

Jean-Marie Rapin

L'acoustique du bâtiment

Manuel professionnel d'entretien
et de réhabilitation

EYROLLES

The logo for EYROLLES features the brand name in a bold, sans-serif font. Below the text is a horizontal line with a small grey circle centered underneath it.

ÉDITIONS EYROLLES
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Groupe Eyrolles, 2017
ISBN Eyrolles : 978-2-212-67371-5

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE

XIII

I	QUELQUES NOTIONS THÉORIQUES	1
	1. LE SON, SA DESCRIPTION, SA PROPAGATION DANS L'AIR	3
	1.1. LE SON	3
	1.1.1. Sa nature	3
	1.1.2. Sa fréquence	3
	1.1.3. L'oreille	3
	1.1.4. La propagation du son	4
	1.1.5. La longueur d'onde	4
	1.2. LE DÉCIBEL (UN CASSE-TÊTE !)	5
	1.2.1. L'échelle du décibel	5
	1.2.2. Le niveau de pression acoustique (ou niveau sonore)	5
	1.2.3. Le niveau d'exposition acoustique	6
	1.2.4. Le niveau de puissance acoustique	6
	1.2.5. Les isollements	7
	1.2.6. L'addition des niveaux sonores en décibels	7
	1.3. LA DESCRIPTION DU SON EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE : LE SPECTRE	8
	1.4. LES SOURCES DE BRUIT ET LA PROPAGATION À L'EXTÉRIEUR DES BÂTIMENTS	10
	1.4.1. Calcul du niveau L_p en fonction de L_w à l'extérieur des bâtiments	10
	1.4.2. La réflexion sonore	12
	1.4.3. L'ombre apportée par un écran	13
	1.5. LA PROPAGATION DU SON DANS UNE SALLE	14
	1.5.1. La durée de réverbération	14
	1.5.2. Le facteur d'absorption α	15
	1.5.3. Niveau de pression acoustique dans une salle en fonction du niveau de puissance acoustique d'une source	17
	2. LE SON DANS LA STRUCTURE DU BÂTIMENT	19
	2.1. COMMENT LE SON SE TRANSMET D'UNE PIÈCE À UNE AUTRE, LES DIFFÉRENTS CHEMINS DE PROPAGATION	19
	2.1.1. La voie aérienne	19
	2.1.2. Les parois	19
	2.1.3. Les transmissions indirectes	19
	2.2. PRINCIPES DE L'ISOLATION ACOUSTIQUE	21
	2.2.1. L'étanchéité	21
	2.2.2. La masse	21
	2.2.3. La désolidarisation	22

2.3. RÉSONANCE MÉCANIQUE	24
2.3.1. Fréquence critique	24
2.3.2. Résonance de système masse-ressort	25
2.3.3. Résonance d'une double paroi	26
2.3.4. Effet de la lame d'air	28
2.3.5. Amortissement	28
2.4. DÉFINITION DE L'ISOLEMENT ACOUSTIQUE	29
2.4.1. Isolement brut entre locaux	29
2.4.2. Isolement brut pondéré entre locaux	30
2.4.3. Isolement standardisé pondéré entre locaux	30
2.5. LES BRUITS DE CHOC ET LES BRUITS SOLIDIENS	31
2.6. DIFFÉRENCE ENTRE ISOLATION ACOUSTIQUE ET ISOLATION THERMIQUE	32
3. LES MATÉRIAUX ACOUSTIQUES ET LEUR QUALIFICATION	33
3.1. LES ISOLANTS : QUALIFICATION ACOUSTIQUE DES PAROIS	33
3.1.1. L'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi	33
3.2. LA QUALIFICATION DES PLANCHERS ET DES REVÊTEMENTS DE SOL AU BRUIT DE CHOC	34
3.3. LES ABSORBANTS	35
3.4. AUTRES MATÉRIAUX	37
3.4.1. Les ressorts et matelas élastiques	37
3.4.2. Les amortisseurs	38
3.4.3. Les fixations élastiques	38
3.4.4. Les joints d'étanchéité	38
3.4.5. Classement ESA des composants industrialisés	38
4. L'ESTIMATION DE L'ISOLEMENT ENTRE DEUX LOCAUX ET DU NIVEAU DE BRUIT DE CHOC	41
4.1. ISOLEMENT STANDARDISÉ DÛ À LA SEULE PAROI SÉPARATIVE	41
4.2. COMPOSITION DES ISOLEMENTS PARTIELS	42
4.3. ESTIMATION DES TRANSMISSIONS INDIRECTES	43
4.4. ESTIMATION DU NIVEAU DE BRUIT DE CHOC	43

