

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Calcul de la Puissance Acoustique Rayonnée par les Parois d'un Bâtiment vers Le Milieu Extérieur

Thierry Simoneau¹

¹Acoustique et Conseil, 13 Rond-point de la Gare, 13770 Venelles, ts@acoustique-conseil.com

L'application du principe de conservation de l'énergie acoustique réverbérée et de l'hypothèse de diffusion homogène permet d'établir un modèle de calcul à la fois simple, original, flexible et robuste de la puissance acoustique rayonnée par les parois d'un bâtiment de géométrie quelconque vers le milieu extérieur. Ce modèle consiste dans un premier temps à décomposer le bâtiment et ses locaux en cellules de dimensions équivalentes et à appliquer la théorie des couplages en régime stationnaire entre cellules. Dans un second temps, la densité d'énergie réverbérée est estimée pour chaque cellule. Sur cette base, la puissance rayonnée vers l'extérieur par chaque paroi ou élément de parois du bâtiment est calculée. Dans cet article, le principe du calcul est d'abord exposé, puis les résultats des différentes validations expérimentales sont récapitulés. Enfin, en vue d'illustrer la théorie, sur la base des données de puissance sonore des sources de bruit, d'absorption et de transparence de parois, un calcul complet est présenté sur un exemple de bâtiment industriel simple. Finalement, les intérêts et les limites du modèle font l'objet d'une discussion.

1 Introduction

L'ingénieur acousticien réalise des études d'impact sonore de bâtiments industriels, musicaux ou autres, sur leur environnement. Dans ce cadre, préalablement au calcul des niveaux sonores extérieurs, il lui est nécessaire d'estimer les puissances sonores émises par les parois du bâtiment lorsqu'elles sont excitées par des sources sonores intérieures. Cet article présente une méthode simple et fiable pour la réalisation de ces calculs préliminaires.

2 Théorie

2.1 Principe général

La prise en compte de la géométrie du bâtiment est effectuée sur la base de la théorie des salles couplées en régime stationnaire. Un bâtiment de géométrie complexe peut être décomposé en un ensemble de cellules de dimensions x , y et z homogènes, communiquant entre elles via des parois, éléments de parois ou des ouvertures. Le champ acoustique réverbéré dans une cellule ainsi définie est alors homogène, conformément à la théorie de Sabine [2].

La puissance rayonnée par les éléments de parois extérieurs est alors évaluée à partir du principe de conservation de l'énergie. Il se résume comme suit :

- L'énergie réverbérée dans une cellule provient d'une part des sources de bruit situées dans celle-ci, d'autre part des sources de bruit situées dans l'ensemble des autres cellules constituant le bâtiment.
- L'énergie réverbérée perdue dans une cellule est soit absorbée par ses parois, soit transmise aux autres cellules, soit transmises au milieu extérieur.

L'écriture de ce principe aboutit à un système de N équations linéaires à N inconnues, N étant le nombre total de cellules, dont la résolution mène à la détermination des puissances acoustiques rayonnées vers l'extérieur.

2.2 Calcul

En résumé, le problème s'écrit mathématiquement comme suit [8] :

$$\sum_i A_{ij} \varepsilon_i = \frac{4}{c} W_j \quad (1)$$

Avec :

W_j : puissance acoustique des sources dans la cellule j (W)

ε_i : densité d'énergie réverbérée dans la cellule i (J/m^3)

A_{ij} : élément de la matrice de couplage (m^2)

c : célérité du son (m/s)

Les éléments de la matrice $[A_{ij}]$, appelée matrice de couplage s'expriment comme suit :

$$A_{ij} = -\tau_{ij} S_{ij} \text{ si } i \neq j \quad (2)$$

$$A_{kk} = A_k + \sum_{l \neq k} \tau_{kl} S_{kl} + \sum_m \tau'_{km} S'_{km} \quad (3)$$

Avec :

τ_{ij} : coefficient de transmission de la paroi séparant les cellules i et j (égal à 1 s'il s'agit d'une ouverture)

S_{ij} : surface de la paroi séparant les cellules i et j

A_k : aire d'absorption équivalente de la cellule k

τ'_{ij} : coefficient de transmission de la $j^{\text{ème}}$ paroi extérieure de la cellule i

