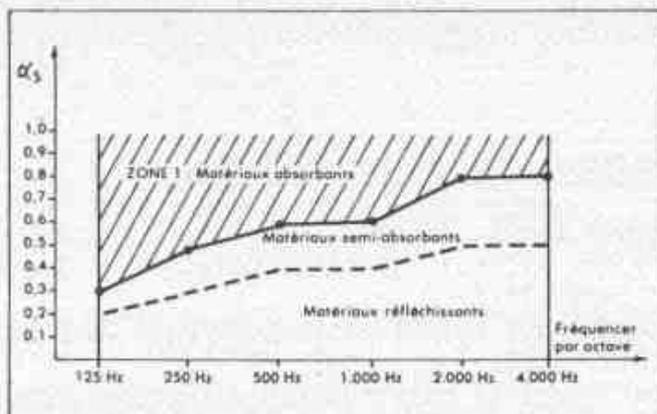
Sachant que l'efficacité totale d'un écran excède rarement 10 dB(A), il a été admis en France qu'il est possible de rendre l'énergie rayonnée par transmission négligeable.

C'est pourquoi il est exigé que les écrans présentent un indice d'affaiblissement en transmission "R" au moins égal à $R \leq 22$ dB(A) pour un spectre de bruit routier normalisé, mesuré en salle réverbérante (norme NFS 31 051). Ces essais portent sur le matériau constituant l'écran, mais également sur sa liaison avec la structure porteuse.

. absorption - réflexion

Lorsqu'un écran est implanté dans un site pour protéger des bâtiments, il peut renvoyer le son dans d'autres directions et aggraver la gêne d'autres bâtiments. Pour lutter contre ces réflexions parasites, deux techniques sont possibles :

- soit prendre des dispositions géométriques (inclinaison des écrans) de nature à réfléchir les ondes vers des zones où elles ne sont pas gênantes. Dans ce cas, il est nécessaire d'incliner la totalité de l'écran si on veut que les fréquences graves soient également contrôlées.
- soit utiliser des matériaux absorbants. Dans ce cas, pour qu'un matériau soit accepté comme absorbant, il est nécessaire qu'il soit testé en salle réverbérante (norme NFS 31003), et qu'il présente un coefficient d'absorption «sabine» au moins égal aux valeurs de la courbe ci-après (pour un spectre de bruit routier normalisé).



Définition d'un matériau « absorbant » selon le guide du bruit des Transports Terrestres

4/ - Le marché français des écrans acoustiques

Les coûts unitaires des écrans acoustiques sont inclus en moyenne dans une fourchette de 800 F HT à 1200 F TH par mètre carré, valeur 1982. Ils comprennent la fourniture et pose des éléments constituant l'écran (plaques et structure porteuse) et les fondations sur sol courant (contraintes supérieures à 0,5 kg/cm²).

Ils sont réalisés à partir d'une grande variété de matériaux de base, utilisés seuls ou en association. La part du marché par matériau est la suivante : béton 66 %, plastiques (polycarbonates transparents 2 %), mousse d'argile et briques absorbantes 5 % (en croissance), verre 15 %, bois 7 %, métal 5 %.

Le marché a été de 1972 à 1980 d'environ 10 000 m². Depuis 1980, on note une accélération sensible : 20 000 m² par an. Cette évolution va se poursuivre ; on devrait construire environ 35 000 m² d'écrans par an dans les 5 ans à venir.

Conclusion.

Il a été construit à ce jour environ 140 000 m² d'écrans acoustiques. Il devrait en être construit environ 35 000 m² par an au cours des cinq années à venir.

Les écrans doivent répondre à de nombreuses sujétions et exigences acoustiques et techniques pour être acceptées sur le marché français. Ces exigences sont décrites dans le Guide du Bruit des Transports Terrestres. Ces règles induisent la création de technologies spécifiques qui nécessitent l'intervention de spécialistes en acoustique. Lors de leur réalisation ils sont contrôlés grâce à une méthode récemment mise au point au Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, basée sur des bruits impulsifs.



De nombreuses solutions sont disponibles sur le marché, qui ont été expérimentées et acceptées par l'Administration. Elles permettent de répondre aux importants problèmes d'intégration esthétique en milieu urbain.

Bibliographie :

Guide du Bruit des Transports Terrestres (CETUR)

- (1) Présentation Générale (Sept. 1976).
- (2) Aspects de la gêne due au bruit de la circulation routière (Fév. 76).
- (3) Catalogue de Cas (Sept. 1976).
- (4) Recommandations techniques relatives aux ouvrages de protection contre le bruit (Mai 1980).
- (5) Utilisation du verre dans la construction des écrans acoustiques (Sept. 1980).
- (6) Prévision des niveaux sonores (Nov. 1980).

Autres publications

- (7) Fichier des écrans acoustiques (CETUR, Fév. 1982).
- (8) Prévision-prévention-protection. P. BAR. Revue Générale des Routes et Aéroports (n° 534, Sept. 1977).
- (9) Prévision des niveaux sonores. P. BAR. Revue Générale des Routes et Aéroports (n° 580, Nov. 1981).



PRESENTATION D'UN BILAN DE L'IMPLANTATION DES ECRANS ACOUSTIQUES EN
BELGIQUE EN FIN 1982

Nicolas PLOM
Ingénieur Chef de Recherche au C.E.D.I.A.

C.E.D.I.A.
Campus universitaire Bâtiment B 28
4000 SART TILMAN (LIEGE 1) BELGIQUE

I INTRODUCTION GENERALE

En Belgique, le service d'Acoustique Appliquée de l'Université de Liège occupe dans le problème des écrans anti-bruit routiers une position de carrefour.

Nous nous situons, en effet, comme le point de rencontre de différentes démarches entreprises dans ce domaine, à savoir :

- l'étude théorique de l'effet d'écran (diffraction, effet de sol, etc, ...);
- la réalisation de tests de réception de matériaux effectués à la requête du Ministère des Travaux Publics;
- l'aide à des constructeurs afin de permettre l'amélioration des performances acoustiques et/ou la diminution des coûts de production.

Ceci me permet donc de brosser un tableau général de la situation de la protection routière par des écrans anti-bruit en fin 1982, en Belgique.

II ATTITUDE DES POUVOIRS PUBLIQUES BELGES ET CAHIERS DES CHARGES EN MATIERE

D'ECRANS ACOUSTIQUES

II.1 La décision d'implanter un écran acoustique

A l'heure actuelle en Belgique, l'on ne peut pas dire que la décision d'implantation d'un écran acoustique soit automatique.
Cependant, une ligne de conduite générale semble se dessiner.



N. FLOM, Ir. Chef de Recherche au CEDIA, Bilan Implan. Ecrans Acous. Bel. 82

La démarche part fréquemment d'une action d'un comité de quartier ou d'une série de plaintes émises aux autorités locales.

Le Ministère des Travaux Publics réalise alors une série de mesures en différents points du site.

La demande n'est jugée recevable que si le niveau sonore équivalent dépasse de façon significative la limite de 65 dBA.

Les demandes recevables sont alors confrontées à des plans d'investissements régionaux. Elles subissent ensuite les pressions politiques des politiciens et certaines sont finalement retenues.

En résumé, toutes les demandes recevables ne sont pas actuellement l'objet de réalisation, d'ailleurs, le budget national ne pourrait le permettre, mais l'on peut retenir que la limite de "recevabilité" est fixée à 65 dBA.

II.2 Les impositions des cahiers des charges

Jusqu'à ce jour, les adjudications en Belgique n'ont jamais demandé aux soumissionnaires de choisir et de proposer eux-mêmes les hauteurs, largeurs, longueurs et sites d'implantation des écrans anti-bruit en fonction d'une réduction de bruit à atteindre en différents points du site. Dès lors, l'obligation d'un résultat "in situ" n'est pas encore demandée. La configuration de l'écran est entièrement définie par les autorités publiques.

Cependant, le produit doit subir deux tests de qualification en laboratoire avant son montage et éventuellement après trois ans de vie sur site. Ces tests de qualification portent sur les propriétés d'isolation et d'absorption acoustique de l'écran.

II.2.1 Le test d'isolation acoustique

L'écran doit subir une mesure d'isolement en laboratoire conforme à la norme NBN S 01 - 005 (ISO 717), et, à partir des chiffres d'isolation relevés, un indice $\Delta L_{R\text{Strasse}}$, défini par le Ministère des Communications

Allemand, doit être calculé.

Cette valeur doit être supérieure à 26 ou 10 suivant les cas.



N. PLOM, Ir Chef de Recherche au CEDIA, Bilan Implan. Ecrans Acous. Bel. 82

II.2.2 Le test d'absorption acoustique

L'écran doit subir une mesure d'absorption acoustique en laboratoire conforme à la norme NBN S 01 - 009 et, à partir des chiffres d'absorption relevés, un indice $\Delta L_{\alpha\text{Strasse}}$ défini par le Ministère des Communications Allemand, doit être calculé.
Cette valeur doit être supérieure à 8 ou 10 suivant les cas.

III QUELQUES EXEMPLES DE REALISATIONS

Une série de photos présentées illustrent les réalisations suivantes :

- Métro de Bruxelles : écran extérieur entre les stations de Thieffry et Petillon (cassette alu, acier + matelas absorbant);
- Ring de Charleroi - site de Spinoy (cassette PVC, acier + matelas absorbant);
- Viaduc Debroux Bruxelles - autoroute de Namur (cassettes acier + matelas absorbant avec écran central double face);
- Ring routier de Bruxelles - site de Kraainem (cassettes acier + matelas absorbant);
- Ring routier de Bruxelles - site de Beaulieu (cassettes acier + matelas absorbant);
- Autoroute des Ardennes Liège - site de Sauheid (cassettes acier + matelas absorbant).

De plus, quelques photos illustrent des réalisations sous forme de talus de terre qui protègent le campus universitaire du Sart Tilman à Liège ou une partie du ring de Bruxelles.

Des résultats relevés sur ces différents sites permettent de se rendre compte de l'efficacité.

IV PERSPECTIVES D'AVENIR

Le marché de l'écran acoustique est actuellement en progression en Belgique et, l'on peut estimer que celle-ci se poursuivra encore pendant plusieurs années. Il faudra, en effet, attendre que les constructeurs d'autoroutes diminuent fortement le bruit à la source pour que la protection des routes ne s'avère plus nécessaire à certains endroits cruciaux.



N. PLOM, Ir Chef de Recherche au CEDIA, Bilan Implan. Ecran Acous. Bel. 82

Le produit a jusqu'à présent connu une évolution vers un moindre coût de production, mais dans l'avenir, un maximum d'efforts sera sûrement porté sur une meilleure intégration esthétique de l'écran dans son site d'installation.

7.7

**Bruit et environnement en ville
Urbanisme**

**Noise and environment in the city
Town and city planning**

Lärm und Stadtumgebung - Städtebau



CALCUL DES NIVEAUX DE BRUIT ELEVES PRODUITS PAR DES VEHICULES ALEATOIRES
DANS LES TRAFICS FAIBLES

MAURIN Michel

Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances et de l'Energie de
l'IRT (IRT-CERNE)
109, Av. Salvador Allende BP 75, 69672 BRON CEDEX, FRANCE

Il s'agit d'un modèle probabiliste qui a pour objet de calculer les niveaux de bruit élevés qui sont provoqués par un trafic routier faible, composé de véhicules appartenant à plusieurs catégories (réf.1). Le point récepteur est à la distance d de l'axe, les véhicules sont sur un segment de rue d'abscisse $[a, b]$ (fig.1). L'intensité acoustique totale que reçoit le point récepteur est une variable aléatoire (v.a) somme de toutes les intensités (v.a) de chaque véhicule. On peut distinguer 3 volets :

1 - Le calcul probabiliste de l'intensité totale.

1.1 - L'intensité de chaque véhicule est doublement aléatoire :

a) Par l'intermédiaire du mode d'écoulement, les véhicules sont supposés indépendants et poissonniens, hypothèse valide pour des débits de 0 à 400 véh/h environ.

b) Par l'intermédiaire de la puissance acoustique ω de chaque véhicule. On considère que ω est variable d'un véhicule à l'autre (à l'intérieur de chaque catégorie j).

Le premier aléa est classique (réf.2,3), le second l'est beaucoup moins. Pour traduire ce fait on pose $h_j(\omega)$ la densité de probabilité de la puissance acoustique pour la catégorie j , on peut l'estimer à partir de nombreuses mesures de bruit faites sur des véhicules isolés dans les conditions de circulation. (fig.2,3).

1.2 - La propagation du son est le 2^o volet décrit ci-après. On l'exprime par deux termes (déterministes), fonctions de la position x de chaque véhicule :

- un facteur $g(x)$ qui modélise la propagation géométrique, caractéristique de la configuration de l'espace environnant (champ libre, rue en U, ...);

- un facteur $\varphi(x)$ qui modélise les diverses causes d'atténuation physique.

La propagation finale est modélisée par le produit $g(x) \cdot \varphi(x)$.



MAURIN - Bruits élevés, véhicules aléatoires, trafic faible.

1.3 - Si \mathcal{Z}_j est l'intensité acoustique aléatoire d'un véhicule de la catégorie j , sa densité est la suivante (réf.1) :

$$B_j(\mathcal{Z}_j) = \frac{1}{b-a} \int_a^b \frac{1}{g(\mathcal{Z}_j) \varphi(\mathcal{Z}_j)} \times k_j \left[\frac{\mathcal{Z}_j}{g(\mathcal{Z}_j) \varphi(\mathcal{Z}_j)} \right] d\mathcal{Z}_j$$

L'intensité totale est la somme des intensités ; avec des variables aléatoires il est commode de passer par l'intermédiaire de leurs cumulants $K_k(\mathcal{Z}_j)$ additifs par construction (réf.4). Par conséquent, si l'on a un débit total constitué de Q_j véhicules à la vitesse V_j pour chaque catégorie, les cumulants K_k de l'intensité totale Z sont :

$$K_k(Z) = (b-a) \sum_j \frac{Q_j}{V_j} K_k(\mathcal{Z}_j)$$

2 - La propagation acoustique.