II LA RECHERCHE DE SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ ACOUSTIQUE D'UN BÂTIMENT ET LEUR MISE EN ŒUVRE **45**

5. LA CONCEPTION DES MURS ET DES AUTRES PAROIS	47
5.1. CHOISIR UNE PAROI AU MOYEN DE SA QUALIFICATION ACOUSTIQUE	47
5.1.1. Critères de choix	47
5.1.2. La feuille de résultats d'essais type (fournie par le fabricant)	47

5.2. CHOISIR UNE PAROI EN FONCTION DE SA NATURE, SA MASSE, SON ÉPAISSEUR	49
5.2.1. Murs en maçonnerie lourde	49
5.2.2. Cloisons simples traditionnelles	50
5.2.3. Les cloisons sèches à simple ossature	51
5.2.4. Les parois sèches à double ossature	53
5.3. ISOLEMENTS RÉGLEMENTAIRES	55
5.3.1. Pour les logements neufs et les hôtels	55
5.3.2. Pour les hôpitaux	56
5.3.3. Pour les écoles	56
5.4. LA POSE DES DOUBLES PAROIS : PRÉCAUTIONS À PRENDRE POUR ÉVITER LES TRANSMISSIONS INDIRECTES	57
5.4.1. Cas des simples parois (par où ça passe ?)	57
5.4.2. Cas d'une double paroi	57
5.5. CAS GÉNÉRAL DE LA POSE DES CLOISONS RIGIDES	59
5.5.1. Classement ESA (exemples de solutions dédiées aux constructions neuves dont on peut s'inspirer)	60
5.6. LE DOUBLAGE ACOUSTIQUE DES PAROIS	60
5.6.1. Amélioration d'un isolement acoustique	60
5.6.2. Doublage thermique	61
5.6.3. Doublages en plafond	62
6. LA PROTECTION DES PLANCHERS ET AUTRES PAROIS CONTRE LES BRUITS D'IMPACT	65
6.1. LE RÔLE DE LA STRUCTURE DU PLANCHER	65
6.2. LE RÔLE DES REVÊTEMENTS DE SOL, MODE DE POSE, EXEMPLES	66
6.2.1. Les revêtements de sol élastiques	66
6.2.2. Les revêtements de sol durs sur sous-couches élastiques	67
6.2.2.1. Les parquets et revêtements stratifiés sur sous-couches élastiques	67
6.2.2.2. Les carrelages et revêtements durs sur sous-couches élastiques	68
6.2.3. Les dalles et chapes flottantes	70
6.3. RÉHABILITATION DES PLANCHERS ANCIENS	72
6.4. CAS PARTICULIER DES ESCALIERS	73
7. LES MENUISERIES	75
7.1. LES FENÊTRES	75
7.2. LES ENTRÉES D'AIR ET LES COFFRES DE VOLET ROULANT	76
7.3. L'ISOLATION ACOUSTIQUE D'UNE FAÇADE	79
7.3.1. Définition	79
7.3.2. Isolement en zone de bruit	80
7.3.3. Cas particulier des toitures	80
7.4. LES PORTES	81

III	LA RÉALISATION D'ÉQUIPEMENTS SILENCIEUX	83
	8. LES ÉQUIPEMENTS HYDRAULIQUES	85
	8.1. L'ORIGINE DU BRUIT HYDRAULIQUE	85
	8.2. LA QUALIFICATION ACOUSTIQUE DES ROBINETS	86
	8.3. LA PROPAGATION PAR LES CANALISATIONS, PRÉCAUTIONS DE POSE	87
	8.3.1. Choix de la robinetterie	87
	8.3.1.1. Marque NF et classe 1 minimum obligatoire	87
	8.3.2. Réducteur de pression	87
	8.3.3. Diamètre intérieur de raccordement minimum	87
	8.3.4. Pose des canalisations	87
	8.4. APPAREILS SANITAIRES ET CANALISATIONS D'ÉVACUATION	88
	8.5. CHAUDIÈRES ET POMPES	90
	8.5.1. Les chaudières individuelles	90
	8.5.2. Les chaudières collectives et les pompes	91
	8.5.3. Les vibrations transmises à la structure et aux canalisations par la chaudière et les pompes de circulation de l'eau	92
	9. LES ÉQUIPEMENTS AÉRAULIQUES	95
	9.1. LA CARACTÉRISATION ACOUSTIQUE DES PRODUITS	95
	9.1.1. Les ventilateurs et aéroréfrigérants	95
	9.1.2. Bouches d'extraction et bouches de soufflage	96
	9.2. LES SILENCIEUX	97
	9.3. LA CONCEPTION ACOUSTIQUE DES INSTALLATIONS DE VENTILATION	101
	9.4. LES CLIMATISEURS (BRUIT À L'INTÉRIEUR DU BÂTIMENT)	103
IV	LOCAUX PUBLICS, LIEUX DE TRAVAIL ET CIRCULATIONS COMMUNES DES HABITATIONS	105
	10. LE TRAITEMENT ACOUSTIQUE DES LOCAUX	107
	10.1. UTILITÉ D'UN TRAITEMENT ACOUSTIQUE	107
	10.2. CAGES D'ESCALIER ET AUTRES PARTIES COMMUNES	110
	10.3. LOCAUX TECHNIQUES	111
	10.4. BUREAUX	111
	10.5. SALLES DE CLASSE ET SALLES DE CONFÉRENCE	112
	10.6. SALLES DE RESTAURATION ET CANTINES SCOLAIRES	113
	10.7. LES ATELIERS ET LA PROTECTION DE L'OUÏE DES TRAVAILLEURS	114
	10.8. SALLES DE SPORT ET SALLES POLYVALENTES	116
	10.9. HOME CINÉMA	118

