

Loïc
Hamayon

COMPRENDRE SIMPLEMENT l'acoustique des bâtiments

3^e édition



EDITIONS
LE MONITEUR
editionsdumoniteur.com

SOMMAIRE

Préface	9
Tableau des symboles.....	11
Introduction.....	15

Partie 1 Principes généraux d'acoustique

1 • Physique de l'acoustique.....	19
2 • Physiologie de l'acoustique	41
3 • Psychosociologie de l'acoustique	49

Partie 2 Principes de l'acoustique architecturale

4 • Correction acoustique des locaux.....	53
5 • Isolation acoustique des locaux contre les bruits aériens.....	97
6 • Protection contre les bruits solidiens	115

Partie 3 Équilibre acoustique des bâtiments

7 • Grandes règles de mise en œuvre	125
8 • Réhabilitation	171
9 • De la haute qualité environnementale au paysage sonore.....	185
10 • Études de cas	193

Annexes

A1 • Utilisation des logarithmes de base 10.....	211
A2 • Atténuation du son dans l'air	213
A3 • Exemples de valeurs du coefficient d'absorption α	215
A4 • Exemples de valeurs de l'indice d'évaluation de l'absorption α_w	217
Postface.....	219
Testez vos connaissances en acoustique	223
Bibliographie	231
Index	235
Table des matières.....	239

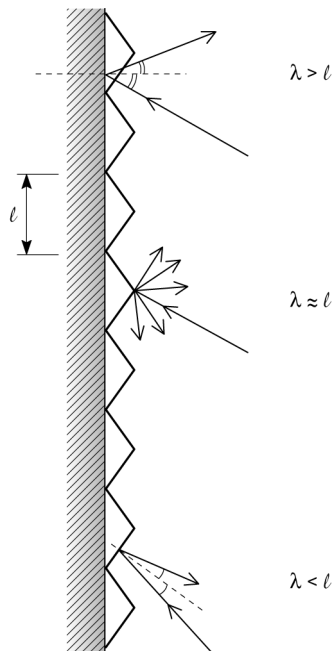


Figure 4.24. Réflexion de sons de différentes longueurs d'onde λ sur un mur en accordéon présentant des soufflets.

une salle de musique – où peuvent être diffusées toutes sortes de fréquences –, les diffuseurs devraient offrir autant de formes qu'il y a de fréquences diffusées.

Les formes empiriques des statues, des moulures et des luminaires ont souvent favorisé une bonne diffusion du son, comme à l'Opéra de Paris. Cependant, des recherches récentes ont permis d'adopter une approche plus rationnelle. Ainsi, afin d'augmenter l'homogénéité du champ acoustique dans un local, Manfred R. Schroeder a conçu le « diffuseur à résidu quadratique », encore appelé « diffuseur de Schroeder ». Basé sur la théorie des nombres aléatoires, il renvoie la même quantité d'énergie dans toutes les directions¹ (fig. 4.25).

4.5. Traitement des locaux : principes généraux

Le volume d'un local et la qualité de ses parois en termes de réflexion, d'absorption et de diffusion du son doivent être adaptés à son usage (voir § 4.6).

1. Pour plus de précisions, se reporter au chapitre « Acoustique architecturale » d'Éric Vivié et Michel Cassan dans l'ouvrage collectif *Le Livre des techniques du son* (tome 1) et à l'ouvrage de Thierry Malet, *Acoustique des salles : le guide de référence du praticien*.

4.5.1. Calcul de la durée de réverbération

La durée de réverbération est liée à la fois à la capacité d'absorption du local et à son volume :

- plus l'absorption est importante, plus la durée de réverbération est courte ;
- plus le volume du local est important, plus la durée de réverbération est longue.

À la fin du XIX^e siècle, le chercheur américain Wallace Clement Sabine a mis au point une formule simple, dite « formule de Sabine », permettant une évaluation théorique de la durée de réverbération à partir de l'absorption et du volume :

$$T_r = 0,16 \cdot \frac{V}{A},$$

où :

T_r , durée de réverbération (s) ;

V , volume du local (m^3) ;

A , aire d'absorption équivalente du local (m^2).

LE SAVEZ-VOUS ?

Wallace Clement Sabine (1860-1919), professeur à l'université Harvard, a analysé l'acoustique de salles de théâtre et de concert avec un chronomètre et un petit tuyau d'orgue faisant office de source sonore. Ayant constaté que les grosses étoffes amélioraient l'acoustique des locaux de parole en diminuant la réverbération, il a posé 1 500 coussins dans une salle de conférence de son université. L'intelligibilité des propos tenus par les conférenciers dans cette salle s'en est trouvée fortement améliorée.

Sabine a poursuivi ses travaux en étudiant les propriétés d'absorption de nombreux matériaux.

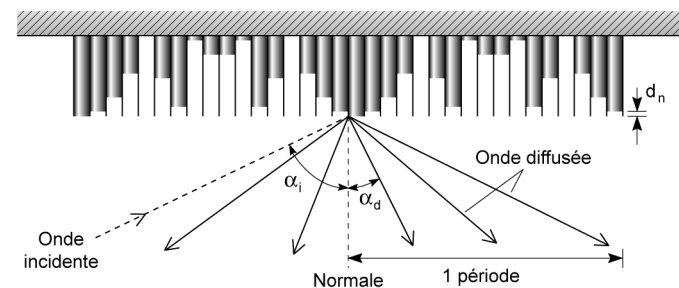


Figure 4.25. Vue en plan d'un diffuseur de Schroeder. Dans cet exemple, l'onde incidente fait un angle de -65 degrés par rapport à la normale, et les cinq ondes diffusées, des angles exprimés en degrés de $-54,2$, $-22,4$, $2,7$, $28,5$ et 65 .

REMARQUE

Les spécialistes de l'acoustique font appel à d'autres formules pour calculer la durée de réverbération, comme celles de Eyring et de Millington.