On envisage plusieurs configurations spatiales ; on pose $r^2 = z^2 + d^2$, a le coefficient d'atténuation linéaire, α l'atténuation sur chaque obstacle. On a pris les g, φ suivants

- champ libre : $g, \varphi = e^{-a r} / 2\pi r^2$,

- rue en U, largeur B, h hauteur du récepteur (réf.5) :

$$g, \varphi = \frac{1}{\pi B} \int_0^\infty \frac{(1-\alpha)^{y/B}}{z^2 + y^2 + h^2} dy$$
 ,

- bâtiments dispersés ; λ parcours moyen sans obstacle (réf.1,6) :

$$g, \varphi = \frac{1}{\pi z^2} \frac{2}{\lambda} \sqrt{\gamma} \times K_1 \left(\frac{2}{\lambda} \sqrt{\gamma} \right)$$

avec $\gamma = a - \lambda \lg(1-\alpha)$, $K_1(t)$ de BESSEL

3 - Les niveaux élevés.

On connaît donc les cumulants de l'intensité totale Z (intégrations numériques avec les densités B_j). Il reste à revenir aux probabilités de la v.a. Z , problème uniquement probabiliste non trivial.



MAURIN - Bruits élevés, véhicules aléatoires, trafic faible.

L'approche retenue est la méthode de WICKSELL (réf.4) qui consiste à supposer que la densité de probabilité de Z est une densité log-normale décalée. Elle dépend de 3 paramètres ce qui permet de l'ajuster sur les 3 premiers cumulants (une méthode complémentaire qui ajuste le 4^e cumulant n'apporte rien en pratique). Par intégration on en déduit les intensités Z_q dépassées avec la probabilité q (c'est-à-dire le pourcentage de temps q) donc les niveaux de bruit $L_q = 10 \log(Z_q/I_0)$, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Avec une précision de ± 1 décibel environ, l'ensemble est couvert par un programme FORTRAN.

4 - Exemples de résultats.

On prend des débits de 300 véhicules

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| a) 20% VL entre 0 et 40 km/h | b) 10% VL entre 0 et 40 km/h |
| 60% VL entre 40 et 60 km/h | 50% VL entre 40 et 60 km/h |
| 20% VL entre 60 et 80 km/h | 20% VL entre 60 et 80 km/h |
| | 20% PL entre 40 et 60 km/h |

		L_1	L_5	L_{10} (en dBA)
rue en U largeur 8m	a)	86,0	81,5	79,0
	b)	90,5	86,0	83,5
bâtiments dispersés $\lambda = 50\text{m}$ $d = 50\text{m}$	a)	57,5	53,5	51,0
	b)	61,0	57,0	54,5



FIG.1 -

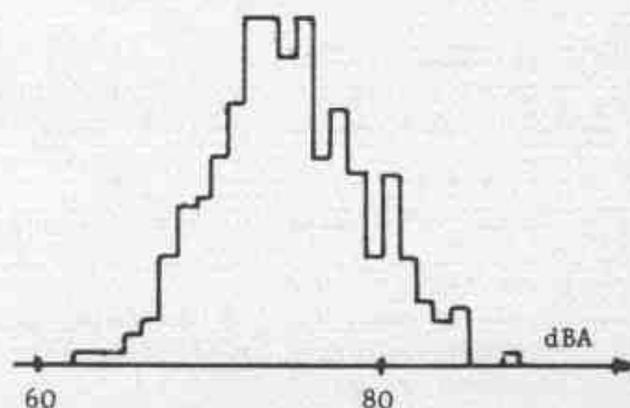


FIG.2 - PUISSANCES ACOUSTIQUES :
HISTOGRAMME POUR V.P. ENTRE 60 et
80 KM/H.



MAURIN - Bruits élevés, véhicules aléatoires, trafic faible.

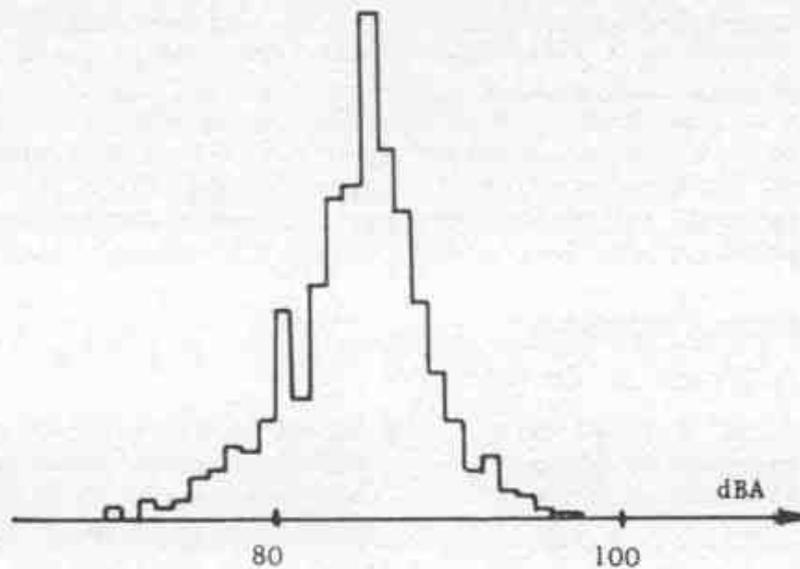


FIG.3 - HISTOGRAMME POUR P.L. ENTRE 60 et 80 KM/H.

- 1 - M. MAURIN, J.M. CHALONS, D. BEGUE, M. IZARD - 1982
Le calcul des niveaux de bruit élevés de la circulation
IRT-CERNE.
- 2 - G.H. WEISS - 1970
On the noise generated by a stream of vehicles
Transport Res. 4, pages 229-233.
- 3 - H.J. KURZE - 1971
Frequency curves of road traffic noise
Journ. of Sound and Vib. 33, pages 171-185.
- 4 - M.G. KENDALL, A. STUART - 1966
The advanced theory of Statistics ; C. GRIFFIN.
- 5 - H. KUTTRUFF - 1975
Zur Berechnung von Pegelmittelwerten und
Schwankungsgrößen bei Strassenlärm
Acustica 32, pages 57-69
- 6 - R. BULLEN, F.R. FRICKE - 1979
Traffic noise in urban areas
Austr. Road Res. 9, pages 11-15.



METHODE DE SIMULATION ULTRASONIQUE DE L'IMPACT DES AUTOROUTES IMPLIQUANT LA REPRODUCTION DE LA DYNAMIQUE DES NIVEAUX SONORES

MIGNERON Jean-Gabriel

Centre de recherches en aménagement (CRAD) et Laboratoire d'acoustique
Université Laval, Québec, P.Q., G1K 7P4 - Canada.

La recherche s'inspire de nombreux travaux antérieurs, notamment ceux de SPANDOCK (1961), BREBECK (1967), PINFOLD (1967) et RAPIN (1969), ce dernier auteur ayant étudié en détail tous les problèmes théoriques posés par la simulation, avec une mention toute particulière pour l'influence de l'humidité. Elle a débuté en 1977, à l'aide d'une subvention du ministère de l'Éducation du Québec, et elle est maintenant soutenue par le Conseil National de Recherches du Canada. Les travaux ont pris initialement la forme d'un tour d'horizon des différentes techniques de simulation déjà employées par d'autres chercheurs. Les jets d'air comprimé, tels ceux du Laboratoire de maquettes du CSTB à Grenoble (RAPIN, ROLAND et BRUDER, 1974) étaient séduisants, mais trop compliqués pour notre contexte expérimental universitaire, notamment à cause du dessiccateur indispensable à ce système; quant aux générateurs mécaniques comme les clochettes, ils ne permettaient pas une petite échelle de réduction. Finalement, nous avons utilisé pour nos premières mesures le générateur d'étincelles électriques fabriqué par la compagnie Grozier Technical Systems (CANN et LYON, 1977). Cependant, après un an d'essais divers et de mise au point, ce genre de générateur s'est avéré mal adapté au bruit de la circulation automobile, à cause d'un affichage des résultats de mesure délicat et surtout d'un processus de mesure très long dû à la ponctualité et à l'unicité de la source. Parallèlement, nous avons commencé à analyser les caractéristiques de différents types de haut-parleurs disponibles commercialement. Il fallait un système robuste, capable de reproduire avec une intensité suffisante toutes les fréquences jusqu'à 100 KHz et aussi de coût modique (nombreuses sources dans une même maquette). Plusieurs "tweeters" réputés se sont révélés décevants au-delà de 20 KHz, sans parler de ceux que nous avons brûlés sans obtenir un niveau acoustique suffisant.

1. MISE AU POINT D'UNE SOURCE ULTRASONORE CONVENANT A LA SIMULATION

C'est finalement en 1979 que nous avons pu trouver un haut-parleur susceptible de convenir pour nos travaux. Il s'agit d'un modèle électrodynamique à chambre de compression et pavillon exponentiel de fabrication japonaise. La réponse obtenue est excellente jusque vers 100 KHz et même au-dessus; par contre, la directivité est très prononcée dans l'axe du haut-parleur. Cette directivité ne convenant pas pour reproduire la dispersion normale du bruit d'un véhicule, il a fallu étudier un déflecteur susceptible d'améliorer la similitude du modèle. Environ une trentaine de déflecteurs différents ont été analysés; après le choix d'une forme simple appropriée, il nous



MIGNERON - Simulation ultrasonique de l'impact des autoroutes

restait à optimiser la hauteur du déflecteur suivant la bande de fréquence requise. Le résultat obtenu s'apparente bien avec la répartition sonore du bruit d'une automobile tel qu'analysé par FACHIAUDI, CHAPON et BRUYERE (1971), ces auteurs mentionnent en effet une directivité acoustique notable pour un angle de 25° au-dessus de la chaussée, pris perpendiculairement à l'axe de roulement du véhicule. Le niveau sonore obtenu à 30 KHz, fréquence correspondant environ au milieu du spectre simulé, est excellent, il faut cependant surveiller la tension aux bornes des haut-parleurs, afin d'éviter de surchauffer les bobines mobiles. Pour de longues séries de mesures, un dispositif de protection a été installé, évitant ainsi toute surcharge.

La composition spectrale émise dans la maquette est obtenue à partir d'un générateur de "bruit blanc", elle doit à la fois représenter le bruit de la circulation automobile transféré en fréquence et l'effet de la courbe de pondération (A). Si les haut-parleurs reproduisent un spectre approprié, il est alors facile de procéder aux mesures sans aucune correction de fréquence autre qu'un filtrage destiné à éliminer tous les bruits extérieurs au champ ultrasonore. Plutôt que de construire un filtre spécial et limité à une seule échelle de maquette, nous nous sommes attachés à réaliser un véritable égaliseur au 1/3 d'octave à 12 canaux, actuellement réglé pour opérer dans les bandes de fréquence de 6.3 à 80 KHz. Ainsi, à l'échelle du 1/50ième, nous reproduisons, avec l'effet de pondération (A) un spectre de circulation automobile compris dans la réalité entre 125 et 1 600 Hz. RAPIN, ROLAND et DE TRICAUD (1972), signalent à ce sujet qu'il est possible de négliger la reproduction des fréquences supérieures à 2 000 Hz et qu'il est important de se centrer sur une bonne restitution de l'octave de 1 000 Hz.

2. PROBLEME PARTICULIER DE LA REPRODUCTION DE LA DYNAMIQUE

La reproduction de la dynamique du bruit produit par la circulation automobile était plus difficile à concevoir. Nous avons envisagé deux solutions, soit créer un modèle de variation avec la possibilité de changer le débit de circulation, soit piloter le niveau de reproduction à l'aide d'un enregistrement de bruit réel. Si les modèles de circulation sont bien connus, avec RATHE (1965) ou JOHNSON et SAUNDERS (1968), il n'en demeure pas moins que leur reproduction dans le domaine ultrasonore présente une grande complexité sur le plan électronique, aussi nous sommes nous orientés vers le pilotage du niveau émis dans la maquette. A l'aide d'un dispositif d'asservissement lié à un enregistreur graphique, il nous a été facile de reproduire les mêmes variations que dans la réalité, ceci avec un niveau ultrasonore similaire à celui enregistré sur le terrain. Ce résultat apparaît d'ailleurs bien dans la Figure 1, qui reproduit simultanément le niveau en dB(A) utilisé pour le pilotage et le niveau ultrasonore mesuré dans la maquette.

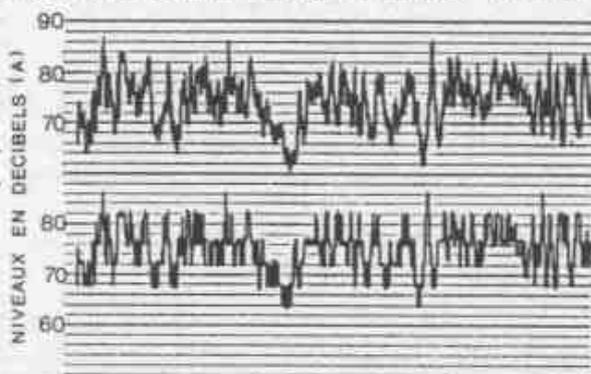


FIGURE No 1

Enfin, pour éviter toute forme d'onde stationnaire ou de mise en phase possible des haut-parleurs, ces derniers sont alternativement répartis sur 4 canaux différents d'amplification, avec la possibilité d'introduire un dispositif de retard digital séquentiel.

3. INSTALLATION DE LA MAQUETTE ET OPERATIONS DE MESURE

La chambre de mesure utilisée est en fait la grande chambre réverbérante du Laboratoire d'acoustique, transformée pour la circonstance en une chambre



MIGNERON - Simulation ultrasonique de l'impact des autoroutes

semi-anéchoïque (panneaux de laine minérale à haute densité et baffles acoustiques). Avec un volume de 245 m³ cette salle peut accueillir des maquettes d'environ 8 m. Nous avons choisi un premier site expérimental qui en plus d'être facilement mesurable dans la réalité, pouvait présenter de nombreux points d'intérêt méthodologique (terrain plat, tranchée, pente de la voie de circulation et artères secondaires), le tout représentant à l'échelle du 1/50ième une longueur d'autoroute de 427 m.

Pour déterminer l'absorption acoustique des matériaux utilisés dans la maquette, nous avons employé une petite chambre réverbérante en plexiglas, afin de mesurer les coefficients du terrain et de la végétation aux fréquences ultrasonores. Quant à l'absorption moléculaire, elle dépend directement de la quantité d'eau contenue dans l'air de la salle de mesure. Il faut que dans la maquette l'affaiblissement linéique obtenu corresponde à peu près à celui mesuré dans la réalité: pour une échelle de réduction de 1/100ième, RAFIN, ROLAND et DE TRICAUD (1973) recommandent une humidité acceptable d'au plus 10%; mais l'écart de mesure croît avec la fréquence, donc avec l'échelle de réduction de la maquette. Travaillant au 1/50ième, nous nous sommes contentés d'utiliser le système d'air conditionné de l'édifice, complété parfois par un déshumidificateur, de façon à maintenir une humidité relative voisine de 20%.