V	ENVIRONNEMENT	119
	11. LA PROTECTION DU VOISINAGE	121
	11.1. RÈGLES CONCERNANT LES SOURCES DE BRUIT RAYONNANT À L'EXTÉRIEUR	121
	11.2. LES RÈGLES D'ÉMERGENCE	121
	11.3. VENTILATEURS, CLIMATISEURS ET POMPES À CHALEUR	123
	11.4. ÉCRANS DE PROTECTION ACOUSTIQUE	124
	11.5. EFFET DE SOL ET CONDITIONS CLIMATIQUES	128
VI	APPLICATIONS	131
	12. EXEMPLES DE LOCAUX LÉGERS À FORT ISOLEMENT	133
	12.1. UN PETIT STUDIO D'ENREGISTREMENT	133
	12.2. UN LOCAL DE RÉPÉTITION POUR UN GROUPE DE MUSICIENS	138
	COMPLÉMENTS, ANNEXES	143
	A. LES EXEMPLES DE SOLUTIONS ACOUSTIQUES (APPLICATION DU RÈGLEMENT DE LA CONSTRUCTION, POUR LES LOGEMENTS NEUFS)	145
	B. APPLICATION DE LA MÉTHODE DE CALCUL EUROPÉENNE DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES BÂTIMENTS	151
	C. ABSORPTION ACOUSTIQUE DE DIFFÉRENTS PRODUITS	155
	D. FORMULES ACOUSTIQUES	161
	E. LE CALCUL ACOUSTIQUE PAR OCTAVE	163
	F. RÉGLEMENTATION	167
	GLOSSAIRE	171
	RÉFÉRENCES	175

PRÉFACE

Vous connaissez sûrement ce sketch de Coluche où il parle des technocrates : « c'est des mecs que quand tu leur poses une question, une fois qu'ils ont fini de répondre, tu comprends plus la question que t'as posée. »

Lorsque j'étais ingénieur thésard au CSTB sous la direction de Jean-Marie Rapin, je rentrais fréquemment dans son bureau – encombré de bouquins et sentant bon le cigare – avec une question. J'en ressortais une heure plus tard avec une foule de réponses à des questions que je ne m'étais pas posées.

Jean-Marie Rapin n'a pourtant rien d'un technocrate, bien au contraire. C'est un puits de connaissances, passionné et généreux. Il aime transmettre, remonter aux sources des problèmes pour faciliter la recherche des solutions.

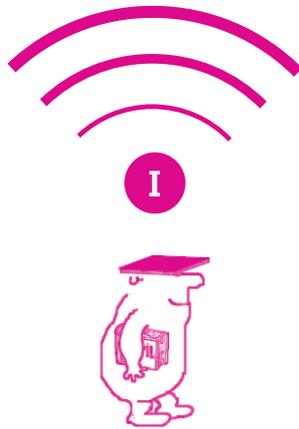
L'acoustique appliquée au bâtiment est une discipline qui se prête particulièrement bien à cet exercice : la majeure partie des pièges et des difficultés ne réside pas dans la complexité des solutions. Elles sont en général simples et relèvent du bon sens... pour peu qu'on ait posé le problème correctement, au bon moment.

C'est tout le talent pédagogique de Jean-Marie Rapin, combiné à ses quarante années d'expérience de scientifique pragmatique, qui transpire dans cet ouvrage. Vous y trouverez la réponse à vos questions. Mais surtout vous y découvrirez les connaissances utiles pour trouver par vous-mêmes les réponses aux questions que vous ne vous étiez pas posées !