L'évaluation de la durée de réverbération peut également être réalisée grâce au « libre parcours moyen ». Il s'agit de la distance moyenne parcourue entre deux réflexions successives par une onde acoustique se propageant dans un local. L'évaluation du libre parcours moyen est donnée par la formule approchée de Jaeger :

$$l_m = \frac{4V}{S},$$

où :

l_m , libre parcours moyen (m) ;

V , volume du local supposé de forme régulière (m^3) ;

S , surface totale des parois du local (m^2).

À chaque réflexion, une partie de l'énergie est absorbée. À partir du coefficient d'absorption α moyen, noté α_m , il est possible de calculer le nombre de réflexions nécessaires pour que l'intensité sonore devienne le millionième ($10^{-6} = 1/10^6$) de ce qu'elle était au départ (voir la définition de la durée de réverbération au § 4.2), ce nombre étant noté n . Ainsi :

$$(1 - \alpha_m)^n = 10^{-6},$$

ce qui donne :

$$n = \frac{-6}{\log(1 - \alpha_m)}.$$

La connaissance du nombre de réflexions et du libre parcours moyen permet de déterminer la distance d que doit parcourir une onde acoustique pour que l'intensité sonore devienne le millionième de ce qu'elle était au départ. En effet :

$$d = n \cdot l_m.$$

Cette distance, rapportée à la célérité du son dans l'air, permet de déterminer la durée de réverbération :

$$T_r = \frac{d}{340}.$$

APPLICATION

Soit une salle de $5 \times 4 \times 2,5$ m, dont les parois présentent un coefficient α moyen de 0,13 à 1 000 Hz. Quelle est la durée de réverbération du local à 1 000 Hz ?

Le volume V du local peut être calculé :

$$V = 5 \times 4 \times 2,50 = 50 \text{ m}^3.$$

La surface S des parois est la suivante :

$$S = (2 \times 5 \times 4) + (2 \times 2,50 \times 4) + (2 \times 2,50 \times 5) = 85 \text{ m}^2.$$

Le libre parcours moyen l_m est obtenu par la formule :

$$l_m = \frac{4V}{S} = \frac{4 \times 50}{85} = 2,35 \text{ m}.$$

Le nombre de réflexions nécessaires pour que l'intensité devienne le millionième de ce qu'elle était au départ est donc :

$$n = \frac{-6}{\log(1 - 0,13)} = 99.$$

La distance à parcourir par l'onde acoustique d peut alors être calculée :

$$d = n \cdot l_m = 99 \times 2,35 = 233 \text{ m}.$$

La durée de réverbération T_r obtenue est la suivante :

$$T_r = \frac{233}{340} = 0,69, \text{ soit environ } 0,7 \text{ s}.$$

La formule de Sabine retenue dans le cadre du présent ouvrage est plus simple d'emploi. Elle est de bonne qualité, à condition toutefois que :

- le local considéré ne soit pas trop important ;
- la répartition des absorbants soit homogène et que les coefficients d'absorption soient assez faibles.

REMARQUE

Les coefficients d'absorption des matériaux sont déterminés en laboratoire au moyen de la formule de Sabine ; c'est la raison pour laquelle les coefficients α sont également appelés « coefficients α Sabine » et parfois notés « α_s ».

APPLICATION

Soit un local de $5 \times 4 \times 2,5$ m, dont le plafond présente un coefficient d'absorption α de 0,4 à 1 000 Hz et dont toutes les autres parois ont un coefficient α de 0,05 à la même fréquence. Quelle est la durée de réverbération du local à 1 000 Hz ?

La surface S_1 du plafond est de :

$$S_1 = 5 \times 4 = 20 \text{ m}^2.$$

La surface S_2 des autres parois est de :

$$S_2 = (5 \times 4) + (2 \times 2,50 \times 4) + (2 \times 2,50 \times 5) = 65 \text{ m}^2.$$

L'aire d'absorption équivalente (A) est obtenue par la formule :

$$A = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 = (20 \times 0,4) + (65 \times 0,05) = 11,25 \text{ m}^2.$$

La durée de réverbération T_r peut donc être calculée :

$$T_r = 0,16 \frac{V}{A} = 0,16 \frac{50}{11,25} = 0,71, \text{ soit environ } 0,7 \text{ s}.$$

REMARQUE

Les parois ne sont pas les seuls éléments absorbants dans les locaux. C'est pourquoi la nature du matériel présent (mobilier et machines) et le type d'occupation des locaux sont également pris en considération, aussi bien dans la réglementation que dans l'étude des salles. En outre, dans les salles de grand volume, il est tenu compte de l'absorption de l'air (voir annexe 2).

réverbération préconisées sont différentes selon les fréquences. À partir de la durée de réverbération aux fréquences médiums (1 000 Hz), peuvent être déterminées celles concernant les fréquences basses et aiguës (fig. 4.38b). Quoi qu'il en soit, et bien que ces valeurs ne soient que des moyennes, les auditeurs en sont généralement satisfaits.

Actuellement, la tendance est à l'augmentation des durées de réverbération, notamment dans les salles de concert. Par ailleurs, certains mélomanes préconisent des temps de réverbération différents suivant les compositeurs.

Pour les salles de parole, il n'existe pas de corrélation directe entre la durée de réverbération et l'intelligibilité. Cependant, les durées de réverbération préconisées par les abaques permettent généralement d'obtenir un résultat acceptable.