S'_{ij} : surface de la $j^{\text{ème}}$ paroi extérieure de la cellule i

La résolution du système [1] permet la détermination des densités d'énergie ε_i . La puissance acoustique rayonnée vers l'extérieur par le $i^{\text{ème}}$ élément de paroi de la cellule k s'écrit alors :

$$W_{kl} = \frac{c}{4} \tau_{kl} S_{kl} \varepsilon_k \quad (4)$$

3 Validations expérimentales

La théorie a fait l'objet de validations expérimentales, dans différents cas, présentées dans de précédentes publications. Elles sont récapitulées ci-dessous.

3.1 Décroissance du son dans des locaux longs

L'intérêt et la puissance de la méthode est qu'elle permet le calcul des niveaux sonores intérieurs et des puissances acoustiques extérieures dans le cas de locaux à géométrie atypique, tels que des locaux longs, dans lesquels le champ réverbéré n'est pas homogène. La méthode consiste à découper le local en plusieurs cellules de dimensions similaires, couplées entre elles par des ouvertures.

Des mesures du champ sonore ont été réalisées dans une station de métro [7]. Les résultats de calcul ainsi obtenus ont été comparés aux valeurs expérimentales (cf. figure 1). Une bonne concordance de la théorie avec les mesures est obtenue, avec une erreur maximale de 1 dB.

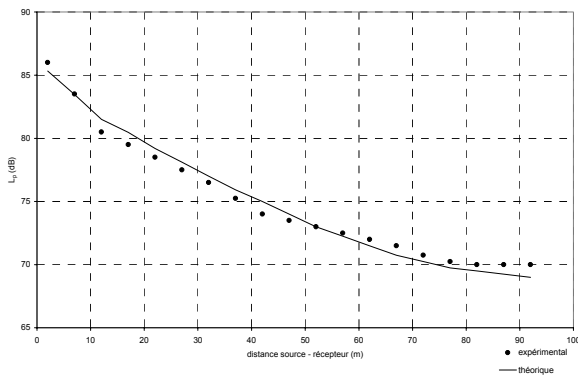


Figure 1 : Décroissance du niveau sonore avec la distance, à 1 kHz, dans une station de métro. La courbe en traits pleins présente les résultats théoriques. Les points présentent les résultats de mesures.

3.2 Couplage de trois locaux en série fermés entre eux

Des mesures du niveau de pression acoustique ont été réalisées entre trois locaux couplés en série [8], séparés par des portes (sas acoustique) (cf. figure 2.). L'analyse des résultats montre une concordance de l'ordre de 1 dB entre l'expérience et la théorie.

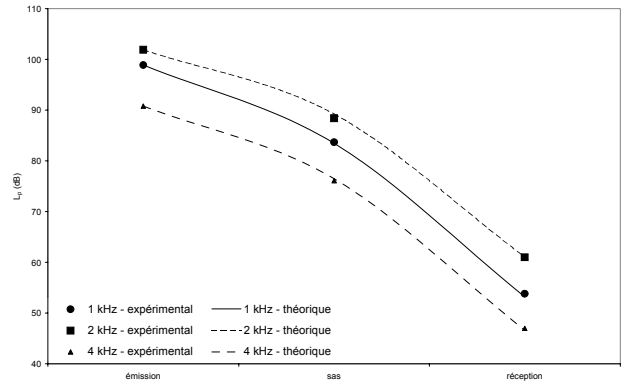


Figure 2 : Niveau sonore réverbéré dans les 3 salles couplées en série, fermées entre elles.

3.3 Couplage d'un local vers l'extérieur

Enfin, la validation expérimentale du couplage de l'intérieur vers l'extérieur a été réalisée [8]. Le niveau de pression extérieure a été mesuré à différentes distance de la paroi d'un local contenant une machine bruyante (cf. figure 3).