Laurent Droin
Directeur du CIDB

Remerciements

L'auteur et l'éditeur remercient Jacques Roland et Philippe Strauss pour leurs conseils, Laurent Droin pour sa confiance et Denis Dugas pour le personnage qui guidera les lecteurs au fil des pages.



QUELQUES NOTIONS THÉORIQUES

(Pour comprendre le son et le vocabulaire acoustique)

1 | LE SON, SA DESCRIPTION, SA PROPAGATION DANS L'AIR

1.1. LE SON

1.1.1. Sa nature

C'est une vibration qui se propage dans l'air en donnant lieu à de petites oscillations de la pression atmosphérique capables de provoquer des mises en vibration du tympan.

Cette variation de pression est appelée **pression acoustique**.

|||► COMMENTAIRE

Le son est un phénomène simple : un très petit mouvement de l'air. L'isolation acoustique est un problème de mécanique. Ce qui est plus compliqué, c'est la perception du son par l'être humain.

1.1.2. Sa fréquence

Un son élémentaire est une oscillation régulière que l'on décrit par sa fréquence, qui est le nombre d'oscillations par seconde, notée **f** et qui s'exprime en hertz, noté Hz.

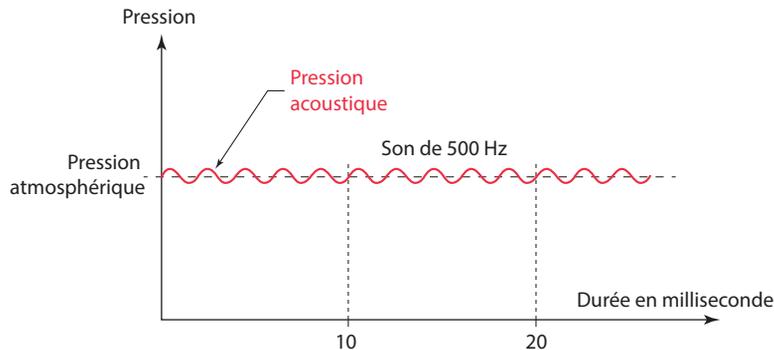


Figure 1.1 • Cinq oscillations en dix millisecondes, la fréquence est de 500 Hz.

On appelle physiquement « bruit » un mélange confus de sons élémentaires de différentes fréquences et de pression acoustique variable (attention, ce mot a une signification différente lorsqu'il s'agit de la perception auditive).

1.1.3. L'oreille

Elle est sensible (suivant les personnes) à des oscillations de fréquences comprises entre **20 Hz** et **15 000 Hz**. C'est le domaine du **son**.

À titre indicatif, il est de coutume d'appeler **aigus** les sons de fréquence supérieurs à 1 500 Hz environ, **graves** ceux dont la fréquence est inférieure à 300 Hz.

La sensibilité de l'oreille varie avec la fréquence, elle croît progressivement de 20 Hz à 1 000 Hz maximum vers 4 000 Hz ; elle décroît brutalement au-dessus de 5 000 Hz.

1.1.4. La propagation du son

La vibration acoustique se propage de proche en proche. La vitesse de cette propagation est appelée « **célérité du son** », notée **c**.

Elle est voisine de **340 m/s** dans l'air et est beaucoup plus grande que la vitesse vibratoire.

Elle croît légèrement avec la température.

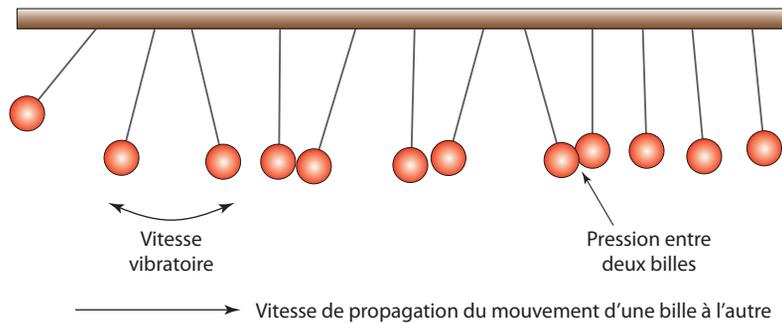


Figure 1.2 • Différence entre vitesse de propagation et vitesse vibratoire.

Avez-vous remarqué le jeu qui consiste en une file de pendules ? Lorsqu'on lance le premier pendule, sa bille rencontre celle du deuxième, qui se met à osciller et transmet son mouvement au suivant. Au moment du choc, de l'énergie cinétique se transmet à la bille suivante.

Le mouvement se propage d'une bille à l'autre à une vitesse différente de celle prise par la bille au cours de son oscillation.