En ce qui concerne la localisation des haut-parleurs reproduisant chacun un véhicule, elle est bien visible sur l'exemple de la Figure 2. Pour ce site 26 haut-parleurs sont installés sur les 6 voies de l'autoroute, ce qui correspond à un débit de circulation de 6 000 véhicules/heure; de plus 5 haut-parleurs sont disposés sur une voie secondaire. La densité des véhicules est légèrement supérieure sur les voies montantes, afin de tenir compte de la réduction de vitesse; par contre, sur toute la longueur de la maquette, les haut-parleurs sont également espacés pour donner un champ acoustique homogène. Quant aux microphones de mesure ils sont installés sur un portique; nous disposons de deux lignes indépendantes, avec des cartouches à condensateur de 1/4 ou de 1/8 de pouce. L'amplificateur de mesure n'utilise aucun filtre, à l'exception d'un passe-haut de 24 dB/octave réglé sur 5KHz, il peut finalement être complété par un enregistreur graphique et un compteur statistique (sans correction de fréquence).

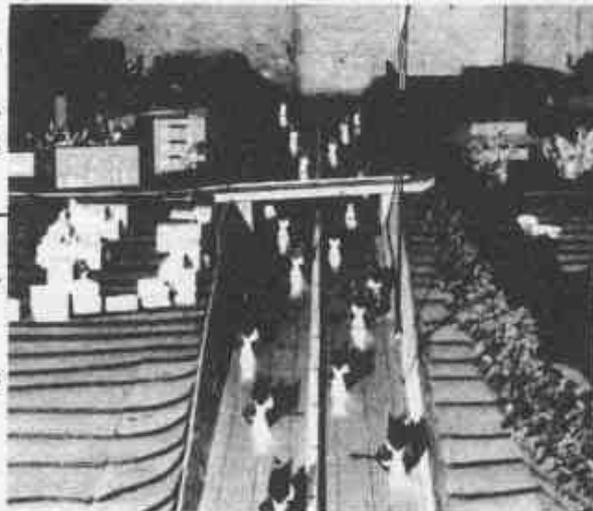


FIGURE No 2



NIVEAUX EQUIVALENTS (Leq) REELS ET SIMULES

FIGURE No 3

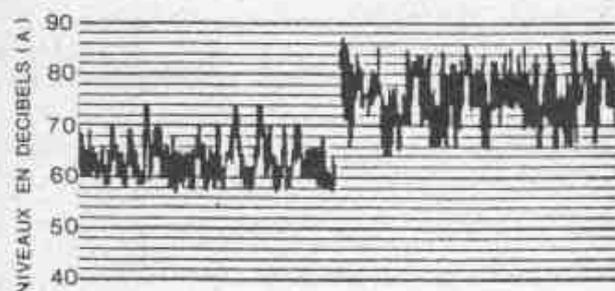


FIGURE No 4

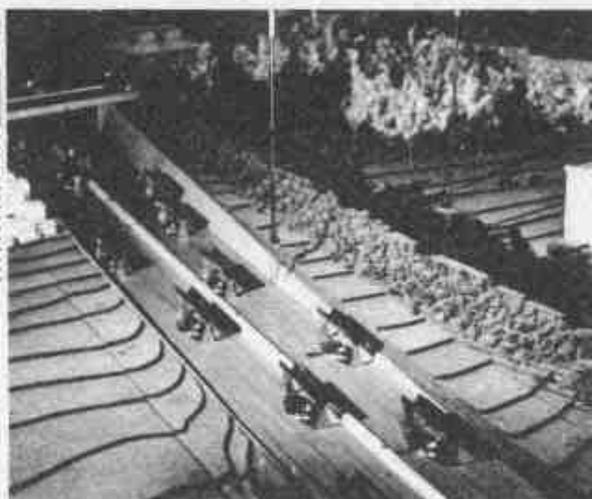


FIGURE No 5

4. UTILISATION POSSIBLE DE LA SIMULATION ET CONCLUSION

La méthode que nous avons mise au point s'adresse en premier lieu à l'étude du profil et à la localisation des futures autoroutes en milieux urbanisés. Comme le montre les résultats de la Figure 3 elle est suffisamment précise pour reproduire, non seulement la répartition spatiale des niveaux sonores, mais également l'évolution de la dynamique en fonction de la distance à l'autoroute (jusqu'à 150 m), ainsi que l'effet cumulé de voies de circulation de débits différents. Le pincement des isocontours L_{eq} aux deux extrémités de la maquette est simplement attribuable à l'absence des haut-parleurs qui devraient reproduire les véhicules circulant en dehors des limites du site.

Le procédé est applicable également au cas des autoroutes existantes, surtout dans le but d'étudier les dispositifs de protection acoustique les plus adéquats. La photographie 5 montre, à ce sujet, la méthode de mesure employée pour vérifier l'efficacité d'un écran, constitué ici d'une butte plantée de buissons et de résineux. De même, la Figure 4 reproduit les niveaux de bruit ainsi mesurés dans la maquette, en présence et en l'absence de l'écran (réduction moyenne du niveau de bruit de 12 dB(A)). Finalement, les graphiques de la Figure 6 présentent les résultats concernant deux types de traitements acoustiques possibles. Les isocontours de propagation, qu'ils reproduisent dans deux plans perpendiculaires à l'autoroute, ont été obtenus en bloquant le dispositif de pilotage du niveau sonore et en déplaçant les microphones de mesure de façon à couvrir une grille verticale.

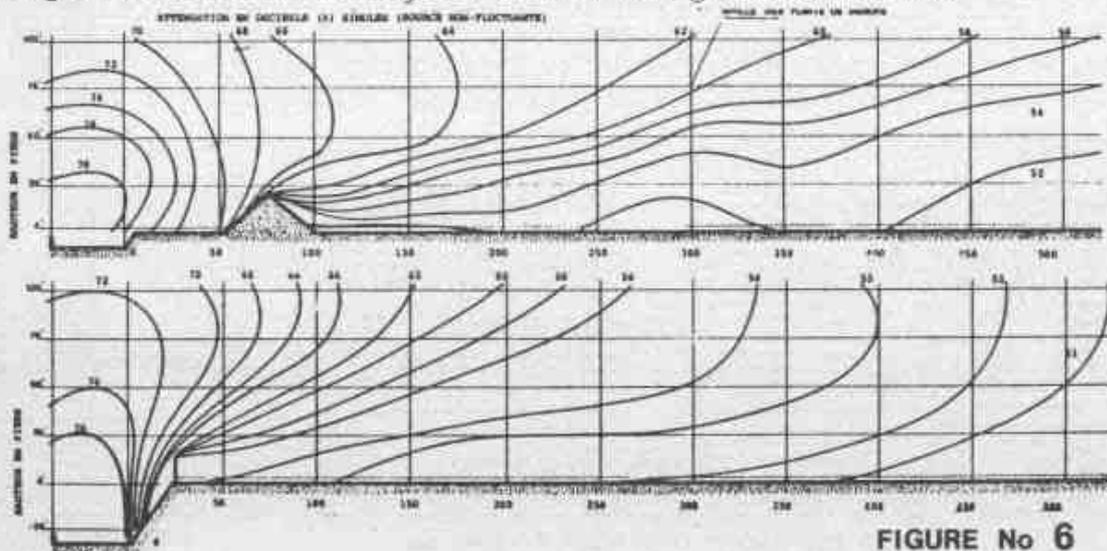


FIGURE No 6



ESTIMATION DE L'INDICE SONORE MOYEN REPRESENTATIF POUR LE BRUIT
DE LA CIRCULATION ROUTIERE

M. DELANNE Yves

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES (LCPC)

Centre de Nantes

BP 19

44340 BOUGUENAIS

Dans le but d'apprécier la gêne d'une population, la caractérisation d'une situation sonore nécessite la détermination de la valeur moyenne sur une longue période, de l'indice sonore jugé représentatif. Pour obtenir cette valeur, il convient d'effectuer une mesure dont la durée couvre l'ensemble des variations possibles de l'émission sonore et des conditions de propagation ; l'influence de ces dernières n'étant sensible (> à 2 dB) que pour des distances sources/récepteur suffisamment élevées. On comprend aisément que pour des raisons techniques et économiques une telle pratique ne soit pas envisageable.

Lorsqu'il est possible de définir un nombre limité de facteurs d'influence mesurables, dont on connaît un état moyen sur une longue période et que l'on dispose de modèles simples fiables liant ces facteurs à la grandeur mesurée ; on peut effectuer une mesure "allégée" : à partir d'une mesure effectuée sur une période de référence pendant laquelle sont mesurés les paramètres utiles, on peut déterminer par calcul l'état moyen représentatif.

C'est une méthode de ce type qui est décrite dans le projet de norme d'expertise [1] pour la mesure des bruits de la circulation routière.

Les éléments principaux de ce projet sont les suivants :

- A - La norme spécifie la méthode de mesure d'expertise et les conditions requises pour une mesure significative du bruit de circulation routière en zone urbaine, péri-urbain et interurbaine. Elle définit les éléments descriptifs à saisir concernant le site et les conditions de mesure et, indique comment il convient d'utiliser certains d'entre eux pour déterminer l'indice représentatif de l'état moyen du champ sonore.
- B - La norme comprend quatre sous-chapitres "techniques" :
 - 1 - mesures acoustiques
 - 2 - conditions météorologiques



- 3 - Détermination des caractéristiques du trafic
- 4 - Détermination d'un état représentatif moyen.

C - En ce qui concerne les conditions météorologiques, le traitement multiparamétrique des données expérimentales a montré que le facteur principal est la direction du vent et que les mesures les plus reproductibles et significatives sont obtenues pour des conditions de vent portant.

Toutefois, la méthode décrite dans cette norme demeure lourde. C'est la raison pour laquelle, pour des conditions de circulation urbaine, nous avons tenté de définir une base de temps permettant une estimation correcte de l'indice correspondant à la période de référence.

Le problème à résoudre est le suivant :

Existe-t'il T tel que, sur certaines périodes de la journée, on ait :

$$\text{Prob} \{L_{\text{Aeq}} | 8 \text{ h} - 20 \text{ h} | - L_{\text{Aeq}, T} = \pm 2 \text{ dB}_A\} = 1$$

Les différents travaux théoriques [2], [3] reposent sur l'hypothèse suivante : le signal $p^2(\Delta t)$ est la réalisation d'un processus aléatoire stationnaire. Dans ce cas, on démontre aisément que la base de temps est proportionnelle à l'écart type des $p^2(\Delta t)$; pour des situations urbaines classiques, le calcul montre qu'un temps de l'ordre de 10 mn serait suffisant. Or l'expérience prouve que la série des $L_{\text{Aeq}}(\Delta t)$ n'est pas stationnaire.

Nous avons donc choisi de résoudre le problème par traitement direct de données expérimentales.

Deux types d'analyses ont été effectués :

1. Analyse statistique des séries $L_{\text{Aeq}, \Delta t}$

Cette analyse a permis de trouver sur une série de mesure de 24 h, les zones "homogènes" (faible écart type), zones définissant les périodes sur lesquelles seront étudiées les bases de temps des estimateurs.

Nous avons utilisé pour cette analyse une technique [4] qui consiste à découper une suite de mesures en un certain nombre de zones telles que d'une part dans chaque zone la valeur moyenne et la variance de la distribution de la série de mesures aient un sens et, d'autre part que l'écart entre les moyennes de deux zones successives soit significatif. La technique mise en oeuvre comprend donc :

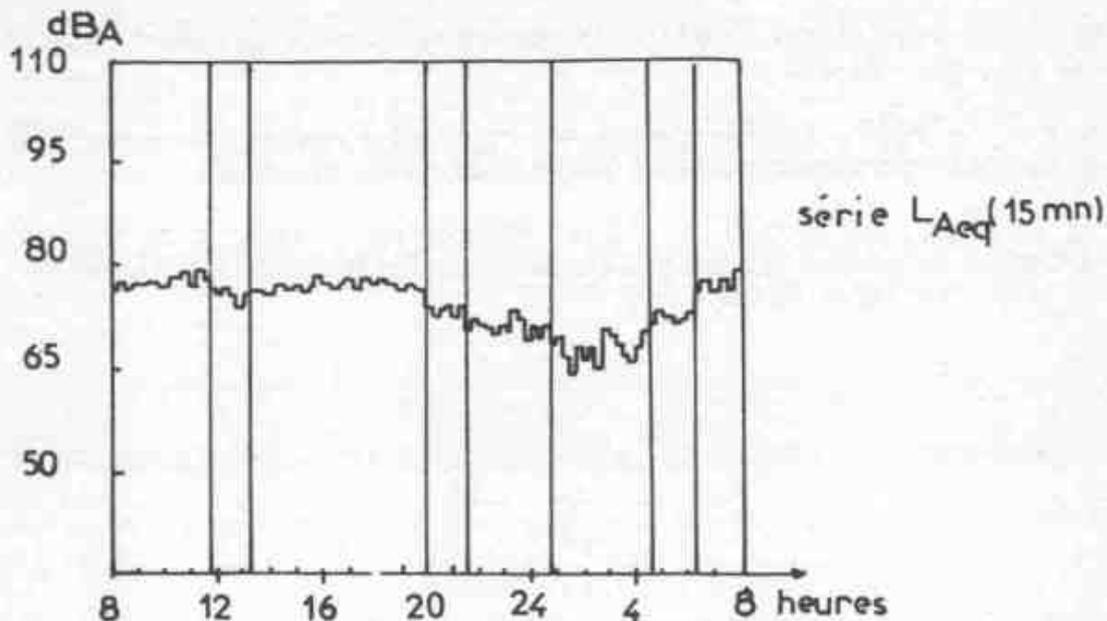
- un critère d'homogénéité (population normale)
- une méthode de découpage (analyse de variance).

Les séries de mesures traitées par cette méthode sont les L_{Aeq} (5 mn) mesurés pendant 24 h.