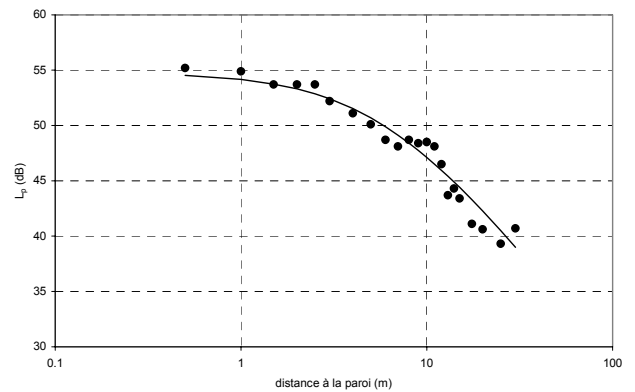


Figure 3 : Niveau sonore extérieur en dB[A], à distance croissante de la paroi d'un bâtiment. La courbe en traits pleins présente les résultats théoriques. Les points présentent les résultats de mesures.

4 Exemple numérique

4.1 Présentation

En vue d'illustrer la méthode, un bâtiment industriel simple a été imaginé. Il est constitué d'un hall d'accueil communicant sur un atelier comprenant une machine bruyante (cf. figure 4).

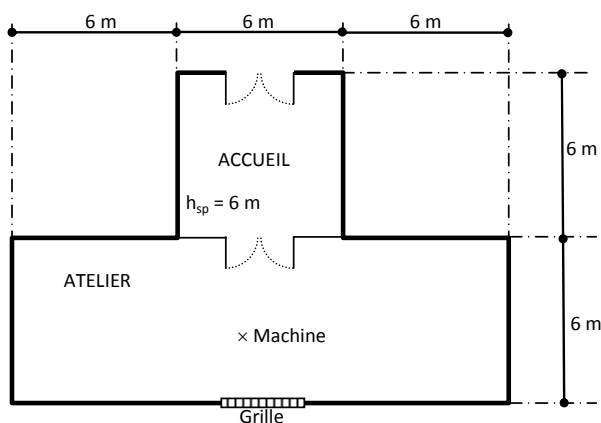


Figure 4 : Bâtiment industriel étudié (vue en plan).

L'objet de l'étude est le calcul de la puissance acoustique rayonnée par les différents éléments de parois (murs, toiture, porte de l'accueil, grille) vers l'environnement extérieur.

4.2 Discretisation du bâtiment

Conformément aux principes développés précédemment, le bâtiment a été discrétisé en quatre cellules de dimensions quasi-identiques (cf. figure 5). Ainsi, l'atelier, trois fois plus long que large, a été découpé en trois cellules, couplées entre elles par des parois « fictives » d'indice d'affaiblissement nul.

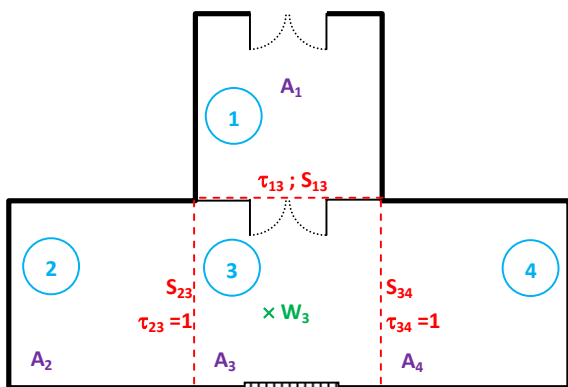


Figure 5 : Discretisation du bâtiment en 4 cellules de dimensions homogènes.

4.3 Données d'entrée

Des valeurs numériques de l'indice d'affaiblissement des éléments de parois, intérieurs et extérieurs, ainsi que leurs surfaces, l'aire d'absorption équivalente des cellules et le niveau de puissance de la source ont été saisis dans le modèle (par bande d'octave).

4.4 Résultats

Sur cette base, le niveau de puissance de chaque élément rayonnant vers l'extérieur a été calculé, par bande d'octave et en valeur globale, en dB[A] (cf. figure 6).