Il en est de même pour le son, qui peut être représenté comme le mouvement d'une infinité de bulles d'air qui s'entrechoquent tout en tendant à revenir à leurs positions initiales.

1.1.5. La longueur d'onde

La distance parcourue par un son élémentaire au cours d'une seule oscillation est appelée « longueur d'onde », notée λ , exprimée en mètres.

Pour une fréquence f $\lambda = c/f = 340/f$.

Soit 3,40 m à 100 Hz ; 0,34 m ou 34 cm à 1 000 Hz.

La longueur d'onde a de l'importance dans le comportement du son face à un obstacle.

Si l'obstacle a une dimension inférieure au tiers de la longueur d'onde, il est ignoré par l'onde acoustique.

1.2. LE DÉCIBEL (UN CASSE-TÊTE !)

1.2.1. L'échelle du décibel

Les acousticiens font appel à un langage particulier : le décibel. Le décibel, noté dB, n'est pas une unité de mesure mais une échelle logarithmique qui permet d'exprimer la proportion entre deux valeurs.

Une variation de **1 dB**, c'est une multiplication par **1,26** (soit une croissance de 26 %) si c'est 1 dB en plus, ou bien une division par 1,26 si c'est 1 dB en moins.

+ 2 dB, c'est multiplier par	1,58
+ 3 dB	2
+ 5 dB	3
+ 10 dB	10
+ 20 dB	100
+ 60 dB	1 million

Cette échelle, qui a l'avantage de simplifier les chiffres, peut paraître grossière. Elle a rapport :

- à la précision de mesure estimée à 2 dB hors conditions de laboratoire ;
- à la tolérance de 3 dB appliquée à la réglementation des bâtiments ;
- à la perception du bruit.

Pour un individu :

- + 5 dB, c'est un peu plus fort ;
- + 10 dB, c'est deux fois plus fort ;
- + 20 dB, quatre fois plus fort ;
- + 60 dB, soixante-quatre fois plus fort.

En contrepartie, le décibel complique les calculs et crée des confusions, car **on exprime en décibels des grandeurs physiques très différentes.**

1.2.2. Le niveau de pression acoustique (ou niveau sonore)

C'est la valeur en décibels de la pression acoustique en un point, mesurée à l'aide d'un sonomètre ou bien calculée.

Il est le plus souvent mesuré avec interposition du filtre (A) et exprimé en dB(A).

Il est noté L_{p_A} ou bien $L_p(A)$.

La référence zéro de l'échelle des décibels, soit 0 dB(A), correspond approximativement au niveau le plus bas perceptible par l'oreille. Les niveaux rencontrés dans un bâtiment varient de 25 dB(A) (à la campagne, la nuit, on entend les mouches voler) à 100 dB(A) (cri, trompette).

LE SONOMÈTRE



Le bruit s'enregistre et se mesure à l'aide d'un microphone dont la membrane vibre comme un tympan et fournit un courant électrique alternatif qui varie en volts comme la pression acoustique.

La mesure de la pression acoustique est celle d'un courant alternatif, donc d'une « valeur efficace » qui est une moyenne énergétique. La pression acoustique étant variable, cette moyenne doit être réalisée sur une certaine durée, on choisit fréquemment une seconde (valeur lente). L'aiguille des premiers voltmètres adaptés à la mesure du courant alternatif variait comme le logarithme de la mesure en volt. Le décibel a permis une graduation régulière.

Des filtres incorporés au sonomètre permettent de supprimer les fréquences qui ne sont pas entendues par l'oreille. Le filtre (A) s'approche du filtrage de l'oreille pour les niveaux sonores usuels. La mesure est alors réalisée en dB(A).

Il existe des sonomètres capables de « moyenner » le niveau sonore sur de longues durées (une heure, une journée), ce sont des sonomètres intégrateurs.

1.2.3. Le niveau d'exposition acoustique

C'est le niveau de pression acoustique « moyenné » sur une longue période à l'aide d'un sonomètre intégrateur.

Son nom précis est **niveau acoustique équivalent**, noté L_{Aeq} et exprimé en dB(A).

C'est le niveau utilisé pour exprimer l'exposition des bâtiments aux bruits de l'environnement (bruit des infrastructures de transport et bruit des établissements classés) et aux bruits de voisinage, avec des règles différentes pour ces deux catégories de bruit (voir annexe E).

C'est aussi le niveau utilisé pour estimer l'exposition au bruit d'une personne à son poste de travail (protection de l'ouïe).

Pour un bruit continu (un ventilateur, par exemple), le niveau d'exposition est égal au niveau de pression acoustique. Si le bruit n'est présent que 10 % du temps, il est de 10 décibels inférieur au niveau de pression acoustique. Le niveau d'exposition de jour dans une rue circulée varie entre 60 et 72 dB(A).

