

# Le confort sonore et la métrologie acoustique

*Jean-Jacques Delétré*

*Centre de Recherche sur l'Espace Sonore (URA CNRS 1268)*

*Ecole d'Architecture de Grenoble*

*10, Galerie des Baladins*

*F-38100 Grenoble*

## Résumé

Une demande de confort sonore s'exprime de plus en plus à travers les enquêtes réalisées ces dernières années. Si cette demande est fondée, peut-on y répondre, et existe-t-il des outils permettant de vérifier que certains critères de confort sonore ont été atteints?

A travers un bref rappel historique montrant l'évolution des outils acoustiques, dans deux directions: la réglementation et les salles de spectacle, on suggérera une troisième voie de travail où l'acousticien, à l'écoute de l'architecte et des sciences humaines créera de nouveaux outils.

## Summary

Recent studies have shown an increased demand for comfortable sound. Assuming that this demand is justified, one may wonder whether it is possible to meet it. Further, are there tools that can be used when checking that certain sonic criteria have been satisfied?

A short history of acoustic tools is presented, concerning in particular both the relevant laws and the evolution of buildings in which spectacles are presented. We suggest that acousticians should create new tools, with the help of architects and social scientists.

## 1. Introduction

La définition du confort sonore est très complexe, et ce n'est certes pas à l'ingénieur de tenter de le définir lorsqu'il travaille avec des spécialistes des sciences humaines ou des architectes.

Par contre repérer les paramètres qui concourent à ce confort est le premier pas vers une définition, et ensuite vers une création d'outils susceptibles de répondre aux questions que se poseront les équipes travaillant sur ce sujet. Enfin il faudra valider ces outils dans le maximum de situations possibles.

Cette approche est volontairement simple, et elle ne peut se borner à être quantitative, car en effet le confort sonore (la qualité sonore?) dépend du lieu, de l'instant, de la durée, des situations personnelles et interpersonnelles ...

Dans ces domaines la métrologie acoustique a développé certains outils que nous allons retrouver dans ce survol historique, mais beaucoup d'autres restent encore à créer.

## 2. La préhistoire ou la beauté des notes

De tous temps les musiciens, les philosophes, les architectes ont travaillé sur des approches esthétiques ou mathématiques des relations entre les fréquences acoustiques, et de Pythagore aux architectes modernes ou aux musiques sérielles, une longue chaîne unit les protagonistes de cette préhistoire.

De cette époque, de ces critères essentiellement subjectifs ou basés sur des équilibres harmoniques, nous passerons à une histoire plus récente et plus complexe, sans oublier les travaux actuels dont Xenakis (1976) illustre parfaitement la tendance.

## 3. L'histoire ancienne ou la beauté du neuf

### 3.1. *Les premiers outils destinés à la mesure de fréquence et de niveau*

Ils apparaissent au début de ce siècle, et dans les années 1930, à la suite des travaux des américains Fletcher et Munson (1933), repris par d'autres, ou peut considérer que la difficulté de faire varier sur un instrument de mesure à la fois la fréquence et l'intensité a imposé l'idée du décibel pondéré, et en particulier du dBA. Cette étape est importante, car elle marque le début d'une suite de simplification dans les outils acoustiques (justifiés par les moyens techniques de l'époque), que l'on aura des difficultés à remettre en cause actuellement (malgré des moyens informatiques).

Peu à peu le dBA s'impose comme outil global de mesure dans le bâtiment, et en parallèle, les outils d'analyse en fréquence se codifient (décibel par octave, par 1/3 d'octave ...) non sur les seuls critères physiologiques, mais bien sur des "harmonies préhistoriques": les mesures par octave s'effectuent à 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz; celles par 1/3 d'octave à 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz ... (ces trois nombres correspondent aux exposants multiples des racines dixièmes du chiffre 10).

Ces outils qui servent quotidiennement à notre époque (même si les capteurs et les analyseurs ont bien changé) ont également permis la mise au point des divers aspects réglementaires et des codes de mesure (niveaux à ne pas dépasser dans telle et telle condition). Ici encore avec le recul du temps les outils paraissent pauvres, mais ils sont toujours utilisés. Citons par exemple la machine à chocs (générateur de chocs étalon!): elle comprend 5 marteaux métalliques également espacés en ligne, chaque marteau a une masse de 0,5 kg, sa hauteur de chute est de 4 cm, la machine produit 10 coups par seconde ... Cet instrument sert à la mesure réglementaire des bruits d'impact, et en particulier des bruits de pas ! Mais si elle peut simuler à la rigueur un pas rapide à talons durs, quelle différence avec un parquet qui grince, un meuble qui bouge (chaise)... Cependant sa simplicité la fait adopter au détriment d'autres méthodes.