DELANNE Yves, ESTIMATION DE L'INDICE SONORE MOYEN REPRESENTATIF POUR LE BRUIT DE LA CIRCULATION ROUTIERE

La courbe ci-après correspond à une voie en "U" de transit dont le débit moyen horaire est de l'ordre de 1 200 véh./h dont 7 % de véhicules lourds.



Ce type d'analyse effectué sur plusieurs jours et sur plusieurs voies (transit et artérielles $600 < Q < 1\,500$ h) a permis de sélectionner les périodes suivantes pour l'étude de la base de temps de l'estimateur. Ce sont :

- le matin entre 8 h et 12 h 30
- l'après-midi entre 13 h 30 et 18 h.

2. La base de temps a été définie à partir d'un algorithme de recomposition des L_{Aeq} (15 mn) en L_{Aeq} (30 mn) et L_{Aeq} (60 mn).

Nous avons obtenu le résultat suivant :

- Pour toutes les voies étudiées et pour toute saison, toute mesure effectuée hors week-end (samedi, dimanche) et jours fériés pendant les périodes définies ci-dessus sur une base de temps de 60 mn est une estimation à ± 2 dB_A du L_{Aeq} |8 h - 20 h| moyen.

Ce résultat constitue la base du code de "contrôle" pour la mesure des bruits routiers en zone urbaine dense.

Ces codes de mesurage d'expertise et de contrôle devraient permettre de pallier l'importante carence actuelle en matière de texte méthodologique concernant la source de bruit la plus répandue dans nos villes.



DELANNE Yves, ESTIMATION DE L'INDICE SONORE MOYEN REPRESENTATIF POUR LE BRUIT DE LA CIRCULATION ROUTIERE.

- [1] Y. DELANNE, Projet de norme AFNOR, Acoustique - Mesurage des bruits de circulation routière - méthode d'expertise, déposé en janvier 1983
- [2] D. FISK, Statistical sampling in community noise measurement, JSV (1973) 30 (2), pp. 221-236
- [3] Von H. KUTTRUFF, Zur Berechnung von Pegelmittelwerten und Schwankungsgrößen bei Straßenkärm, Acustica Vol 32, 1975, pp. 57-69
- [4] M. LEBAS, J. PEYBERNARD, V. CARTA, Méthode de traitement des enregistrements de mesure de densité en continu, Bulletin de Liaison LCPC n° 114, juillet-août 1981, pp. 7-15.



TRANSFERT DE NUISANCES SUITE A L'OUVERTURE D'UNE VOIE DE CONTOURNEMENT
D'UNE AGGLOMERATION.

LEGILLON Henri - ABRAMOWITCH Jean-Marc.

LABORATOIRE REGIONAL DE L'EST PARISIEN
Ministère de l'Urbanisme et du Logement
B.P. 34 - 93350 LE BOURGET - FRANCE.

INTRODUCTION

Suite à l'ouverture d'une voie rapide permettant de dévier le trafic de transit circulant dans une ville moyenne, la réduction des nuisances et de la gêne ressentie par les habitants du centre ville a été étudiée.

La ville de Chambéry (60 000 habitants) est reliée à Lyon, Annecy, Genève et Grenoble et le trafic de transit y est important. La situation avant l'ouverture de la voie rapide a été caractérisée à l'aide de comptages de trafic, de mesures de bruit et de pollution atmosphérique, et d'une enquête psychosociologique (sous forme d'entretiens) en 1977 et 1980. La voie rapide a été ouverte au public en Décembre 1981 et nous avons attendu Octobre 1982 pour refaire les mesures acoustiques et une enquête (à l'aide de questionnaires) afin que les habitudes des conducteurs aient eu le temps de changer.

1. MODIFICATIONS DU TRAFIC.

Entre 1977 et 1980, deux différences notables apparaissaient : la mise en service de l'autoroute Chambéry-Grenoble amenait une augmentation du trafic de transit et la modification de l'itinéraire poids-lourds abaissait nettement le niveau sonore nocturne dans 2 quartiers.

Suite à l'ouverture de la voie rapide, le trafic a baissé, aux accès à Chambéry, d'environ 25 % et selon des rues entre 0 et 40 %. Le pourcentage des poids-lourds est passé à 10 % à moins de 5 % avec une réduction plus importante encore la nuit.

2. NIVEAUX SONORES.

Les niveaux Leq (8h - 20h) en façade des immeubles sont situés entre 65 et 73 dB(A). La réduction observée en 1982 est comprise entre 0 et 5 dB(A) selon la rue, avec une moyenne de 3 dB(A) (voir fig. 1). Les niveaux sonores nocturnes $-Leq$ (0h - 5h) - sont compris entre 58 et 64 dB(A) et ont été réduits de 0 à 5 dB(A), sans tenir compte de la zone piétonnière qui est silencieuse. Les corrélations entre les quatre variables Leq Jour, Leq Nuit, ΔLeq J, ΔLeq N (réduction) ne sont pas élevées.



La satisfaction vis à vis du quartier a très nettement progressée depuis 1977 puisque, sur une échelle en 7 points, seule 1 zone fait apparaître une moyenne inférieure à 4 et 3 zones une moyenne inférieure à 5 (voir fig. 2). En général, les avis sont convergents (dispersion faible).

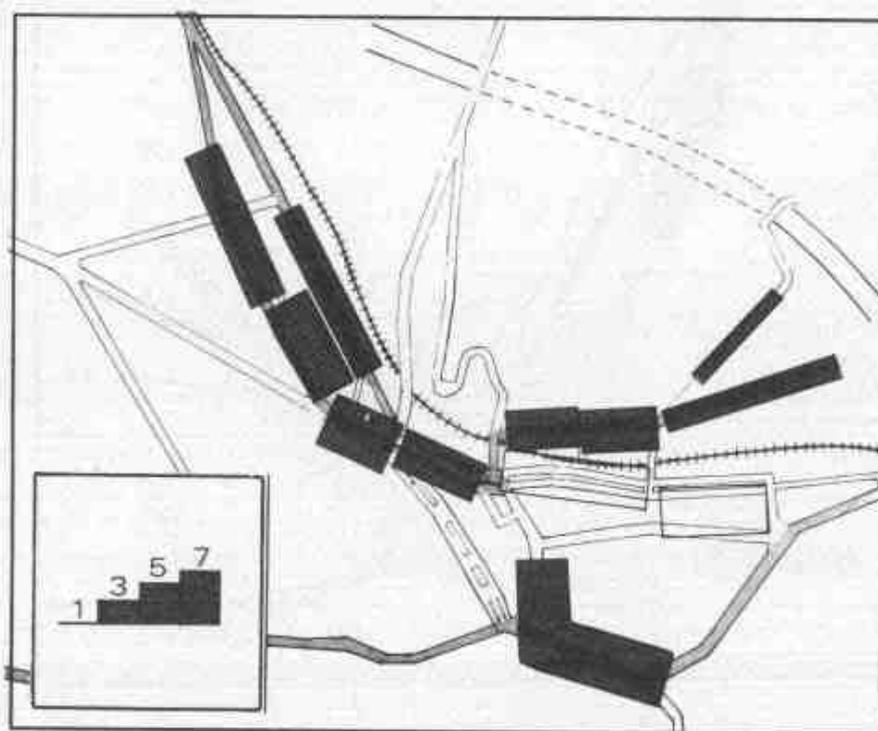


FIGURE 2 : Indice de satisfaction du quartier.

Les changements dans l'environnement sont ressentis par 61 % des personnes interrogées et une sur 4 estime qu'il y a eu une baisse des nuisances. Les réponses sont inégalement réparties (voir fig. 3) et il n'y a pas de liaison nette entre cette baisse et la satisfaction du quartier.

La baisse de trafic est remarquée par 80 % des gens et estimée à 33 % en moyenne. 87 % des habitants pensent qu'il y a moins de poids-lourds et 65 % de ceux-ci disent que ce sont les plus gros et les camions en transit qui ont disparu.

4. RELATIONS ENTRE LE BRUIT ET LA GENE EXPRIMEE.

Les quatre paramètres physiques décrits plus haut sont utiles pour décrire l'environnement. Aucun pris séparément n'est bien corrélé avec les opinions sur la réduction des nuisances. L'accroissement de la satisfaction des habitants est générale mais ne suit pas proportionnellement les variations de niveaux dans chaque rue.



LEGILLON - ABRAMOWITCH - TRANSFERT DE NUISANCES.

Il est intéressant de noter que l'appréciation de la diminution du trafic et des poids-lourds est assez juste quoique un peu optimiste.

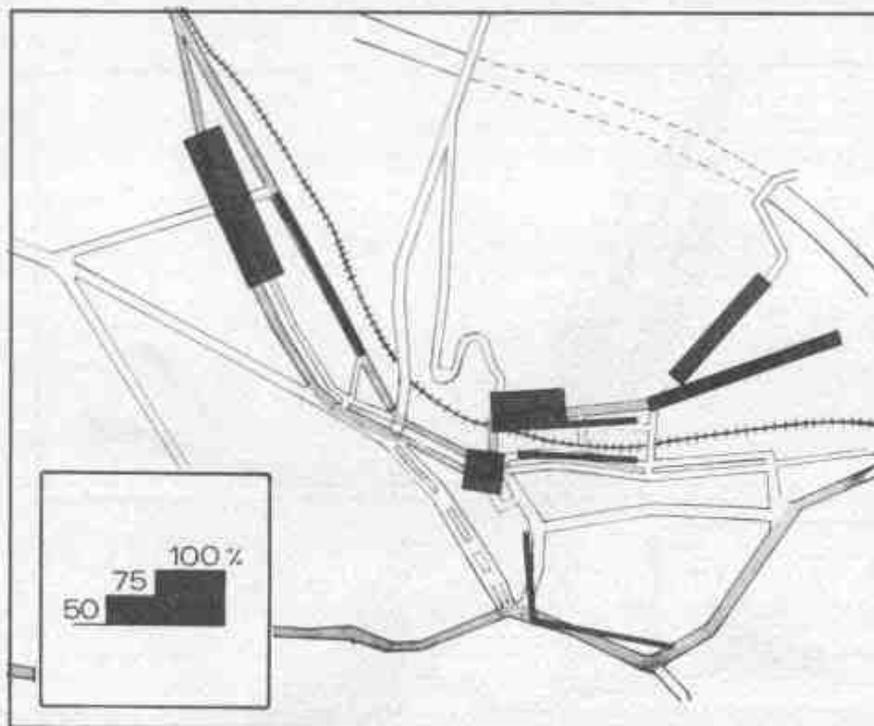


FIGURE 3 : Fraction de la population exprimant une diminution des nuisances.

CONCLUSION.

La création d'une voie de contournement à Chambéry a créé de nouvelles nuisances le long de son tracé (limitées grâce à des ouvrages anti-bruit), mais a également permis de diminuer le trafic et le bruit dans le centre ville. Cette diminution est inégalement ressentie par les habitants qui expriment en général une plus grande satisfaction de leur quartier et apprécient assez justement le pourcentage de réduction du trafic.

BIBLIOGRAPHIE.

- MACKIE-DAVIS "Environmental effects of traffic changes" - TRRL - LR 1015 - 1981.
- VALLET "Les réponses de gêne due au bruit en fonction des changements d'environnement acoustique" - I.R.T.-CERNE - AER G2 (8118) - Août 1982.



GESTION DU BRUIT PAR LES COLLECTIVITES LOCALES

CAYREFOURCQ Daniel - DIRECTION DE L'URBANISME ET DE L'ARCHITECTURE

MAIRIE DE BOURG-EN-BRESSE

Place de l'Hôtel de Ville 01000 BOURG-EN-BRESSE FRANCE

La ville de BOURG-EN-BRESSE, chef lieu du département de l'AIN est un centre administratif, économique, scolaire et culturel. Ces différents rôles font de cette ville un pôle d'attraction principal pour les populations de la région.

En outre, sa position géographique sur le réseau routier national et européen en fait un point de convergence obligé pour un trafic qui ne cesse de croître, à forte proportion de poids lourds.

BOURG-EN-BRESSE se caractérise donc, du fait de son rôle régional et de sa situation de carrefour, par un trafic routier dense ayant à la fois une fonction d'échange et de transit.

Les nuisances sonores dans la ville sont essentiellement liées à ce phénomène. Or le tissu urbain du centre ancien a conditionné la création de boulevards extérieurs concentriques qui n'ont eu pour effet que de déplacer les nuisances du coeur de la ville dans les quartiers péricentraux, à forte densité de population (ZUP 1 et 2 - ZAC de la Croix-Blanche).

La prise en compte par les Elus de la commune s'est dans un premier temps (à partir de 1977 à l'initiative d'une nouvelle équipe municipale) concrétisée par deux types d'actions : d'une part ne pas aggraver la situation déjà délicate des quartiers populaires en aménageant en parc public urbain, jardins familiaux et réalisations sportives des terrains dont la destination était de créer un axe de pénétration en ville, à partir de la future autoroute A 40 contournant BOURG-EN-BRESSE à quelques kilomètres. D'autre part l'action politique consistant à améliorer les conditions générales a été basée sur la mise en place d'un plan de circulation et la création d'un plateau piétonnier et de parkings périphériques, réservant aux piétons places et rues.

L'autoroute A 40, dont la réalisation vient d'être entreprise, ne concernera qu'une partie du trafic de transit ; d'autre part, le projet de voie d'échange prévu au plan d'occupation des sols ne constituera un élément de solution que si les zones à urbaniser qui jouxtent son tracé sont conçues en fonction du bruit.



Consciente de ces éléments, la Municipalité de BOURG-EN-BRESSE a donc décidé courant 1982 de lancer un programme d'actions contre le bruit dans le but de corriger les niveaux sonores inadmissibles mais aussi de prévenir les effets du bruit dans les nouveaux projets urbains.

Dans le cadre du programme de lutte contre le bruit adopté le 9 Février 1982 par le Comité Interministériel de la Qualité de la Vie, la ville de BOURG-EN-BRESSE a signé avec le Ministère de l'Environnement un contrat triennal de ville pilote le 21 Décembre 1982.

Ce contrat est sous la responsabilité d'une commission locale ; chaque partie s'est engagée à financer pour moitié le coût des opérations. La coopération entre le Ministère et la ville de BOURG-EN-BRESSE se fera autour des quatre grands thèmes développés ci-après.