1.2.4. Le niveau de puissance acoustique

Il sert à caractériser la production d'énergie acoustique par une source de bruit.

Son symbole est L_w . Lorsqu'il est exprimé par une seule valeur, on utilise le dB(A) et le symbole est L_{wA} .

Zéro décibel correspond à une puissance d'un picowatt. Pour éviter toute confusion, on précise « dB » par rapport au picowatt lorsqu'il s'agit d'une puissance.

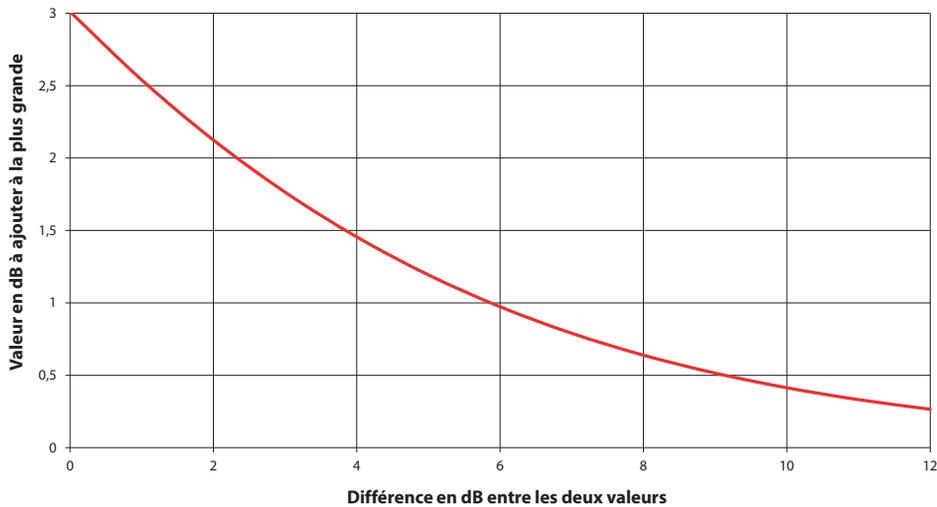
La valeur de L_{wA} est gravée sur la plaque des matériels bruyants ou indiquée sur la notice du petit matériel ou des équipements électroménagers. Le chiffre indiqué sur la carte grise d'une automobile correspond à une vitesse urbaine. Attention, lorsque la valeur en dB(A) n'est pas accompagnée du terme L_{wA} , il peut s'agir d'un niveau de pression acoustique mesuré à 1 m de la machine qui est une valeur inférieure, de 8 à 11 dB, à celle du niveau de puissance acoustique. Vérifier sur la notice.

1.2.5. Les isolements

Les isolements et les qualités acoustiques des composants du bâtiment se mesurent en décibel, qui a alors le grand avantage d'exprimer une atténuation valable dans tous les cas, car indépendante du niveau sonore.

1.2.6. L'addition des niveaux sonores en décibels

Le décibel représentant une proportion, additionner arithmétiquement deux valeurs en décibels revient à les multiplier. L'addition de niveaux sonores en décibels utilise diverses méthodes. La plus simple fait appel à l'abaque suivant :



Abaque 1 • Somme de deux valeurs en dB.

Pour additionner deux niveaux L_{p1} et L_{p2} , on doit d'abord les soustraire arithmétiquement pour connaître leur différence en décibels, et on lit directement sur l'abaque la valeur à ajouter au plus grand des deux niveaux pour en obtenir la somme.

Pour deux valeurs égales, on ajoute 3 dB : $70 \text{ dB (+)} 70 \text{ dB} = 73 \text{ dB}$
 Pour deux valeurs différentes de 2 dB, on ajoute 2 dB : $70 \text{ dB (+)} 68 \text{ dB} = 72 \text{ dB}$
 Pour deux valeurs différentes de 6 dB, on ajoute 1 dB : $70 \text{ dB (+)} 64 \text{ dB} = 71 \text{ dB}$
 Pour deux valeurs différentes de 10 dB, on ajoute 0,5 dB.
 Une valeur isolée qui s'écarte de 20 dB peut être ignorée : $70 \text{ dB (+)} 50 \text{ dB} = 70 \text{ dB}$



Si on doit additionner de nombreuses valeurs par cette méthode, il est préférable de commencer l'addition par les deux plus petites valeurs et de continuer la progression du plus petit au plus grand. Si on dispose d'un outil de calcul, on utilise la formule de l'annexe B.