4.6.2. Locaux orientés avec ou sans assistance électroacoustique

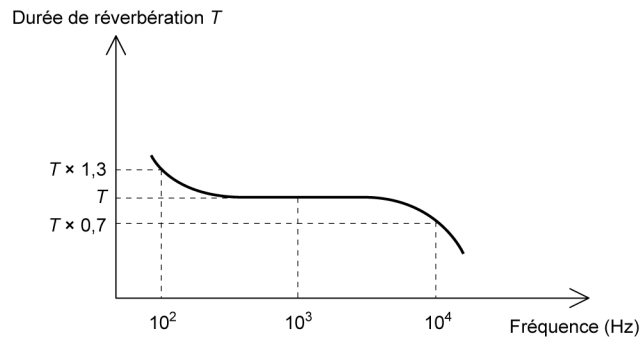
Petites salles, salles de cours

Dans ce type de salle, en l'absence de traitement acoustique, la réverbération est trop longue et il existe des risques d'écho, ce qui engendre une mauvaise intelligibilité (fig. 4.39a). Il faut donc traiter la partie du plafond située vers le fond du local ainsi que le mur du fond et un mur latéral (fig. 4.39b).

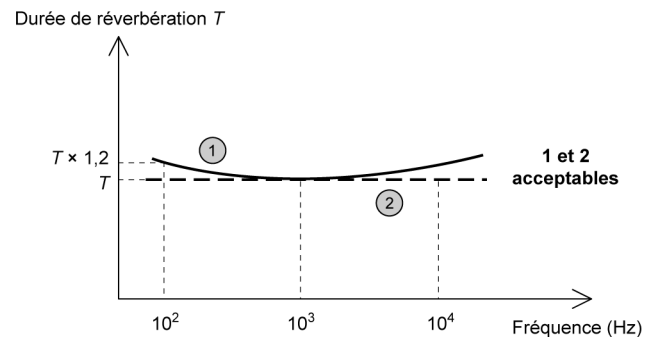
Le mur du fond et la paroi latérale devraient être traités jusqu'à la hauteur des têtes des auditeurs, c'est-à-dire jusqu'à 1,20 m environ. Malheureusement, les matériaux absorbants étant, à de rares exceptions près, très fragiles, il convient, pour éviter leur détérioration, qu'ils restent inaccessibles aux auditeurs. Le traitement des murs est donc réalisé à partir de 1,80 à 2 m de hauteur. En général, la première moitié du plafond ne reçoit pas de matériaux absorbants, ce qui favorise les premières réflexions du son. Seules les parties latérales de la zone du plafond la plus proche du conférencier sont traitées, car les réflexions du son à ces endroits sont dirigées non pas vers les auditeurs, mais vers les murs latéraux. Afin d'améliorer les réflexions utiles, il est recommandé de disposer des parois inclinées de chaque côté de l'orateur.

Amphithéâtres, salles de conférence

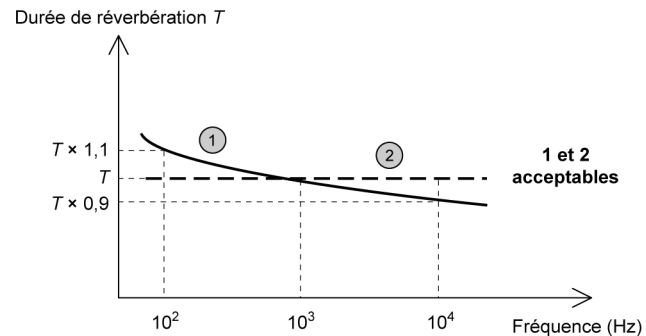
Le volume et la forme de la salle, ainsi que l'étude des premières réflexions du son, se révèlent prépondérants.



a) Salle de concert



b) Studio d'enregistrement



c) Salle d'écoute

Figure 4.38b. Durées de réverbération préconisées en fonction de la fréquence (source : Roger Lamoral, Acoustique et architecture, Masson, Paris, 1975).

La disposition des auditeurs en gradins favorise l'absorption, ce qui permet de limiter les zones traitées au mur du fond et, éventuellement, à la zone de plafond la plus éloignée du conférencier. Le plafond situé au-dessus du conférencier est disposé de manière que les ondes sonores, en s'y réfléchissant, soient distribuées au milieu et au fond de la salle.

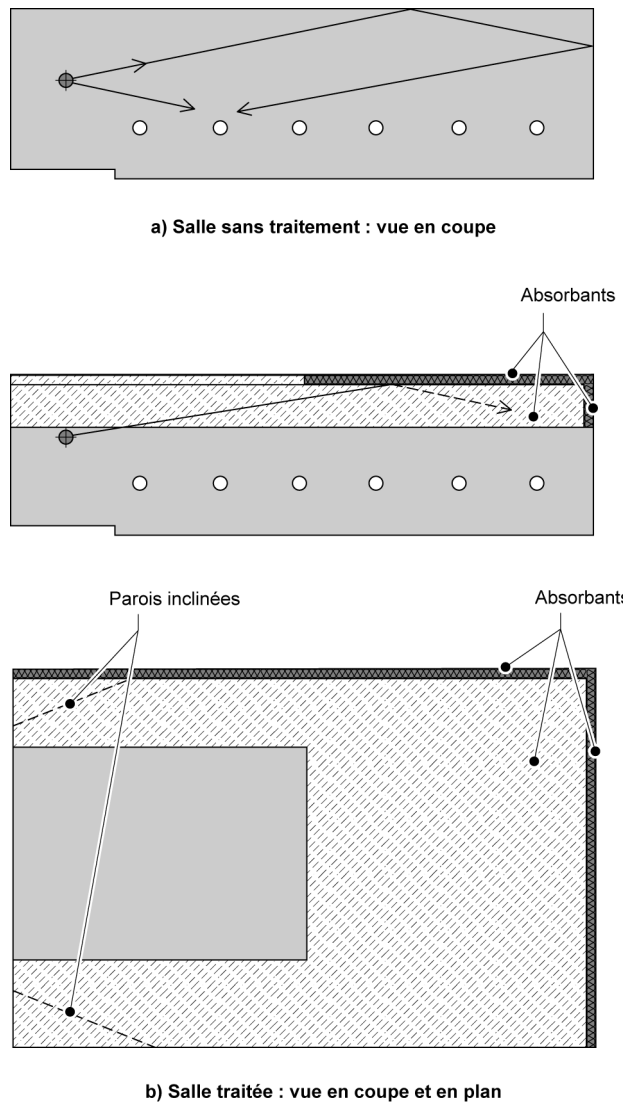


Figure 4.39. Salle de cours sans et avec traitement acoustique.