### 3.2. *L'acoustique des salles*

Une autre voie s'est ouverte avec les travaux de Sabine vers 1900. C'est celle de l'acoustique des salles, et donc d'une étude scientifique de la qualité sonore des salles. Les théories de Sabine (1922) seront reprises et démontrées un peu avant la deuxième

guerre mondiale par Eyring (1930) puis Millington (1932) qui d'ailleurs entreprendront les premiers travaux théoriques sur le sujet. Sabine cependant a défini un critère: la durée de réverbération, et son intuition a été la bonne puisque cet outil non seulement subsiste mais se perfectionne.

Cependant ce critère s'avère vite insuffisant pour caractériser la qualité acoustique d'une salle, et après la deuxième guerre mondiale Beranek (1962) aux USA va entreprendre un long travail de croisement de critères objectifs qu'il créera, et de critères subjectifs déjà répertoriés dans le langage musical (enquête auprès des utilisateurs des salles de concert ou d'opéra).

Cette piste de travail va peu à peu développer son autonomie par rapport à la précédente, et à partir des années 1960 on assiste à l'explosion des laboratoires de recherche en acoustique, et, corrélativement, à celle de méthodes et d'outils variés.

#### **4 . L'histoire contemporaine ou la beauté des outils**

Deux types de pistes se développent donc:

- l'une à caractère plutôt réglementaire, à finalité habitat sous toutes ses formes;
- l'autre étudiant les caractéristiques internes du son dans un local (dans cette voie je passerais sous silence, pour ne pas surcharger le propos, toutes les techniques et les recherches sur l'intelligibilité et la compréhension d'un message sonore dans une salle).

Ces deux chemins se croiseront par moment, mais de façon rapide, seules quelques recherches marginales tenteront des synthèses ou des approches différentes, sur les différents modes d'évaluation des niveaux sonores, de nombreux auteurs, dont Lienard (1974) et plus récemment Mercier (1987), ont donné un large panorama, montrant la difficulté de cette mesure.

##### *4.1. Le développement de la réglementation du bâtiment et des locaux de travail*

Il va entraîner une codification et une rigidification des méthodes de mesure en situation difficile (hors du laboratoire, durant ou hors des horaires de travail, de nuit, avec un matériel lourd à transporter, nécessitant souvent une alimentation électrique...). Quelques exemples pris dans l'arsenal réglementaire exprimeront bien mieux ces difficultés et cette nécessaire rigidité.

**- Le bruit rose:** Lors de la mesure de l'isolement d'une paroi (ou de l'isolement entre deux locaux) il est manifeste que le type de bruit qui est émis a une incidence importante sur le résultat de la mesure. Donc un bruit type est codifié (bruit blanc, puis plus tard bruit rose), facile à reproduire, mais qui ne correspond en rien à des bruits émis depuis le voisinage. De plus, les difficultés de mesure dans les fréquences graves obligent à limiter celles-ci à la plage 90 à 5 600 Hz (6 octaves) (rappelons que le domaine audible humain s'étend de 20 à 20'000 Hz).

**- Durée de réverbération conventionnelle:** Le niveau sonore reçu dans un local dépend du type d'ameublement et des absorbants situés dans la pièce où l'on fait la mesure. Le législateur qui veut mesurer le local, et non le mode de vie, fixe

alors une absorption conventionnelle, et toutes les mesures seront recalculées pour correspondre à cette absorption légale!

- *La machine à chocs* a déjà été évoquée.

- *Le niveau équivalent* résulte de l'impossibilité de mesurer l'isolement par rapport à un bruit extérieur (fluctuant par nature). On en arrive donc à la création d'un outil énergétique, l'énergie sonore moyenne dans la durée prise en compte, c'est-à-dire le niveau sonore constant qui aurait produit la même énergie sonore dans le même temps); puis cet outil est testé sur un grand nombre de riverains de voies routières dans différents pays, pour s'imposer ensuite dans les réglementations, et devenir la référence unique.

Bientôt cet outil devient prévisionnel: par des méthodes très diverses (abaques, modèles mathématiques, maquettes) on prévoit le bruit équivalent qui sera généré lors de la création d'une nouvelle voie de circulation routière si les conditions de circulation sont de telle ou telle nature. Et ces outils sont fiables!

Ce dernier exemple est très caractéristique d'une incapacité à répondre à la question posée: quelle est la relation actuelle entre la métrologie et le confort acoustique?

En effet on peut admettre qu'à la question: "Quel sera le bruit reçu au 3ème étage de ce boulevard lorsque circulera une mobylette Peugeot 51 possédant des caractéristiques d'émission parfaitement connues (usure des différentes parties, type de conduite précisé ...) soit dans un flot de véhicules, soit seule de nuit?", différentes équipes sont à même de répondre et peuvent éventuellement trouver que la question est bien simple, compte tenu de leurs possibilités d'analyse et de calcul.