A - ETUDES GENERALES

a1- CARTOGRAPHIE : la cartographie du bruit sera un document de base préalable quantifiant exactement le bruit sur le territoire de la commune - elle permettra de définir objectivement les actions prioritaires de lutte antibruit, en matière de travaux et de réglementations - De plus, la cartographie sera le support de la gestion et de la connaissance de l'évolution des situations sonores.

a2- URBANISATION FUTURE : les études sur les zones NA permettant de prendre toutes les dispositions nécessaires pour les 4 000 logements potentiels de ces zones (implantations - épannelage - destination des espaces bâtis et non bâtis etc...)

a3- SUIVI SOCIOLOGIQUE DES COMPORTEMENTS : cette action constatera les effets des travaux en comparant à l'état initial et en mesurant leur impact sur le comportement des usagers ; une analyse plus sociologique sur le vécu du bruit et sa relativité sera entreprise dans le cadre général de la gestion publique du bruit.

B - REGLEMENTATION

b1- Prise en compte de la "composante bruit" au niveau du plan d'occupation des sols dans la définition et les conditions d'occupation du territoire.

b2- supprimer certaines nuisances phoniques par le biais d'un règlement municipal.

C - INFORMATION ET SENSIBILISATION

c1- COMMISSION LOCALE : son rôle consiste à gérer le contrat liant le Ministère de l'Environnement et la ville, être en relation avec le public, recueillir les plaintes et requêtes, décider des actions à engager. Elle est composée d'Elus municipaux, de représentants des Administrations départementales et des services municipaux concernés, de délégués des Associations locales pouvant jouer un rôle direct de réflexion et d'application dans les quartiers.

c2- FORMATION PROFESSIONNELLE : formation des techniciens et des aménageurs sur les moyens de lutte, ainsi que la création d'un fond documentaire général et spécialisé sur le bruit.



C3 - INFORMATION : cycles de conférences et d'expositions sur les bruits et ses incidences sociales et médicales. Développement de l'identification "Ville de BOURG-EN-BRESSE = lutte contre le bruit" par des moyens appropriés. Actions avec les médias.

C4 - SENSIBILISATION : Animations et manifestations mettant en valeur "le bruit" comme composante de notre environnement (ex : mise en situation exceptionnelle des usagers par opposition bruit-silence, fanfares, spectacles urbains etc...). Contrôle de l'émission à la source, avec recherche des niveaux sonores anormalement élevés et incitation à la mise en conformité.

C5 - ACTION AVEC LE MILIEU SCOLAIRE : réalisée en collaboration avec les scolaires, les enseignants et les parents d'élèves, cette action, outre le cadre général de "l'information" et de la "sensibilisation" revêt un caractère particulier dû à la spécificité du groupe concerné (programme pédagogique - construction d'un sonomètre lumineux géant, concours de dessins etc...). Cette action peut dépasser le cadre strictement scolaire et d'adresser aux jeunes placés dans d'autres structures.

D - PROTECTION - REALISATION - Les différentes actions prévues sous ce thème consistent principalement en des travaux d'isolation et de protection phoniques soit sur des bâtiments (écoles, salles de quartiers, logements etc...) ou des espaces verts (squares, terrains de jeux, parcs). Ces travaux serviront à isoler des espaces déjà sinistrés par le bruit ou à maintenir des espaces calmes devant être ouverts à l'usage public (parcs urbains).

Cet exposé partiel sur la "gestion du bruit dans une commune" ne se veut pas exemplaire, mais tente uniquement d'exprimer que les moyens de lutte contre les nuisances sonores sont multiples, et doivent être intégrés dans une politique générale d'urbanisme avec la participation la plus large possible de la population ou de ses représentants.



PROGRAMME CARTO-BRUIT : CARTOGRAPHIE DU BRUIT ROUTIER
AUX ABORDS DES VOIES

OLIVERO PATRICK

Centre d'Etudes Techniques de L'Equipement du Sud-Ouest
(Antenne de Toulouse) 33, rue Jean Lebas -
-31400- TOULOUSE-FRANCE.

Le problème de la cartographie du bruit est posé depuis de nombreuses années. L'accroissement des connaissances, le développement des méthodes de calcul, la parution du Guide du Bruit des Transports Terrestres (et en particulier de son fascicule "Prévision des niveaux sonores") ont permis d'envisager l'automatisation de modèles d'évaluation et de prévision du bruit routier.

Le programme CARTO-BRUIT, présenté ici, mis au point par l'Antenne de Toulouse du CENTRE D'ETUDES TECHNIQUE DE L'EQUIPEMENT du Sud-Ouest avec la collaboration du CENTRE D'ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS (CETUR) a pour objet l'établissement automatique de cartes de bruit aux abords des voies routières. L'objectif principal qui a présidé à son élaboration a été de simplifier et alléger au maximum le recueil de données tout en conservant aux résultats toute garantie de fiabilité scientifique.

I. LE CONTENU SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME ET LES SIMPLIFICATIONS ADMISES :

La base scientifique du programme est la méthode manuelle détaillée du Guide du Bruit des Transports Terrestres (ouvrage disponible au CETUR qui en a assuré la mise au point et la fission). Conformément aux usages maintenant bien établis en France tous les niveaux de bruit dont il est fait état dans cette présentation sont caractérisés par le niveau énergétique équivalent (Leq) sur une période que nous allons préciser et exprimés en décibels pondérés par le filtre A.

D'importantes études réalisées par le CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT et L'INSTITUT DE RECHERCHE DES TRANSPORTS ont mis en évidence le fait que l'indice Leq diurne (8H-20H) offrait la meilleure corrélation entre le bruit en façade des bâtiments et la gêne globale exprimée par les riverains toutes périodes confondues. C'est donc tout naturellement sur la période 8H-20H que portera l'établissement des cartes de bruit dans la majorité des cas. Il est cependant tout à fait possible d'établir des cartes pour des périodes différentes (période nocturne, heure de pointe etc...) sous réserve, bien évidemment, de fournir les données en conséquence.



Les étapes de la méthode de calcul sont les suivantes :

1° Affectation à chaque type de véhicule (véhicules légers ou poids lourds) d'une émission de référence qui représente le niveau L_{eq} (1 H) provoqué par la circulation d'un véhicule par heure, niveau calculé sur une surface dite "isophone de référence". Cette surface est, par définition l'ensemble des points exposés à la même pression acoustique qu'un récepteur situé à 30m de la plate forme routière, à 10 m de hauteur, la voie étant supposée rectiligne, infiniment longue, et située au niveau d'un terrain naturel réfléchissant.

Ces niveaux de référence peuvent être déterminés grâce aux abaques d'émission sonore du Guide du Bruit (déduits des résultats de plus de 7000 mesures "insitu"). Ils dépendent, pour chaque type de véhicule, de la vitesse, de l'allure de la circulation et de la présence éventuelle de rampes ou pentes.

2° La connaissance de ces niveaux de référence et des volumes de trafic représentatifs de la période étudiée permettent alors, par cumul énergétique, de calculer l'émission sonore du flot de véhicules sur l'isophone de référence.

3° Il reste alors à passer du niveau L_{eq} sur l'isophone de référence à celui correspondant au récepteur réel. Il y a lieu pour cela d'introduire des termes caractérisant la propagation du bruit. Cette étape de calcul a volontairement été simplifiée dans CARTO-BRUIT: le programme étant en effet résolument axé sur le milieu traditionnel, seule la propagation à courte distance (sans diffraction) a été envisagée; en outre le sol est supposé doté de caractéristiques relativement réfléchissantes.

II. LA MISE EN OEUVRE DU PROGRAMME - LES DONNEES A FOURNIR :

Le réseau étudié est décomposé en tronçons homogènes; chacun de ces tronçons doit être décrit par des données géométriques et par des données relatives au trafic.

1°/ Les données géométriques ne soulèvent généralement pas de difficultés; des plans au 1/2000° offrent une précision suffisante pour le relevé des distances et largeurs. La typologie des tissus doit être relevée "in situ": 1 à 2 jours de travail sont nécessaires (pour une ville de l'ordre de 100 000 habitants) à une équipe de 2 personnes.

2°/ Les données relatives au trafic sont au nombre de quatre :

2.1. Volume de trafic total : Il est accessible par les compteurs pneumatiques usuels en prenant soin de choisir des périodes représentatives.

2.2. Pourcentage de véhicules lourds : Le nombre de poids lourds (poids total en charge supérieur à 3 t5) doit généralement être relevé par comptages manuels; afin de ne pas alourdir le recueil de données ces comptages pourront être limités aux axes écoulant du trafic de transit et à ceux qui, pour des raisons particulières, écoulent un nombre important de véhicules lourds (par exemple ceux qui desservent une zone industrielle).



Sur les autres voies, il faudra recenser le trafic "bus" (accessible auprès des sociétés gestionnaires) et ajouter forfaitairement un certain nombre de poids lourds représentatifs des véhicules de déménagement, de livraison, de chantier etc...

2.3. vitesse moyenne du flôt : en milieu urbain traditionnel la vitesse moyenne du flôt est bien souvent conditionnée plus par les conditions générales de circulation que par le comportement cinétique des véhicules individuels. Sauf exception l'insertion dans le flôt d'un véhicule permet d'obtenir une approximation suffisante de ce paramètre.

2.4. Type d'écoulement : nous n'avons retenu, dans le programme CARTO-BRUIT que 2 types d'écoulement : écoulement fluide continu et écoulement pulsé indifférencié. Le premier correspond à un écoulement dans lequel les véhicules ont une vitesse sensiblement constante avec un débit stable dans le temps (ou au moins sur des périodes de l'ordre de quelques dizaines de minutes) et dans l'espace. A contrario, le second est caractérisé par une certaine turbulence ; il n'est stable ni dans le temps, ni dans l'espace et comporte une part importante de véhicules en allure transitoire (régime accéléré ou décéléré).

Le type d'écoulement est un paramètre qualitatif qui doit être apprécié "in situ".

Quelques remarques sur le recueil des données :

1. La précision des résultats est évidemment fonction du soin qui a été mis à recueillir les données ; tous les paramètres n'ont cependant pas la même influence acoustique et l'intervention de l'acousticien est nécessaire à ce stade de l'élaboration de la carte.
2. Un soin particulier doit être apporté au choix de la période au cours de laquelle doivent être recueillies les données relatives au trafic ; quelques données judicieusement établies sont plus utiles qu'une masse importante d'informations peu représentatives.
3. Dans la plupart des villes de quelque importance, les services techniques municipaux disposent d'un volume parfois important de données ce qui peut alléger considérablement le recueil.

III. LA CARTE DE BRUIT :

L'exploitation des différentes données énumérées précédemment se concrétise par une carte de bruit routier aux abords des voies (dessinée de manière automatique par l'ordinateur) sur laquelle les niveaux de bruit sont visualisés par un code de 3 couleurs et indiqués numériquement sur chaque tronçon.

L'échelle de la carte, la définition des strates ainsi que toutes les inscriptions et lignes d'habillage (qui facilitent la lisibilité du document) sont laissées au choix de l'utilisateur.



Ce document graphique est accompagné de tableaux de résultats qui résument, pour chaque tronçon les principales données.

La carte de bruit ainsi obtenue ne saurait se substituer à une étude précise sur tel ou tel point sensible particulier. Elle fournit une image acoustique moyenne des tronçons en section courante aux abords des voies. Comme nous l'avons indiqué les phénomènes de propagation ont été simplifiés et les résultats ne pourraient être appliqués à des récepteurs en situation acoustique complexe. Cette limitation est la contre partie d'une indéniable facilité de mise en oeuvre (le recueil de données et la fourniture de la carte n'excèdent pas un délai de 2 ou 3 mois) et d'un coût réduit (en 1982, pour une ville de 100 000 habitants les coûts étaient compris entre 20 000 et 65 000 F en fonction du volume de données à recueillir).

La carte ainsi obtenue nous semble cependant suffisante pour aider à la solution de beaucoup de problèmes de bruit routier que rencontre l'aménageur en milieu urbain ; outre son rôle d'information auprès des techniciens et gestionnaires, elle peut constituer une aide à l'application de la législation et à l'identification des zones à problèmes.

En outre, l'outil informatique permet très facilement, en modifiant les paramètres adéquats de comparer d'un point de vue acoustique des variantes d'aménagement ou de prévoir l'impact de mesures d'exploitation destinées à fluidifier le trafic ou à modifier sa répartition.

EN RESUME le programme CARTO-BRUIT a été conçu comme un outil effectivement opérationnel ; il n'a pas la prétention de restituer une analyse fine et exhaustive de tous les phénomènes complexes qui peuvent contribuer à l'ambiance acoustique d'une ville, il a pour vocation de fournir à l'aménageur un outil informatique facile à mettre en oeuvre et peu coûteux.

Son caractère dynamique, qui le rend parfaitement apte à la prévision, et la maîtrise des divers paramètres influents par le biais du calcul sont ses deux atouts principaux.



EVALUATION ET PREVISION DES NIVEAUX SONORES DANS UN SITE URBAIN COMPLEXE*

J-P SIRIEYS ***

J. PONTHEIU ****

*** commins-bbm
33, rue des Petits Ruisseaux
91370 VERRIERES LE BUISSON
FRANCE**** Centre d'Etudes des Transports Urbains
8, avenue A. Briand
92223 BAGNEUX
FRANCE

1 - INTRODUCTION

La création d'un grand parc urbain à Paris est prévue dans un site particulièrement exposé au bruit de trafics routiers et ferroviaires. Des études acoustiques ont été entreprises dès 1981 afin que ces contraintes extérieures puissent être intégrées au mieux dans la conception générale de ce grand projet. En premier lieu, une campagne de mesures de bruit et de relevés des paramètres des trafics a été organisée dans l'état d'origine du site. Ses résultats ont ensuite été utilisés pour ajuster un modèle de calcul prévisionnel prenant en compte l'ensemble des sources sonores et les particularités du site. Enfin, ce modèle a permis de simuler des moyens de protection types vis-à-vis des principales sources sonores. Des recommandations précises concernant l'acoustique ont pu ainsi être intégrées dans le programme du concours international d'architecture dont ce projet a fait l'objet en 1982. Après une brève description de la campagne de mesures et de la méthodologie utilisée, on s'intéresse plus particulièrement au calage du programme et à la comparaison des résultats du calcul et de ceux de la campagne de mesures. En dernier lieu, est présenté un exemple de simulation des moyens de protection.

2 - LA CAMPAGNE DE MESURES

La campagne de mesures de bruit a déjà fait l'objet d'une publication (réf. 1) et on ne rappellera ici que les points essentiels nécessaires à la compréhension de l'exposé.