Les murs latéraux, s'ils sont réfléchissants, ne doivent pas être parallèles. S'ils le sont, ils doivent être impérativement traités afin de les rendre diffusants. La solution consiste à les habiller de reliefs pour briser leur parallélisme et assurer une bonne homogénéité du champ sonore.

La **figure 4.40** présente la coupe de principe d'un amphithéâtre où tous les auditeurs, quelle que soit leur place, bénéficient d'une bonne intelligibilité.

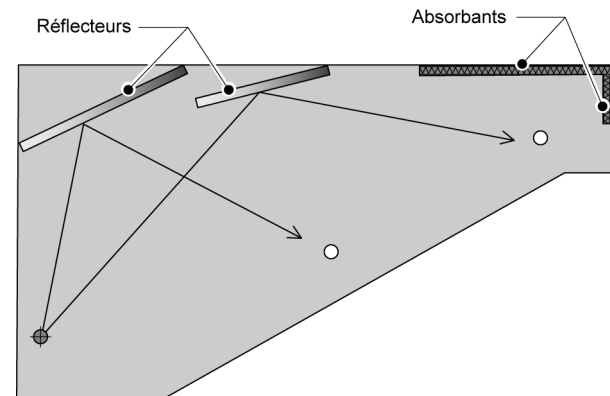


Figure 4.40. Coupe de principe d'un amphithéâtre où tous les auditeurs bénéficient d'une bonne intelligibilité.

Grandes salles : salles de concert, théâtres

Dans l'exemple qui suit, les problèmes d'isolation et de vibrations sont supposés négligeables ou résolus (**fig. 4.41**).

• Volume

Le volume optimal d'une salle dépend de l'usage qui en est fait. *Pour une salle de concert*, le volume par auditeur doit

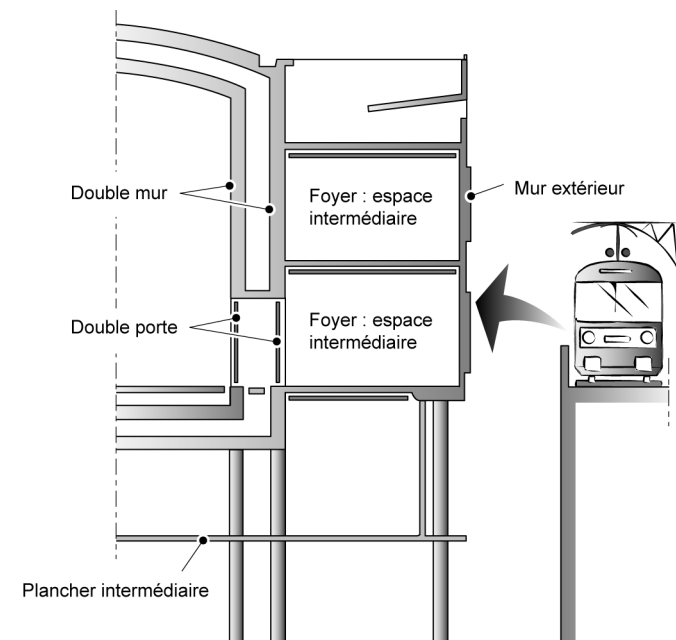


Figure 4.41. Problèmes d'isolation et de vibrations résolus par l'utilisation d'espaces tampons : exemple du Royal Festival Hall, à Londres.

Tableau 10.2. Bruits engendrés dans l'environnement par l'amenée d'air frais.

Fréquences médianes des octaves (Hz)	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	dB(A)
Bruits mécaniques à 1,00 m	88	84	81	76	74	71	69	63	80
Atténuation due au local (avec $Q = 2$) ⁽¹⁾	2	3	6	5	5	6,5	6	5	–
Niveau de pression acoustique à l'entrée d'air	86	81	75	71	69	64,5	63	58	–
Atténuation due au silencieux primaire	6	10	18	30	36	42	30	16	–
Atténuation due aux coudes et au plenum absorbant	6	8	10	12	14	15	15	15	–
Atténuation due au silencieux secondaire	6	10	18	30	36	42	30	16	–
Niveau de pression acoustique résiduel	68	54	29	–	–	–	–	11	–
Régénération du silencieux	44	42	41	38	35	30	25	26	–
Régénération de la grille	41	43	44	44	39	31	22	10	–
Niveau de pression acoustique total	68	54,5	46	45	40,5	33,5	27	26	–
Diminution due à la distance	15	15	15	15	15	15	15	15	–
Niveau de pression acoustique en limite de propriété	53	39,5	31	30	25,5	18,5	12	11	–
Pondération	– 26	– 16	– 8,5	– 3	0	+ 1	+ 1	– 1	–
Tolérance	3	3	3	3	3	3	3	3	–
Niveau de pression acoustique pondéré en limite de propriété	30	26,5	25,5	30	28,5	22,5	16	13	36

(1) Q : coefficient de directivité.

10.2. Calcul d'une isolation vis-à-vis de bruits extérieurs importants

Opération : immeuble d'habitation à Juvisy-sur-Orge (91).

Architecte : Cadence (E. Lombard).

Acousticien : L. Hamayon.

L'opération comprend un bâtiment R + 4 de 24 logements. Comme l'opération du Mans présentée au § 10.1.1, ce bâtiment se situe près d'un réseau ferré. Il s'agit d'un nœud de circulation extrêmement important où se rejoignent les lignes de la SNCF et du RER (fig. 10.13).