Par contre si on demande ensuite, "Quelle sera la réaction de la famille X mise dans ce local au 3ème étage lors du passage de la mobylette?", il est actuellement clair, que même par une réponse statistique la réponse n'existe pas, ou alors de façon très imprécise. Et même en limitant la question à une existence (ou non) de gêne, peu de chercheurs se hasarderaient à affirmer sa présence (ou son absence).

#### 4.2. *Les connaissances en acoustique des salles*

Elles ont fortement progressé avec l'apparition de l'informatique, et actuellement le dépouillement de la réponse impulsionale d'une salle (en théorie la façon dont l'extinction d'un son infiniment bref a lieu dans cette salle) permet de tirer de nombreux critères objectifs dont la liaison à des critères subjectifs est prouvée ou probable. De plus cette analyse se fait de plus en plus de façon stéréophonique (ce qui est la moindre des choses!). Dans ce domaine, la piste du confort sonore est véritablement investie par les équipes de recherche qui ont cherché une métrologie adaptée à des sensations depuis longtemps répertoriées par les usagers des salles de spectacle (couleurs, brillances, chaleur, intimité...). Une simplification des outils, et une meilleure commercialisation des matériels permettront sans doute d'adapter ces techniques à l'environnement sonore du quotidien.

#### 4.3. *Une troisième voie de recherche*

Elle reste véritablement à ouvrir pour tenter d'avoir une meilleure connaissance du confort sonore. Citons cependant quelques tentatives intéressantes réalisées par Leipp (1971):

- le sonagramme, qui était un outil limité dans le temps d'analyse, mais très pratique pour l'interprétation (les outils informatiques en 3 dimensions sont à mon avis moins "parlants" qu'un sonagramme).
- l'intégrateur de densité sonore, qui avait le mérite de casser le sacro-saint découpage en fréquence, et de lui en substituer un autre plus en liaison avec les sensations humaines

Cependant cette 3ème voie ne verra le jour que si d'autres chercheurs que les acousticiens ou les spécialistes du traitement du signal se forment un minimum dans ces domaines et se mettent à formuler des exigences raisonnables dans un premier temps... puis de plus en plus spécifiques à leurs méthodes d'analyse. Et il faudra bien sûr comme en acoustique des salles croiser les critères, donc les champs disciplinaires.

L'acoustique des salles est parvenue à une bonne corrélation entre le mesuré et l'entendu, son domaine était bien cerné, et son public assez réceptif à l'enquête. Pourtant il a fallu 30 ans pour que les premières salles basées sur ces travaux voient le jour, et nous n'avons pas encore assez de recul pour juger de façon sereine des résultats. Le travail interdisciplinaire entrepris depuis 10 ans par l'équipe du Centre de Recherches sur l'Espace Sonore (CRESSON) qui a mis en valeur la pertinence de l'"effet sonore" (voir article de J.F. Augoyard) semble prometteur dans cette troisième voie, mais il est malheureusement trop exceptionnel. Peu d'équipes se préoccupent des relations complexes qui lient le confort sonore à l'environnement, et très peu envisagent sa mesure, alors qu'il nous semble que les usagers demandent de plus en plus une qualité sonore de leurs espaces d'habitation (ou de travail et de transport), et que cette demande s'exprime bien au delà d'une simple réduction du bruit de voisinage. Besoin véritable, envie passagère ou phénomène de mode... c'est aussi la réponse à une de ces questions qui créera une dynamique de recherche dans ces domaines.

## BIBLIOGRAPHIE

- BERANEK, L.L. (1962 ), "Music, acoustics and Architecture" (Wiley, New York).
- COLLECTIF. (1981), "La qualité acoustique des lieux d'écoute" (CNRS, Paris).
- EYRING, C.F. (1930), Reverberation Time in Dead Rooms, *Journal of the Acoustical Society of America*, (1933) 5.
- FLETCHER, H. & MUNSON, W.A. (1933), Loudness, its Definition, Measurement and Calculation, *Journal of the Acoustical Society of America* (1933) 5.
- LEIPP, E. (1971), "Acoustique et musique" (MASSON, Paris).
- LIENARD, P. (1974), "Décibels et Indices de bruit" (MASSON, Paris).
- MERCIER, D. (1987), "Le livre des techniques du son" (Eyrolles, Paris).
- MILLINGTON, G. (1932), A Modified Formula for Reverberation, *Journal of the Acoustical Society of America*, (1932) 1.
- SABINE, W.C. (1922), "Collected Papers on Acoustics" (Harvard University Press, Cambridge, Mass.).
- XENAKIS, (1976), "Musique et architecture" (Casterman, Paris).