Les sources sonores principales ont été réparties en quatre groupes et à chacun d'entre-eux a été associé un point de mesure jugé représentatif du groupe de sources. En ces points (repérés sur la figure 1) ont été installées quatre chaînes d'acquisition synchronisées qui ont mesuré le $Leq(1\text{ mn})$ de façon continue, pendant deux semaines. Au cours de ces deux semaines, trente points secondaires ont fait l'objet de mesures ponctuelles de $Leq(1\text{ mn})$ à l'aide d'un sonomètre-intégrateur portable, synchronisé avec les quatre chaînes permanentes. Ces mesures ont été aléatoirement réparties dans le temps, de jour, de nuit et pendant

* Etude effectuée pour le compte de l'Etablissement Public du Parc de la Villette.



les week-ends, de façon à couvrir la plus grande plage possible des fluctuations de l'ambiance sonore du site. Le choix des points permanents s'est appuyé sur les résultats d'un premier calcul effectué à l'aide du programme BRUIT (réf. 2 et 3) à partir de données sommaires sur la géométrie du site et les caractéristiques des trafics.

Le traitement de ces mesures sur ordinateur, et en particulier les analyses de corrélation entre points permanents et points secondaires ont permis :

- de déterminer un $Leq(8\text{ h-}20\text{ h})$ moyen pour chacun des points,
- d'estimer la zone d'influence de chaque groupe de sources, c'est-à-dire la zone où la contribution du groupe au niveau sonore global est prépondérante.

Ces résultats sont résumés sur la figure 1 et sont largement explicités dans la référence 1. Parallèlement à ces mesures de bruit, et pour chaque, source routière et ferroviaire, ont été relevés les paramètres de trafic : densité, vitesse moyenne, répartition par catégorie de véhicules.

3 - CALAGE DU MODELE DE CALCUL

Les outils prévisionnels qui ont été utilisés pour cette étude étaient :

- pour le trafic routier, le programme BRUIT géré par le Centre d'Etudes des Transports Urbains. Ce programme, dont l'algorithme original a été conçu par l'IRT-CERNE^{**}, permet d'appréhender des sites urbains complexes et de prendre en compte un grand nombre de sources, les effets d'écrans, les réflexions sur les bâtiments, les effets de sol (réf. 2 et 3).
- pour le trafic ferroviaire, la méthode de calcul exposée dans le Guide du Bruit (réf. 4).

Le premier calcul, évoqué dans le paragraphe précédent, avait conduit à des niveaux sonores qui étaient sensiblement différents des valeurs mesurées. Un second calcul a donc été entrepris à partir :

- des relevés géométriques très précis du site et des voies routières et ferroviaires.
- des effets de sols estimés.
- des caractéristiques des trafics déterminées pendant la campagne de mesures.

Les valeurs de $Leq(8\text{ h-}20\text{ h})$ calculées en chaque point sont indiquées sur la figure 2. Des zones d'influence y sont aussi représentées. Elles ont été déterminées à partir du calcul des contributions individuelles de chaque source et en fonction de la règle suivante : le groupe de sources prépondérant est celui dont la contribution est inférieure de moins de 3 dB au niveau global. On peut comparer, sous deux aspects, les résultats du calcul et ceux de la campagne de mesures.

- précision du calage

Le tableau I ci-après indique la répartition des écarts entre valeurs mesurées et valeurs calculées. On constate que les écarts sont inférieurs ou égaux à 1 dB pour 68 % des points et qu'aucun point ne présente un écart supérieur à 3 dB.

^{**}Institut de Recherche des Transports - Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances et de l'Energie.



	$\Delta < 1$ dB	$1 < \Delta < 2$ dB	$2 < \Delta < 3$ dB
Nombre de points	23	9	2
Pourcentage	68	26	6

TABLEAU I : répartition de l'écart Δ entre valeurs calculées et valeurs mesurées [$Leq(8\text{ h}-20\text{ h})$ en dB(A)]

Cette comparaison a permis de considérer que le modèle de calcul était bien ajusté aux particularités du site urbain étudié.

- zones d'influence

On constate la grande similitude des zones d'influence issues de l'analyse des mesures et des résultats du calcul. Ceci semble montrer que les mesures simultanées de Leq pourraient constituer un moyen simple d'identification de sources dans un environnement complexe. Des études plus approfondies sur ce sujet sont en cours actuellement et les premiers résultats confirment l'intérêt de cette méthodologie.

4 - EVALUATION DES MOYENS DE PROTECTION

Le modèle de calcul a ensuite été utilisé pour déterminer l'efficacité de moyens de protection, tels que bâtiments et écrans, définis comme arêtes diffractantes interposées entre les sources et les récepteurs. Un exemple de résultats est présenté sur la figure 3. De tels calculs ont permis d'indiquer aux participants du Concours International des orientations réalistes concernant l'environnement sonore du Parc. Par la suite, ce modèle constituera un outil de conception pour le projet définitif.

5 - CONCLUSION

Au-delà de l'intérêt des outils de prévision acoustique dans les grands projets d'aménagement urbains, cet exposé montre la complémentarité des mesures sur site et des calculs. Des mesures précises permettent d'ajuster un modèle prévisionnel aux particularités d'un site urbain complexe. A l'inverse, l'approche par calcul peut fournir un moyen de tester une nouvelle méthodologie de mesure et d'analyse.

REFERENCES

1. J-P SIRIEYS, A. GERMON, New developments in the acquisition and analysis of short-term Leq series : the use of simultaneous measurements, Inter-Noise, San Francisco (1982).
2. Ministère des Transports-Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie Programme BRUIT, de calcul automatique des niveaux sonores dus à la circulation routière (1980).
3. B. FAVRE, J. PONTHEU, Le programme de calcul automatique BRUIT - un outil d'évaluation et de prévision du bruit du trafic routier, Revue Générale des Routes et Aéroports, n° 565, juin 1980.
4. Ministère des Transports - Centre d'Etudes des Transports Urbains : Guide du Bruit des Transports Terrestres - Prévision des niveaux sonores, Novembre 1980.



FIGURE 1 : Résultats de la campagne de mesures.
 $L_{eq}(8\text{ h}-20\text{ h})$ en dB(A)
Zones d'influence

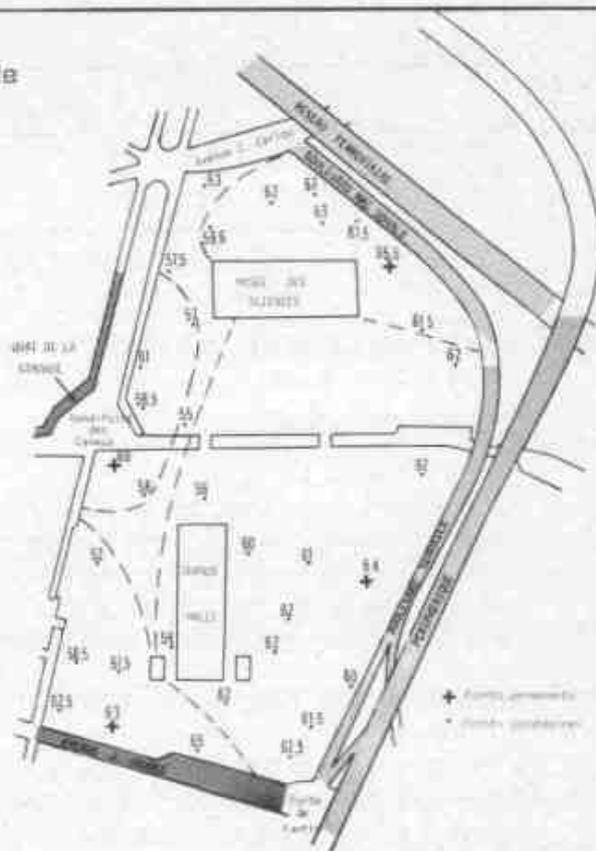
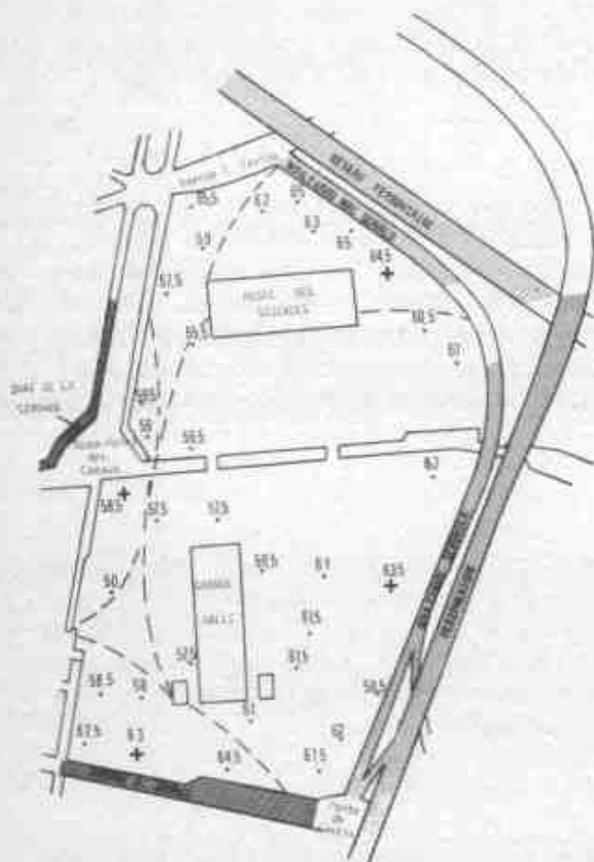
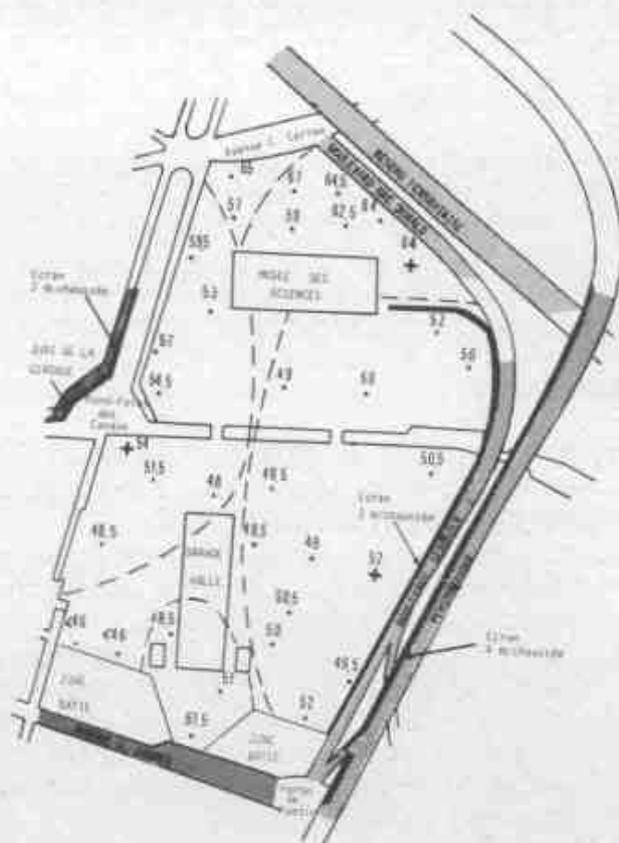


FIGURE 2 : Résultats du calcul.
 $L_{eq}(8\text{ h}-20\text{ h})$ en dB(A)
Zones d'influence



NB : dans les calculs, le bâtiment "La Grande Halle" a été considéré comme inopérant sur le plan acoustique en raison de sa structure actuelle très ouverte.

FIGURE 3 : Simulation de moyens de protection





AMÉNAGEMENT URBAIN CONTRE BRUIT URBAIN

BERINDAN Cornelia

Section d'Architecture et urbanisme - Institut polytechnique
15, rue Emil Isac 3400 Cluj-Napoca, Roumanie

L'étude des villes contemporaines a mis en évidence l'interdépendance existante entre les activités humaines déployées dans le milieu urbain et leur position en tant que sources de bruit et, en conséquence, d'agression envers la population. Ainsi, pour protéger l'environnement urbain et sa population, l'aménagement urbain ("systématisation" dans la conception roumaine) et son instrument, le plan-masse, doivent tenir compte de cette interdépendance.

Dans ce domaine, l'existence d'un instrument permettant l'intégration des données du bruit urbain dans le plan d'aménagement urbain s'impose, l'absence d'un tel instrument étant de plus en plus ressentie dans les décisions de la systématisation des villes. Dans ce but, on a établi un guide méthodologique visant l'élaboration des solutions d'aménagement urbain protégeant la ville contre le bruit causé par ses propres activités, /1/.

Nous avons conçu ce guide en 1980, sous la forme d'un "Inventaire des sources du bruit urbain" synthétisant toutes les données existantes sur le bruit urbain et rapportées, toutes, à la structure de la ville et à ses activités. Il a comme principe fondamental la relation "source du bruit - récepteur à protéger".

Contrairement aux autres études dans ce domaine, suivant le concept ci-dessus, on doit débiter par la connaissance des éléments essentiels de la ville étudiée car, seulement après ça, on a la possibilité de comprendre le complexe des facteurs qui se trouvent à l'origine du bruit urbain et de le combattre. C'est une conception à part qui rapporte les problèmes du bruit aux activités humaines dont la conséquence directe constitue l'apparition et la diffusion du bruit dans le milieu urbain.



BERINDAN: Cornelia "AMÉNAGEMENT URBAIN CONTRE BRUIT URBAIN"

Les deux premiers chapitres contiennent les données essentielles du plan-masse de la ville et leur interprétation en tant que récepteurs à protéger, ayant besoin d'un niveau de protection plus ou moins élevé. Ainsi, le nombre actuel et futur de la population, les fonctions économiques, culturelles ou (et) administratives, la mise en place par rapport au relief, les liaisons avec les artères majeures du transport national et régional, les perspectives du développement prévues par le plan d'état constituent les éléments du premier chapitre. Le deuxième chapitre fait le classement des institutions (objectifs) urbaines, présentes ou futures, ayant besoin de protection face au bruit, à voir - hôpitaux et cliniques, crèches et écoles maternelles, enseignement moyen et universitaire, institutions pour vieillards, zones résidentielles à haute densité, zones de loisirs dans la ville et autour d'elle. Pour le classement des objectifs urbains à protéger, nous nous sommes basés sur notre expérience, résultat de nombreuses études d'aménagement urbain et protection environnementale, réalisées entre 1964 et 1980. De cette manière on obtient des cartes de la ville portant des symboles graphiques représentant les emplacements et le niveau de protection établi pour les objectifs et les zones classées.