Principes acoustiques

Face à un environnement sonore aussi défavorisé, il était nécessaire de concevoir un bâtiment dans lequel la majorité des logements serait protégée par l'écran que formerait le bâtiment lui-même. Seuls quelques logements présenteraient des façades entièrement orientées vers les voies de chemin de fer. Pour ces logements, des façades doubles s'imposaient, l'espace entre les deux façades devant être important afin de former des espaces à vivre, à défaut d'espaces « habitables » au sens strict du mot (fig. 10.14).

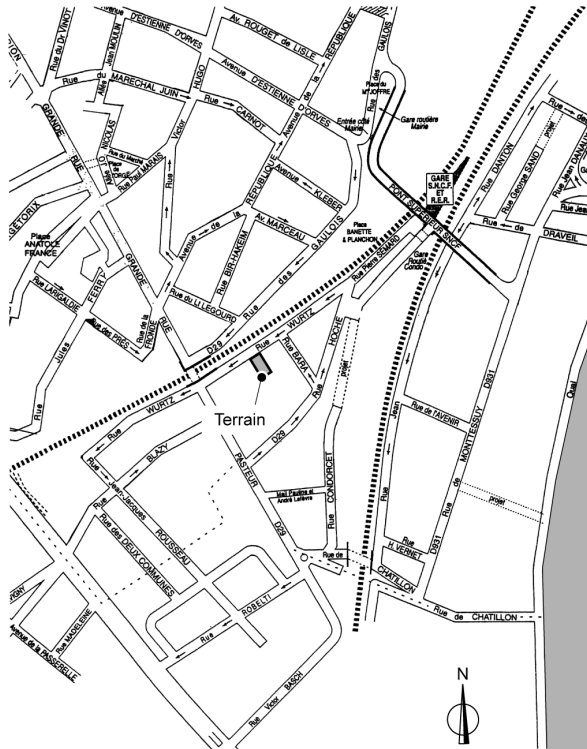


Figure 10.13. Juvisy-sur-Orge. Plan de situation.

Note de calcul

La note de calcul présentée ci-dessous concerne la pièce de séjour du logement du premier étage, logement le plus exposé au bruit (**fig. 10.15, 10.16, 10.17 et 10.18**).

Le calcul d'une façade double ne peut être mené comme celui d'une façade simple. L'espace intermédiaire ne pouvant être considéré comme normalement meublé, la durée de réverbération ne peut pas être égale à 0,5 s. Il n'est donc pas possible d'utiliser directement la formule donnée au § 7.3.4 :

$$D_{nT,A,tr} = 10 \log \frac{0,32 V}{\sum S_i \cdot 10^{-0,1 R_i} + \sum S_{lat} \cdot 10^{-0,1 (R+10)} + \sum 10^{-0,1 [(D_{n,e,w} + C_{tr}) - 10]}},$$

Dans un tel cas, « 0,32 V », issu de la formule de Sabine (voir § 4.5.1), est remplacé par l'aire d'absorption équivalente A.

REMARQUE

La formule de Sabine :

$$T_r = 0,16 \cdot \frac{V}{A}$$

donne, pour une durée de réverbération de 0,5 s :

$$A = 0,16 \frac{V}{T} = 0,16 \frac{V}{0,5} = 0,32 V.$$

Par ailleurs, les indices d'affaiblissement acoustique ne peuvent être utilisés globalement car :

- la première façade protège l'espace intermédiaire des bruits extérieurs, ce qui signifie que le bruit de trafic est pris en considération ;
- la deuxième façade protège la pièce de séjour des bruits intérieurs, ce qui signifie que le bruit rose est pris en considération. En revanche, le calcul peut être mené en recherchant les isolements par bande d'octave.

APPLICATION

À titre d'exemple, le calcul de l'isolement est mené pour la bande d'octave centrée sur 500 Hz.

Éléments de calcul

- Les surfaces de la façade extérieure sont :
 - partie vitrée : $12,27 \times 1,49 = 18,28 \text{ m}^2$;
 - partie allège : $12,27 \times 1,01 = 12,39 \text{ m}^2$;
 - surfaces latérales : $1,04 \times 2,42 = 2,52 \text{ m}^2$.
- Les indices d'affaiblissement acoustique de la façade extérieure à 500 Hz sont :
 - partie vitrée : $R = 24,3 \text{ dB}$;
 - partie allège : $R = 45,2 \text{ dB}$.
- L'isolement acoustique d'une des entrées d'air de la façade extérieure à 500 Hz est de 30,8 dB, sachant que la façade extérieure a 4 entrées d'air

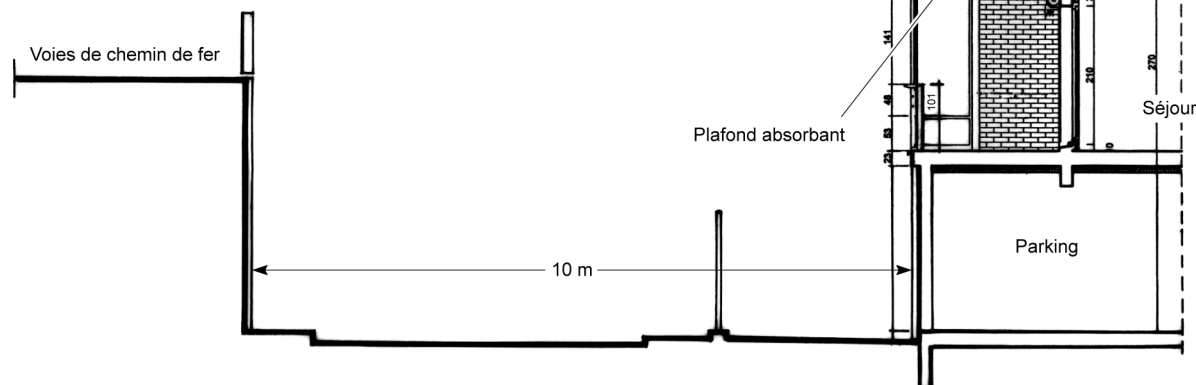


Figure 10.14. Juvisy-sur-Orge – Coupe présentant l'espace intermédiaire.