1.3. LA DESCRIPTION DU SON EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE : LE SPECTRE

Un signal sonore enregistré à l'aide d'un microphone peut être analysé sur un petit intervalle de temps et décomposé en fréquences. Le résultat de cette analyse s'appelle un « spectre ».



Figure 1.3 • Un marteau-piqueur, 90 dB(A).

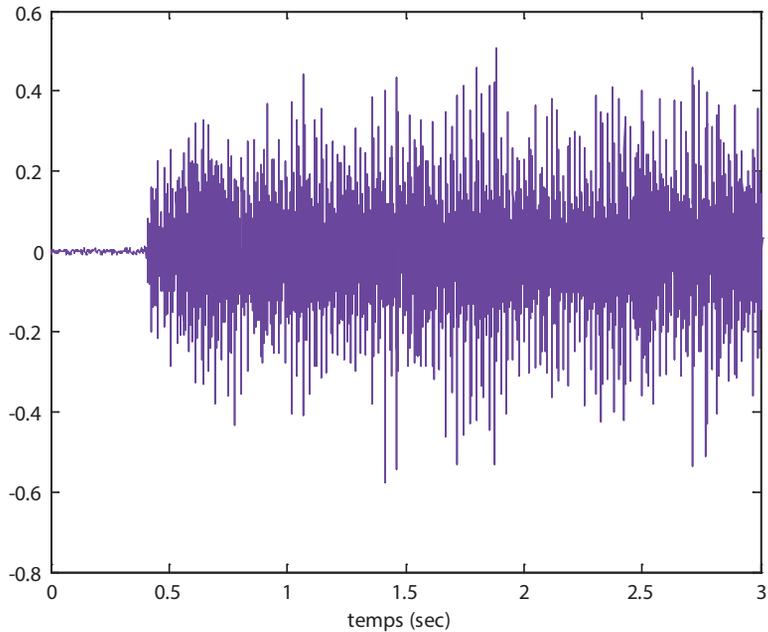


Figure 1.4 • Le signal sonore du marteau-piqueur (variation dans le temps de la pression acoustique).

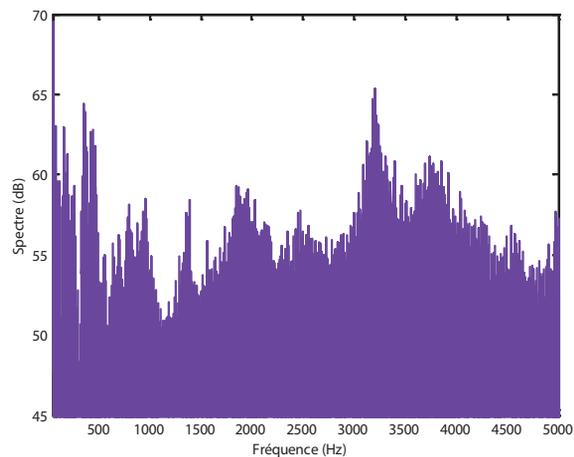


Figure 1.5 • La décomposition de ce signal en fonction de la fréquence, ou spectre en bande fine.

Pour simplifier l'exploitation de ces spectres, on regroupe ces fréquences par secteurs appelés « bandes », qui regroupent toutes les fréquences comprises entre deux valeurs.

Les acousticiens ont adopté la méthode des musiciens, qui découpent la gamme en **octaves**, représentant l'intervalle entre une note et une autre de fréquence double.

Les acousticiens nomment ces octaves par leur fréquence centrale (moyenne géométrique) et l'acoustique en bâtiment se contente de six octaves :

Octave **125 Hz**

Octave **250 Hz**

Octave **500 Hz**

Octave **1 000 Hz**

Octave **2 000 Hz**

Octave **4 000 Hz**

Un bruit qui a le même niveau à chaque octave s'appelle « **bruit rose** » (par analogie avec la lumière). C'est la **référence en acoustique du bâtiment**.

Rassemblé par octave, le spectre précédent devient le suivant :