En ce qui concerne l'inventaire des sources urbaines du bruit, on est allé sur le chemin classique en groupant tous les autres chapitres du guide en deux grandes parties -
A. SOURCES MOBILES concernant A.1. les transports routiers; A.2. le tramway urbain; A.3. les transports aériens; A.4. les transports par chemin de fer; et B. SOURCES FIXES représentées par B.1. activités industrielles; B.2. activités propres aux zones urbaines; B.3. activités à caractère temporaire.

Afin de trouver les meilleures solutions dans le combat contre le bruit par la voie de l'aménagement urbain, il faut obtenir des données sur les caractéristiques de chaque source du bruit; par exemple le trafic routier doit être connu par les valeurs sur les tronçons et les noeuds clé de la ville et aussi sur les artères de liaison avec le territoire régional et le réseau routier national, par la composition et le pourcentage du trafic lourd, par les tendances de croissance ou de réduction à l'avenir, ainsi que par l'analyse du réseau des rues fonction de l'âge, du profil transversal, du matériel du pavage, etc. Dans notre pays, la plupart des villes résidences départementales possèdent des études de circulation urbaine qui peuvent fournir les données nécessaires. En plus pour les quatre villes que nous étudions, nous faisons des sondages du trafic pour le contrôle des données reçues. On finit ce chapitre par les valeurs des niveaux du bruit du trafic calculées par des formules connues /3/. On ajoute les valeurs résultées des enregistrements de contrôle et, s'il y a le cas, celles communiquées par d'autres chercheurs.

**BERINDAN Cornelia "AMÉNAGEMENT URBAIN CONTRE BRUIT URBAIN"**

Le transport urbain par tramway est pratiqué seulement dans quelques villes de notre pays. Afin de généraliser le guide méthodologique proposé, nous avons, quand même, prévu des questions similaires dans un chapitre à part (A.2.).

Le chapitre A.4. accorde une particulière attention à la présence du chemin de fer à l'intérieur du territoire urbain, conséquence de la fougueuse croissance de nos villes après la guerre. Par l'incorporation de longs tronçons du chemin de fer se sont développés des rapports de voisinage qui confrontent des zones résidentielles et d'autres objectifs à protéger avec le bruit produit par le passage des trains. Dans cette situation on doit connaître le nombre des gares, leur emplacement, le trajet que le chemin de fer parcourt dans la ville, la position des lignes par rapport au niveau du sol, les valeurs du trafic ferroviaire et sa distribution pendant le jour et la nuit. Comme les autres chapitres, celui-ci aussi est finalisé par les valeurs du bruit enregistrées auprès des objectifs à protéger.

Pour les sources fixes, le chapitre B.1. impose l'étude des aspects suivants. - entreprises connues comme sources de bruit à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments industriels; - processus, engins et installations générateurs du bruit; - emplacements dans la ville et voisins susceptibles de protection; - situations de double exposition au bruit du trafic et au bruit industriel; - valeurs des niveaux du bruit à la limite du périmètre industriel.

Pour les sources de bruit des zones urbaines (B.2.) on a pris en considération toutes les activités qui, par leur caractère engendrent la concentration de grandes masses de population et, par conséquence, sont génératrices de bruit, à voir -B.2.1. marchés et halles alimentaires; -B.2.2. stades, piscines, plages et d'autres installations pour le sport et loisirs; -B.2.3. salles de spectacles, toutes définies par leurs capacités ou nombre de places, surface, emplacements, voisins récepteurs du bruit et niveaux du bruit auprès des récepteurs. Parmi ces sources fixes nous avons dépisté une catégorie à part, celle des activités accompagnées par la musique diffusée à des niveaux bruyants comme, par exemple les théâtres, cinémas, restaurants et terrasses à ciel ouvert et, spécialement, les clubs et discothèques pour les jeunes.

Nous avons dédié le dernier chapitre du guide (B.3.) aux bruits causés par les chantiers de construction de bâtiments, activité d'une ampleur tout à fait remarquable dans toutes nos villes. Elle a été récemment confirmée comme une importante source du bruit urbain /2/.



BERINDAN Cornelia "AMÉNAGEMENT URBAIN CONTRE BRUIT URBAIN"

Nous avons utilisé le guide dans un programme d'étude de quatre villes ayant une population variant entre 70.000 et 300.000 habitants. Pour chaque ville on a prévu trois étapes de travail dont, la première année correspond aux données préliminaires, à la documentation par recueil, sélection et interprétation des informations extraites des études de circulation urbaine, d'aménagement urbain et de développement industriel. Comme résultat on réalise les deux premiers chapitres et les cartes de protection dont nous avons parlé. La deuxième étape est concentrée sur les sondages et les calculs des niveaux du bruit du trafic de la situation actuelle mais, surtout, pour les périodes à venir. L'aménagement urbain est intéressé, évidemment, à connaître l'évolution des niveaux du bruit pour les futures étapes du développement de la ville. La troisième étape correspond aux études des sources fixes et à l'élaboration du programme de mesures et solutions qui, par leur réalisation, vont favoriser la protection contre le bruit dans la ville.

Notre travail a commencé par les villes Cluj-Napoca et Mediaş et continue par Tîrgu-Mureş et Sibiu. Voici les principales conclusions qui se sont mises en évidence jusqu'ici. 1. Les cas étudiés sont des vieilles villes du pays, héritant dans la zone centrale, un réseau des rues moyenâgeux qui s'adapte difficilement à la circulation moderne. 2. La traversée de la ville par un obstacle naturel, la rivière, la présence du chemin de fer, la construction de grands quartiers modernes d'habitation et des zones industrielles en dehors de la zone centrale posent des problèmes pour les liaisons routières urbaines. 3. Les solutions proposées envisagent plusieurs aspects liés à la structure urbaine et à son fonctionnement à voir - la construction des ceintures de detour du trafic lourd, des passages et des ponts nouveaux pour le chemin de fer et la rivière; - l'élimination de la circulation automobile des vieilles rues du centre; - l'élimination ou le detour du trajet du chemin de fer en dehors des zones d'habitation; - l'isolation complexe phonique et thermique des objectifs à protéger dans les cas d'impossibilité d'élimination des rapports de voisinage bruyants; - optimisation des transports publics; - assemblage optimisé suivant la protection contre le bruit des bâtiments; - enfin, sélection des cas nécessitant des études acoustiques spéciales.

/1/BERINDAN Cornelia (1980) "Inventarul surselor de zgomot urban" Contract cercetare. Beneficiar ASM Bucureşti

/2/GILBERT Ph., VILLENAVE Madeleine (1981) "Bruits causés par les chantiers de construction de bâtiments" CSTB, cah.1745

/3/STAN A. (1980) "Unele contribuţii la estimarea nivelului de zgomot de trafic rutier în centrele urbane" Com. acustică Acad. RSR, Bucureşti, caiet. 18, pg. 33

7.8

**Bruit et environnement rural
Bruit et protection de la nature**

**Noise and environment in the country
Noise and nature protection**

Lärm und Landumgebung - Naturschutz



LA GENE DUE AU BRUIT DES LIAISONS INTERURBAINES EN RASE CAMPAGNE

VALLET M., CARRERE C., LACOSTE P.

INSTITUT DE RECHERCHE DES TRANSPORTS

Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances et de l'Energie

109, Avenue Salvador Allende

B.P. 75

69672 BRON CEDEX

I - Introduction et situation de la question

Une des toutes premières recherches sur les effets du bruit de trafic McKENNEL 1963 (1) signale que la plupart des bruits qui apparaissent en ville existent aussi en campagne, à des degrés différents ; cependant le même bruit peut provoquer une gêne plus forte en campagne qu'en ville compte tenu du bruit de fond plus bas, et pour la même raison un bruit faible peut créer une gêne importante. Le bruit de trafic est le bruit le plus fréquemment perçu dans le milieu rural HAWKINS 1982 (2). On note dans ce travail (tableau 1) l'inflexion importante du pourcentage de personnes gênées à partir du niveau de 65 dB(A) en L₁₀ (18h). On rappelle que pour un trafic soutenu les niveaux L₁₀ (18h) sont supérieurs de 3 dB(A) environ au Leq (8h-20h), ce qui conduirait à un seuil de 57-62 dB(A).

L ₁₀ (18 heures)	≤ 50	50 - 55	55 - 60	60 - 65	> 65
% personnes gênées	11 %	13 %	17 %	43 %	46 %
Effectifs	184	303	71	103	87

Tableau 1 - Gêne des habitants en fonction du bruit en milieu rural

Le rôle de la taille des villes est relevé par BRADLEY 1979 (3) : au Canada les habitants des petites villes (7000 h) se déclarent moins gênés que ceux de 2 autres villes (200 000 h et 2 millions) à niveau Leq (24h) égal. La différence de gêne ressentie apparaît à 50 dB(A) et s'accroît ensuite au fur et à mesure que le bruit augmente. Il n'y a pas de seuil de gêne bien net.

Une comparaison des effets du bruit en ville, en campagne, provoqué par les trafics routier et ferroviaire, est menée par SCHUMER 1981 (4) à l'aide d'une enquête utilisant de nombreux indicateurs de gêne. Sur 12



indicateurs, 8 sont plus sensibles au bruit urbain dont 3 présentent des différences significatives : la gêne globale de jour et de nuit, la perturbation des loisirs ; 4 indicateurs sont plus sensibles en campagne. Les résultats sont plus clairs pour la différence entre sources de bruit (route/rail) que pour la situation géographique (ville - campagne).

On note dans ces recherches la relative faiblesse de la réflexion sur la prise en compte et la caractérisation de l'ambiance acoustique : les indices utilisés sont ceux qui sont en vigueur pour la réglementation du bruit urbain. Cela constitue cependant une démarche logique dans la mesure où la première question qui se pose est l'intérêt de l'utilisation pour la rase campagne de l'indice déjà employé pour la ville, afin de ne pas multiplier les indices. On verra comment cette façon d'aborder le travail rétrécit le champ de la recherche. En conséquence, on a engagé une recherche pilote, volontairement limitée à 3 sites dont on présente la méthode et les résultats ci-dessous.

II - Méthode

2.1 - Le choix des sites

On a choisi les sites à partir de 3 critères :

- la configuration routière par rapport au bâti : un des sites est autoroutier et la voie tangente au bâti ; les 2 autres sont traversés par une route nationale
- la nature du bâti : constituée de petites habitations : dans un site il est regroupé et continu le long de la voie (village rue) ; dans les 2 autres sites il est pavillonnaire et dispersé
- la vocation socio professionnelle : la population varie de 1000 à 2000 habitants ; elle est très variée au niveau des catégories socio professionnelles : dans un site on note une population ouvrière assez nombreuse, alors que dans un autre la vocation est plus agricole.

2.2 - Caractérisation de la situation acoustique

- un point central de mesure en continu pendant 48 heures minimum
- des prélèvements par période d'un quart d'heure (entre 10 et 20 par site)
- comptages manuels du trafic VL et PL pendant la période de mesures

A l'aide des méthodes de calcul des niveaux de bruit - Guide du Bruit 1980 (5) et des données moyennes annuelles de trafic, on vérifie la représentativité des mesures. Dans deux sites la correspondance est bonne. Dans le troisième, on effectue l'affectation de niveaux de bruit "corrigés" en façade des habitations.

2.3 - Evaluation de la gêne

Elle est obtenue par une enquête psychosociologique auprès de 100 personnes par site. Le questionnaire a été établi à partir d'une quarantaine d'entretiens semi directifs. Il comprend 67 questions notamment sur la gêne générale et la gêne comportementale, à l'intérieur et à l'extérieur du logement. Il a été testé sur une dizaine de personnes.



III - Résultats

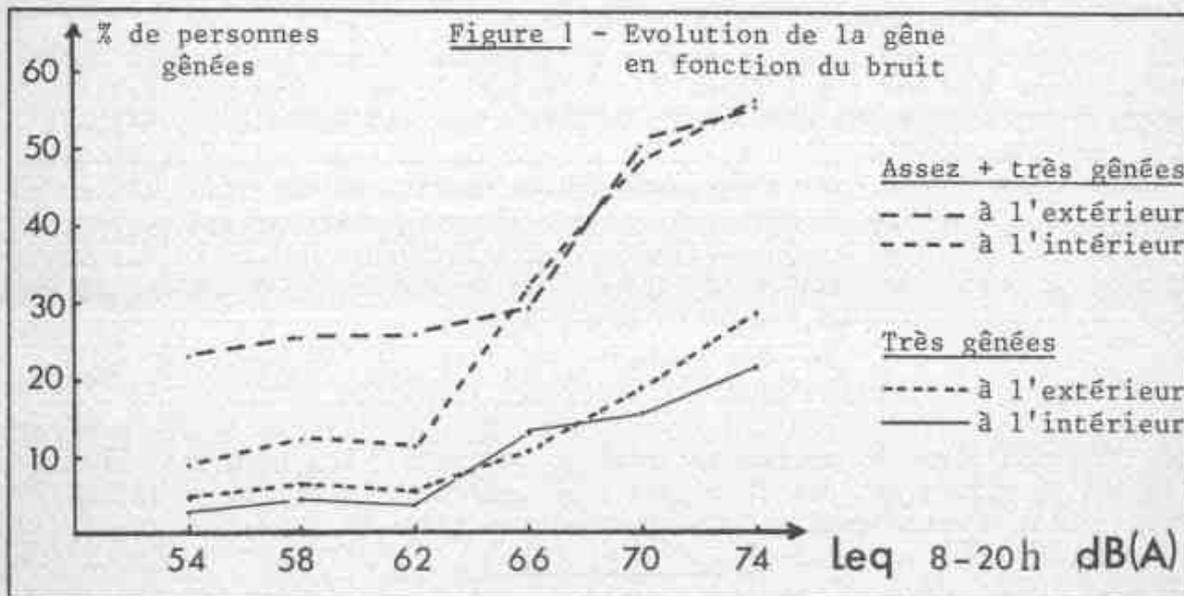
3.1 - Trafic et bruit

Tableau 2

Site	Anneyron	Fleury	Colpo
Voie	Route CD 1 2 voies	Autoroute A 9 2x2 voies	Route CD 767 2 voies
Trafic (TMJA)	2800	19 000	4400
% Poids Lourds	15	25	15
Leq 8h - 20h	72	66	69
Leq 22h - 6h	62	58	62
Au point central			

3.2 - Aspects de la gêne

Les résultats concernent les aspects de gêne globale et les réponses comportementales au bruit (fig. 1). On note l'aspect important de la gêne à l'extérieur des logements. A partir de 62 dB(A) le pourcentage des personnes très gênées augmente fortement.