TABLE DES MATIÈRES

Préface	9	
Tableau des symboles	11	
Introduction	15	
Partie 1		
Principes généraux d'acoustique		
1 • Physique de l'acoustique.....	19	
1.1. Vibrations	19	
1.2. Pression acoustique.....	20	
1.3. Puissance et intensité acoustiques	22	
1.4. Unité : le décibel.....	22	
1.5. Niveaux d'intensité, de pression, de puissance.....	23	
1.5.1. Niveau d'intensité acoustique	23	
1.5.2. Niveau de pression acoustique.....	23	
1.5.3. Niveau de puissance acoustique	23	
1.5.4. Seuil d'audibilité.....	23	
1.5.5. Seuil de douleur	23	
1.6. Expression de niveaux sonores en décibels.....	23	
1.7. Addition et soustraction de décibels.....	24	
1.7.1. Addition de deux niveaux sonores.....	24	
1.7.2. Addition de plus de deux niveaux sonores	26	
1.7.3. Soustraction de deux niveaux sonores	26	
1.8. Célérité du son.....	28	
1.9. Fréquence	29	
1.9.1. Échelle des fréquences audibles	30	
1.9.2. Fréquences basses, moyennes et élevées	30	
1.10. Sons et bruits – Définitions.....	30	
1.10.1. Son pur.....	30	
1.10.2. Son complexe.....	31	
1.10.3. Son confus	31	
1.10.4. Bruit	31	
Bruit continu	31	
Bruit intermittent	31	
Bruit à caractère impulsionnel	32	
Bruit à tonalité marquée.....	32	
1.11. Spectre d'un bruit.....	32	
1.12 Propagation en champ libre.....	33	
1.12.1. Décroissance des niveaux sonores liée à l'éloignement de la source sonore.....	34	
Source ponctuelle (rayonnements sphérique et hémisphérique)	34	
Source linéaire (rayonnements cylindrique et semi-cylindrique).....	34	
1.12.2. Absorption atmosphérique	36	
Fréquence du son	36	
Température et degré hygrométrique de l'air.....	36	
1.12.3. Effets du vent	37	
1.12.4. Gradient thermique	37	
1.12.5. Directivité.....	37	
1.12.6. Effets intéressants	37	
Effet Doppler-Fizeau	37	
Bang supersonique.....	39	
1.13. Propagation dans les solides	40	

2 • Physiologie de l'acoustique 41**2.1. L'oreille humaine 41**

2.1.1. Oreille externe 41

2.1.2. Oreille moyenne..... 42

2.1.3. Oreille interne 42

2.1.4. Sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences 42

2.1.5. Champ auditif 43

2.2. Indicateurs du bruit perçu..... 43

2.2.1. Le dB(A)..... 43

2.2.2. Courbes d'évaluation du bruit 44

Courbes NR 44

Courbes ISO et NC..... 45

2.2.3. Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A..... 45

2.2.4. Niveau acoustique fractile 45

2.3. Mesures et instruments de mesure..... 45

2.3.1. Mesures..... 45

2.3.2. Cartographie sonore..... 46

2.3.3. Instruments de mesure : les sonomètres 46

2.4. Effets du bruit sur l'ouïe 46

2.4.1. Réflexe stapédien 46

2.4.2. Fatigue auditive..... 46

2.4.3. Surdité professionnelle 47

2.4.4. Activités non professionnelles 48

2.4.5. Autres causes de surdité..... 48

2.5. Effets physiologiques indirects 48**3 • Psychosociologie de l'acoustique 49****3.1. Effets psychologiques dus au bruit..... 49****3.2. Effet « cocktail party » 49****3.3. G ne due au bruit 49****3.4. Stress causé par le bruit 50****Partie 2****Principes de l'acoustique architecturale****4 • Correction acoustique des locaux.....53****4.1. Objectif de la correction acoustique..... 53****4.2. Réverbération..... 54****4.3. Absorption..... 56**