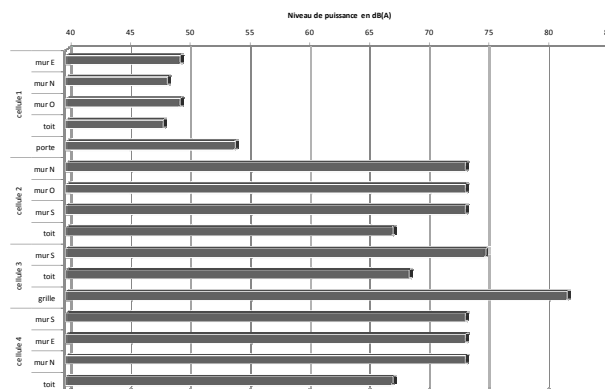


Figure 6 : Résultats de calcul du niveau de puissance des éléments de parois rayonnant vers l'extérieur. Les valeurs sont présentées en dB[A] par souci de clarté.

On notera que le modèle utilise le calcul du niveau sonore réverbéré dans chacune des cellules. Cette donnée peut donc également être exploitée.

De manière générale, la finalité d'une telle étude est le calcul des niveaux sonores émis par le bâtiment dans son environnement. Une fois les puissances acoustiques calculées, celles-ci peuvent ensuite être intégrées dans un logiciel de calcul de propagation extérieure, disponible sur le marché (cf. figure 7).

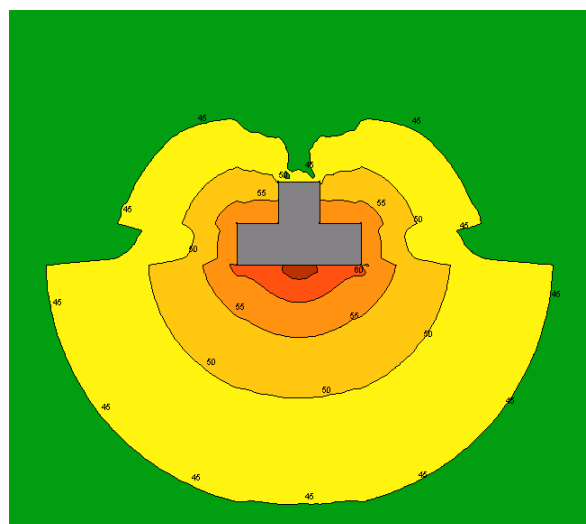


Figure 7 : Cartographie du niveau sonore dans l'environnement du bâtiment étudié, obtenue à l'aide du logiciel PREDICTOR® (BRUEL & KJAER), à partir des puissances acoustiques calculées suivant la méthode exposée.

4 Conclusion

Un modèle simple et robuste de calcul de la puissance acoustique rayonnée par les parois d'un bâtiment vers le milieu extérieur a été présenté. Ce modèle présente l'intérêt de conserver l'énergie et d'intégrer la non homogénéité du champ réverbéré dans les locaux dont la géométrie est atypique, ce qui est couramment le cas.

Plusieurs perspectives se présentent aujourd'hui. La première consiste en la création d'un logiciel permettant d'automatiser la discrétisation du bâtiment étudié en cellules de dimensions homogènes. Ceci fait, le champ direct doit être introduit dans le modèle, pour les cas où les sources de bruit se trouveraient proches des murs extérieurs, et/ou pour les locaux très absorbants.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Jacques Jouhaneau pour l'idée qui est à l'origine de ces travaux.

Je remercie également mon collègue Christophe Séjourné pour l'implémentation informatique du calcul.

Références

- [1] Cremer, Lothar, Müller, "Principles and Applications of Room Acoustics" *Applied Science Pub* (1982).
- [2] J. Jouhaneau, "Notions Elémentaires d'Acoustique *Lavoisier*" (1994).
- [3] L. Beranek, "Acoustics" *McGraw-Hill Book Company* (1993).
- [4] H. Kuttruff, "Room Acoustics" *Applied Science Pub* (1973).
- [5] D.A. Bies, C.H. Hansen, "Engineering Noise Control" *Unwin Hyman* (1988).
- [6] T.L. Redmore, "A Method to Predict the Transmission of Sound Through Corridors" *Applied Acoustics, (vol. 15, pp 133-146)* (1982).
- [7] I. Grassin, "Modélisation du Champ Acoustique dans une Salle Longue" *Mémoire de DEA au CNAM Paris* (1999).
- [8] T. Simoneau, B. Guignard, "Espaces Couplés En Régime Stationnaire - Applications et Validations Expérimentales" *Colloque NOISEATWORK* (2007).