L'examen des distributions des diverses évaluations de la gêne et la comparaison des seuils en milieu rural et urbain (à l'aide d'un programme de segmentation pour l'analyse des données) est résumé au tableau 3. Les seuils de la colonne milieu urbain sont fournis par l'étude de LAMBERT 1979 (6).

Tableau 3

Réponses de gêne en % de l'échantillon	Seuils de services	
	Milieu rural	Milieu urbain
% très gêné	61	60
% gêné	61 - 62	60
% fermeture des fenêtres	65	62
% prise de somnifères	62	58

Pour la gêne globale, les niveaux seuils sont à peu près équivalents en ville et en campagne, alors qu'ils sont un peu plus élevés en milieu



rural pour les aspects comportementaux de la gêne.

IV - Discussion et conclusion

On considère avec une grande prudence ces résultats : la liaison entre la gêne et le bruit est très modérée. Ce travail pilote aura permis de repérer les difficultés de la recherche dans ce domaine :

- au niveau de l'échantillon de l'enquête : il est nécessaire de considérer davantage les niveaux de bruit plus bas (plutôt 50-60 dBLeq(A) ou mieux des trafics plus faibles que ceux observés. Il convient en outre d'augmenter très nettement l'échantillon pour cerner le rôle des facteurs non-acoustiques
- la réalisation de l'enquête sur le terrain doit être très réduite dans le temps car les informations relatives aux questionnaires circulent très vite dans les bourgades
- on ne dispose pas au plan des mesures acoustiques des éléments pour une description suffisante et pour caractériser l'ambiance acoustique et sa stationnarité compte tenu des fluctuations des émissions sonores (jour-nuit, semaine-week-end, été-hiver) et de celles du milieu de propagation dès que la distance à la voie augmente.

Ce constat empêche, pour le moment, de tester l'intérêt d'autres indices acoustiques que Leq ; à l'issue de ce travail on considère que la différence entre l'ambiance de jour et de nuit n'est pas assez soulignée par Leq. Pourtant WEHRLI (7) a testé le Leq sur la nuit en milieu rural et urbain, et a montré que la consommation de somnifères est bien liée à cet indice. A notre sens on doit réfléchir à d'autres descripteurs de la situation que les indices énergétiques ou statistiques, qu'ils soient acoustiques ou de trafic. KRAUSE (8) suggère de considérer la durée des silences, en complément d'un indice du bruit moyen.

L'évaluation de la gêne due au bruit des liaisons interurbaines montre qu'il existe un problème bien réel pour les riverains de ces voies. Les attentes de ces personnes vis à vis du bruit sont différentes des niveaux que les habitants des villes ne font que supporter. Les résultats présentés ici ne permettent pas de proposer un indice et un seuil ; ils incitent plutôt à approfondir ce domaine qui constitue un thème de recherche en soi.

- 1-McKENNELL AC, HUNT EA, The Government Social Survey SS 332 (WILSON Rep.) Aircraft Noise Around London Airport 1966 Londres HMSO.
- 2-HAWKINS MM, An exploratory study of response to sound (including noise) occurring in rural Hampshire and Wiltshire Rep. 80.11 ISVR Southampton.
- 3-BRADLEY A, JONAH I, The effects of site selected variables on human response to traffic noise - Part III : Community size by socio-economic status by traffic noise level JSV (79) 67 (3) 395-425.
- 4-SCHUMER-KOHRIS A, Comparaison de la gêne provoquée par le bruit de la circulation routière et celui de la circulation ferroviaire en zone urbaine et rurale. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 28-123 (81) IRT-CERNE 1982.Trad
- 5-Guide du Bruit des Transports Terrestres - Prévision des niveaux sonores CETUR 1980.
- 6-LAMBERT J, SIMONNET F, VALLET M, Comportements dans l'habitat soumis au bruit - Rapport IRT n° 47 - 1980.
- 7-WEHRLI B, et al. Auswirkungen des Strassen verkehrslärm in der Nacht. Kampf dem Lärm (78) 25 - 138 - 149.
- 8-KRAUSE M, Messung der Ruhe, Kampf dem Lärm 25 75-79 (1978).

7.9

**Réseaux de surveillance
Paysage sonore**

**Surveillance networks
Environmental sound**

Überwachungsnetz - Tonlandschaft



SMIGELSCHI M, STAN A. - INFLUENCE ACOUSTIQUE COMPOSITION ESPACES

Pour les aveugles [3], qui compensent partiellement l'absence de la vue par l'ouïe, les êtres, les objets et les espaces aussi, ont un "portrait sonore". Les mêmes impressions, produites par les caractéristiques du climat sonore, sont présentes - évidemment d'une manière plus effacées - chez les hommes ayant une vue normale.

Comme nous l'avons montré [1], le climat sonore d'un espace peut être caractérisé par le niveau sonore qui lui est propre et - dans une plus grande mesure - par un complexe de caractéristiques - dénommé ici "SONORITÉ" et défini par la réverbération et le mode de succession des réflexions. Ces dernières sont unanimement considérées importantes dans le cas des salles d'audition. Le dosage conscient dans un but fonctionnel et esthétique de ces caractéristiques devrait être réalisé aussi à d'autres genres d'espaces indifféremment de leur fonction.

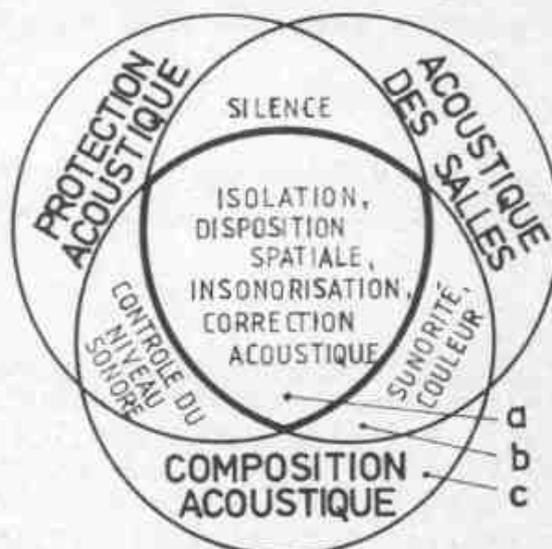


Fig. 2. Procédés (a), caractéristiques (b), domaines (c) de l'acoustique architecturale.

COMPOSITION ACOUSTIQUE. Cette préoccupation que nous avons dénommée "composition acoustique" est basée (fig. 2) sur les mêmes procédés et caractéristiques utilisés dans les domaines classiques de l'acoustique architecturale - protection acoustique et acoustique des salles, mais en poursuivant surtout des fins esthétiques.

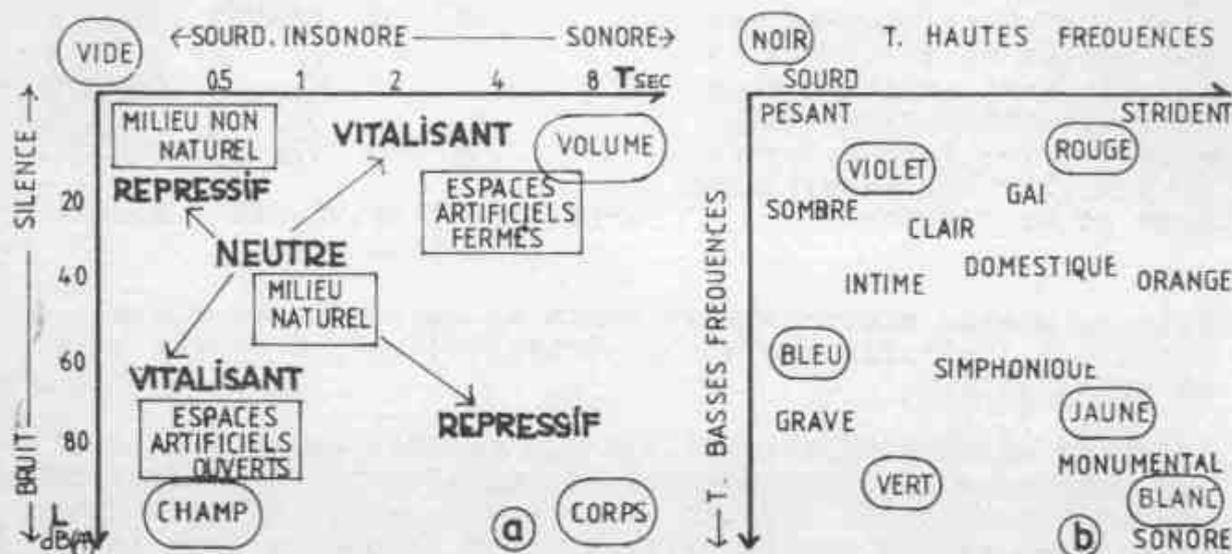


Fig. 3. Effets psychologiques de l'espace sonore (a) et de l'espace couleur (b).



SMIGELSCHI M, STAN A-INFLUENCE ACOUSTIQUE COMPOSITION ESPACES

Les effets psychologiques des caractéristiques nommées plus haut et par conséquent le mode dont celles-ci peuvent influencer la personnalité de l'"ESPACE SONORE" sont représentés dans la fig.3 a. En même temps, l'absorption sélective conduit à la modification du spectre sonore qui peut être assimilé à la "coloration" de celui-ci et même à des nuances en ce qui concerne les effets psychologiques (fig.3b) de "L'ESPACE COULEUR".

Les PROCÉDES utilisés pour influencer d'une manière consciente les effets psychologiques du climat sonore sont analogues aux procédés "visuels" utilisés dans la composition architecturale. Les caractéristiques sonores étant en général moins prégnantes que les caractéristiques visuelles, les procédés les plus adéquats sont ceux basés sur des contrastes, donc plus facilement percevables. Les procédés peuvent se rapporter aux espaces, aux sous-espaces, aux successions d'espaces, à la séparation de certains espaces et à la couleur sonore.

Espaces. Un espace insonore paraît plus petit et un espace sonore plus grand qu'ils ne sont en réalité. Un plafond réfléchissant paraît placé plus haut tandis que traité de manière phonoabsorbante il paraît plus bas. L'accentuation dans un espace insonore d'une direction est possible en plaçant convenablement deux surfaces réfléchissantes. Une paroi réfléchissante dans une ambiance insonore repousse et elle est imposante tandis qu'une surface ou une zone fortement phonoabsorbante dans un espace moyennement sonore crée une impression de vide et attire.

Sous-espaces. Un groupage d'au moins trois surfaces adjacentes réfléchissantes conduit à une augmentation locale du temps de réverbération et implicitement du niveau sonore. Des niches ou sous-zones insonores dans un espace de grandes dimensions paraissent d'autant plus intimes et calmes que l'ambiance générale est plus sonore.

Rapprochement et succession d'espaces. Leurs sonorités peuvent être gradées ou contrastantes, contraste qui peut être accentué par des différences de niveaux sonores. Le passage du sonore à l'insonore impose une attitude plus retenue, le passage d'un espace très insonore dans un espace moyennement sonore donne une sensation de soulagement. Le passage dans un espace très sonore mais silencieux impose par sa monumentalité.

Séparation acoustique. Une séparation transparente visuellement peut être réalisée par des vitrages. Quand il est nécessaire d'avoir en plus une continuité des espaces, la séparation acoustique peut se faire par l'éloignement, des échicanes dans le tracé sonore, des écrans-éventuellement transparents. Une forte insonorisation est néanmoins nécessaire.

La couleur sonore. représente un raffinement de l'insonorisation étant influencée aussi par le spectre des "événements sonores" qui se déroulent. Les effets de la couleur sonore peuvent être déduits de la fig.3b.



SMIGELSKI M, STAN A - INFLUENCE ACOUSTIQUE COMPOSITION ESPACES

En conclusion, nous apprécions que par l'application des idées et méthodes présentées, les solutions architecturales peuvent devenir plus intéressantes en servant mieux leur but.

Comme par exemple:

- dans les expositions ou musées, il est possible de recomposer le climat sonore d'origine des objets exposés, accentuer certains espaces ou directions, interrompre la monotonie des parcours plus longs;
- les foyers des salles de spectacle peuvent être en contraste ou en continuité avec les caractéristiques de la salle elle-même, ou, on peut réaliser une gradation de l'insonore au sonore;
- dans les bâtiments publics, des espaces d'apparat en contraste avec les accès et circulations sont mieux remarqués;
- les chalets ou villas à lambris et planchés en bois sont gais en raison du climat insonore mais favorisant les hautes fréquences. D'autre part, l'absorption surtout des hautes fréquences est adéquate aux espaces à caractère représentatif.

Une utilisation intéressante des mêmes procédés peut être réalisée dans les bâtiments pour les aveugles. Les parois peuvent être marquées en différenciant leurs qualités phonoabsorbantes. Des portions réfléchissantes peuvent marquer certaines zones sur des parois phonoabsorbantes et inversement. Les portes situées dans des parois réfléchissantes peuvent être traitées d'une manière phonoabsorbante donnant ainsi, même fermées, la sensation d'un passage. Dans des grands espaces, on peut marquer des circulations ou des directions par des zones de sol et de plafond en contraste avec les autres surfaces.

Bibliographie

- 1 Smigelschi M, Stan A - Quelques considérations concernant les qualités acoustiques des espaces clos, vues comme moyens de composition architecturale - 9 I.C.A. - B2.
- 2 Marshall McLuhan - D'oeil à oreille, Denoël/Gauthier, France 1977.
- 3 Warren Brodey - Histoires d'aveugles, Architecture d'aujourd'hui 145/1969.
- 4 Jurgen Joedieke - Remarques préliminaires à une théorie de l'espace architectonique, Bauen + Wohnen 9/1968.
- 5 D. Tatuşescu, A. Panaitesco - L'insonorisation des grandes pièces des constructions socio-culturelles, III Conf. ac., Bucarest 1969.

[Faint, illegible text covering the majority of the page]

[Faint text in a box]

11.