4.3.1. Matériaux absorbants..... 58

Matériaux poreux et fibreux 58

Résonateurs 59

Membranes 61

4.3.2. Coefficient d'absorption α 624.3.3. Indice d'évaluation de l'absorption α_w 64

4.3.4. Aire d'absorption équivalente A 64

4.4. Diffusion..... 65**4.5. Traitement des locaux : principes généraux..... 66**

4.5.1. Calcul de la durée de réverbération 66

4.5.2. Champ direct et champ réverbéré 68

4.5.3. Constante d'absorption R d'un local 68

4.5.4. Niveaux sonores des champs direct et réverbéré 68

4.5.5. Coefficient de directivité Q..... 69

4.5.6. Décroissance du son en espace clos..... 70

4.5.7. Volume et géométrie 71

Volume optimal 71

Géométrie optimale 71

Défauts..... 73

4.5.8.  l ments complémentaires 75

Effet de masque..... 75

Effet « cocktail party » 75

Bruits émis par les équipements..... 76

4.6. Traitement des locaux : applications..... 77

4.6.1. Salles d'enseignement et salles de spectacle 77

Observations générales..... 77

Durées de réverbération préconisées..... 77

4.6.2. Locaux orientés avec ou sans assistance

 lectracoustique 78

Petites salles, salles de cours 78

Amphithéâtres, salles de conférence..... 78

Grandes salles : salles de concert, théâtres 79

Salles polyvalentes..... 83

Conservatoires de musique 87

Studios d'enregistrement 87

Lieux de culte 87

4.6.3. Salles  lectroacoustiques 88

Cinémas 88

Salles du type Zénith 88

Discothèques..... 89

Salles d'écoute particulières et salles

de home cinéma..... 89

4.6.4. Locaux de travail..... 90

Locaux industriels et ateliers	90	5.3. Calcul d'un isolement	112
Bureaux, salles de réunion (classique et paysager)	91	6 • Protection contre les bruits solidiens.....	115
4.6.5. Locaux de sport.....	91	6.1. Principes généraux.....	115
Gymnases.....	91	6.2. Protection contre les bruits de choc	115
Piscines	93	6.2.1. Définitions.....	117
4.6.6. Locaux divers non orientés	93	6.2.2. Transmission d'un bruit de choc	
Restaurants.....	93	d'un local à un autre	118
Circulations.....	94	6.2.3. Méthode de calcul simplifiée de l'indice ΔL_w dans	
Loggias ouvertes et fermées	95	le cas de planchers traditionnels	119
4.6.7. Locaux exceptionnels	95	Valeur du niveau du bruit de choc $L_{n,w}$	
Chambres sourdes (salles anéchoïques).....	95	du plancher nu.....	119
Chambres réverbérantes.....	96	Incidence des transmissions latérales (TL).....	119
		Valeur de l'indice de transmission de jonction K	120
5 • Isolation acoustique des locaux		6.3. Protection contre les vibrations	121
contre les bruits aériens.....	97	6.3.1. Principaux critères	121
5.1. Transmission d'un bruit d'un local à un autre	97	Atténuation	121
5.2. Isolement entre deux locaux.....	98	Amortissement de la suspension.....	122
5.2.1. Influence de l'indice d'affaiblissement		6.3.2. Détermination des supports antivibratiles	122
acoustique R de la paroi séparative.....	98		
Indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi			
simple homogène	99		
Indices d'affaiblissement acoustique pondérés R_w ,			
R_A et $R_{A,tr}$	102		
Indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi			
double	103		
Indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi			
discontinue	107		
Indices uniques d'amélioration de l'indice			
d'affaiblissement acoustique ΔR_w , ΔR_A et $\Delta R_{A,tr}$	108		
5.2.2. Influence de la surface de la paroi séparative	108		
5.2.3. Influence des transmissions latérales.....	108		
5.2.4. Influence des transmissions parasites	109		
5.2.5. Influence du volume du local de réception	110		
5.2.6. Influence de l'aire d'absorption équivalente			
du local de réception	110		
5.2.7. Types d'isolement acoustique : brut, normalisé,			
standardisé, standardisé pondéré	111		
Isolement acoustique brut D_b	111		
Isolement acoustique normalisé D_n	111		
Isolement acoustique standardisé D_{nT}	111		
Isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,w}$	111		
Isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A}$	111		
Isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A,tr}$	112		
Termes d'adaptation C et C_{tr}	112		
		7 • Grandes règles de mise en œuvre	125
		7.1. Éviter les sources de bruit ou atténuer	leur puissance sonore.....
			125
		7.1.1. Actions politiques et administratives.....	125
		7.1.2. Dispositions d'urbanisme	125
		7.1.3. Actions sur les équipements des bâtiments	126
		Chaufferies.....	126
		Chaudière individuelle.....	128
		Ventilation.....	128
		Climatisation individuelle.....	132
		Plomberie	132
		Électricité : transformateurs, groupes électrogènes..	133
		7.2. Éloigner les locaux à isoler des sources sonores...	133
		7.2.1. Dispositions d'urbanisme	133
		Abords des aéroports.....	133
		Trafics routier et ferroviaire	133
		Trafic fluvial.....	133
		Centrales nucléaires	134
		Champs d'éoliennes.....	134

Installations d'assainissement.....	134
Usines	134
7.2.2. Dispositions constructives	135
Équipements	135
Distribution	135
7.3. Atténuer les bruits extérieurs	137
7.3.1. Écrans antibruit.....	137
Fonctionnement	137
Efficacité	138
Écrans de verdure	140
Bâtiments écrans	140
7.3.2. Disposition du bâtiment par rapport aux nuisances : plan de masse	140
7.3.3. Conception du bâtiment.....	141
Espaces intermédiaires.....	141
Balcons et loggias	141
Qualité de l'enveloppe du bâtiment	143
7.3.4. Calcul d'un isolement.....	148
Cas courant	148
Cas d'une toiture en pente	149
7.3.5. Défauts d'isolement	149
7.4. Atténuer les bruits intérieurs.....	149
7.4.1. Bruits aériens	149
Valeurs des indices d'affaiblissement acoustique pondérés de diverses parois	150
Influence des jonctions	157
Défauts d'isolement	158
7.4.2. Bruits de choc	160
Indices de réduction du niveau de bruit de choc pondéré ΔL_w	161
Exécution d'une dalle flottante	161
Réduction du niveau de bruit de choc d'un revêtement de sol associé à une dalle flottante	162
7.4.3. Bruits d'équipement.....	163
Chauffage.....	163
Ventilation.....	166
Plomberie.....	168
7.5. Agir autour du récepteur et sur le récepteur	169
7.5.1. Cabines	169
7.5.2. Protections individuelles.....	170
Bouchons d'oreille.....	170
Serre-tête.....	170
Casques	170

8 • Réhabilitation 171

8.1. Nuisances pouvant justifier une réhabilitation acoustique..... 171

8.2. Diagnostic 171

8.2.1. Enquête 171

8.2.2. Écoute 171

Nature des bruits 171

Lieu d'émission des bruits 172

8.2.3. Examen des lieux 172

8.2.4. Examen des plans et des devis descriptifs 172

8.2.5. Mesures acoustiques 172

8.2.6. Sondages 172

8.3. Programme 172

8.3.1. Homogénéité acoustique du bâtiment..... 172

8.3.2. Compatibilité entre isolation acoustique et isolation thermique 172

8.4. Projet..... 172

8.4.1. Prescriptions architecturales 172

8.4.2. Prescriptions techniques 173

Bruits aériens extérieurs au bâtiment..... 173

Bruits aériens intérieurs 176

Bruits de choc 182

Bruits d'équipement..... 182

8.5. Choix des entreprises..... 183

8.6. Suivi des travaux dans les locaux occupés 184

8.7. Réception des travaux 184

9 • De la haute qualité environnementale au paysage sonore 185

9.1. La haute qualité environnementale (HQE) 185

9.1.1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat (cible 1)..... 185

9.1.2. Chantiers à faible nuisance (cible 3)..... 185

Diagnostic préalable 185

Prévention et concertation 185

Établissement du cahier des charges..... 186

Préparation du chantier 186

Suivi du chantier 186

9.1.3. Confort acoustique (cible 9) 186

Amélioration des performances et équilibre acoustique du bâtiment	186
Choix des matériaux	186
9.2. Le paysage sonore	187
9.2.1. Définitions du paysage sonore	188
9.2.2. Histoire des paysages sonores	188
Paysages sonores spontanés	188
Paysages sonores créés	188
9.2.3. Caractères généraux du paysage sonore urbain	189
Sources sonores	189
Architecture des lieux	189
Écoute de l'individu	191
10 • Études de cas	193
10.1. Conception architecturale adaptée à d'importantes contraintes acoustiques	193
10.1.1. Un environnement bruyant	193
Principes acoustiques	193
Homogénéité acoustique	195
Vibrations	195
10.1.2. Un environnement à protéger	195
Principes acoustiques	196
10.2. Calcul d'une isolation vis-à-vis de bruits extérieurs importants	198
Principes acoustiques	198
Note de calcul	199
10.3. Calcul du niveau sonore dû à un réseau de soufflage dans une salle de théâtre	203
 Annexes	
A1 • Utilisation des logarithmes de base 10	211
Exemples de logarithmes décimaux	211
Propriétés des logarithmes	211
A2 • Atténuation du son dans l'air	213
A3 • Exemples de valeurs du coefficient d'absorption α	215
A4 • Exemples de valeurs de l'indice d'évaluation de l'absorption α_w	217
Postface - Le bruit des villes n'est plus tel qu'il était	219
Testez vos connaissances en acoustique	223
Bibliographie	231
Index	235

COMPRENDRE SIMPLEMENT l'acoustique des bâtiments

3^e édition

Loïc Hamayon

a enseigné l'acoustique à l'École spéciale d'architecture (ESA), à l'École d'architecture de Paris La Défense et à l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI). Il a dirigé de nombreuses équipes de recherche dans le domaine de l'acoustique architecturale.

À la tête d'une agence d'architecture, il a construit près de 350 logements dans des sites très contraints. En tant que conseil en acoustique, il a participé à de nombreuses constructions de bâtiments d'habitation, de salles de spectacle et d'établissements d'enseignement et de santé.

Il est également l'auteur de l'ouvrage **Réussir l'acoustique d'un bâtiment** (Éditions du Moniteur).

Pour concevoir et construire un bâtiment conforme aux exigences acoustiques, il faut comprendre et sentir les phénomènes acoustiques, **pour mieux utiliser les matériaux** et mieux appréhender les **systèmes constructifs**.

L'acoustique architecturale cherche à favoriser l'écoute ou à protéger du bruit. Dans les deux cas, il est nécessaire de savoir comment le son se propage dans l'espace afin d'en maîtriser le cheminement et la réception.

Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments initie à cette problématique et explique les grandes règles de **l'isolation** et les **techniques de base** mais aussi les dernières avancées les plus innovantes, conformes aux **exigences réglementaires** toujours plus contraignantes.

De l'exercice de la musique chez soi jusqu'au calcul des écrans antibruit, en passant par la conception des passages entre deux espaces clos, les questions techniques concrètes trouvent leur explication théorique et leurs **solutions pratiques** dans cet ouvrage de vulgarisation professionnelle.

Ce livre est avant tout un **outil précieux d'aide à la conception** pour tous les acteurs de la construction, architectes, entrepreneurs, ingénieurs de bureaux d'études, concepteurs et étudiants.

Le nombre de formules mathématiques est limité, au profit de tableaux explicatifs et de plus de 200 **schémas très pédagogiques**, les plus simples et explicites possible. Des **études de cas concrets** de réhabilitation sont également détaillées.

1 | PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ACOUSTIQUE : PHYSIQUE DE L'ACOUSTIQUE – PHYSIOLOGIE DE L'ACOUSTIQUE – PSYCHOSOCIOLOGIE DE L'ACOUSTIQUE • **2 | PRINCIPES DE L'ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE :** CORRECTION ACOUSTIQUE DES LOCAUX – ISOLATION ACOUSTIQUE DES LOCAUX CONTRE LES BRUITS AÉRIENS – PROTECTION CONTRE LES BRUITS SOLIDIENS • **3 | ÉQUILIBRE ACOUSTIQUE DES BÂTIMENTS :** GRANDES RÈGLES DE MISE EN ŒUVRE – RÉHABILITATION – DE LA HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE AU PAYSAGE SONORE – ÉTUDES DE CAS • ANNEXES

Les ouvrages de la collection « Comprendre simplement » ont pour objectif d'expliquer les mécanismes physiques et les principes constructifs qui permettent de faire les meilleurs choix technologiques et d'aboutir à une bonne conception architecturale. Leur approche pédagogique conjugue trois axes complémentaires : l'expérience commune, la démarche scientifique et l'exemple.

ISSN 1965-863X
ISBN 978-2-281-11682-3



9 782281 116823

editionsdumoniteur.com