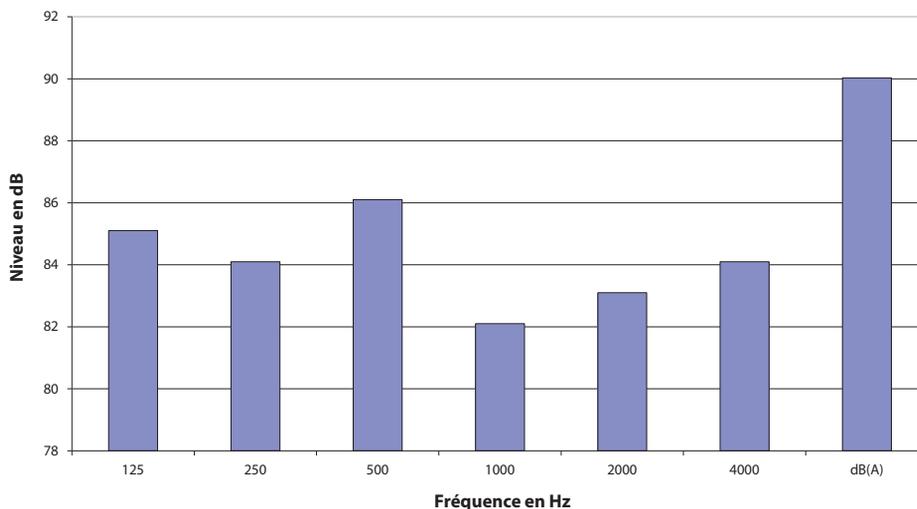


Figure 1.6 • Spectre par octave.

|||➡ À NOTER

Les laboratoires utilisent un découpage plus fin : le tiers d'octave.

1.4. LES SOURCES DE BRUIT ET LA PROPAGATION À L'EXTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

1.4.1. Calcul du niveau L_p en fonction de L_w à l'extérieur des bâtiments

Une source de bruit est décrite par sa puissance acoustique L_w , ses dimensions géométriques et, dans certains cas, sa directivité lorsqu'elle rayonne plus d'énergie acoustique dans une direction par rapport aux autres.

De la même façon que les rides formées à la surface de l'eau par un caillou jeté se propagent sous forme de cercles, l'onde sonore se propage sur des sphères autour de la source ou des hémisphères si la source est placée sur le sol ou une autre surface.

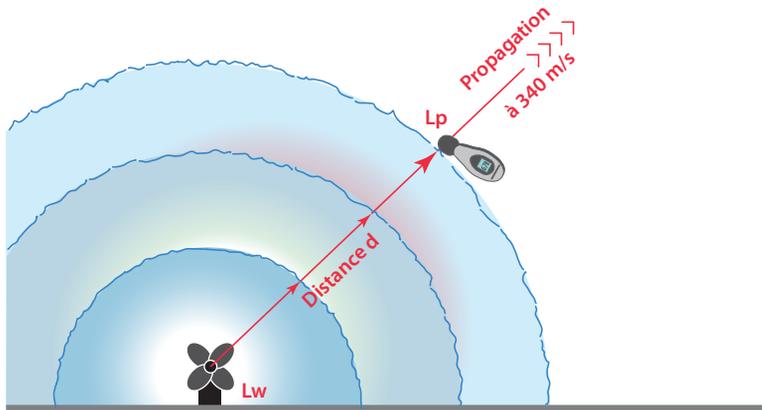
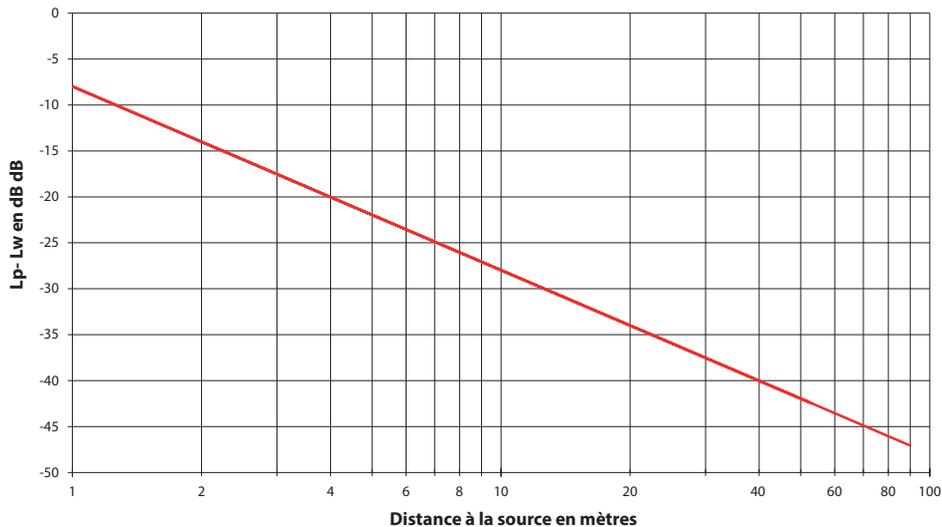


Figure 1.7 • Propagation des ondes sonores sur des hémisphères.

Le niveau L_p **diminue avec la distance d** car l'énergie acoustique se répartit sur des surfaces de plus en plus grandes. Il n'y a pratiquement pas de perte d'énergie (elle est de l'ordre du dB/km à 100 Hz).

L'abaque suivant donne la valeur en dB à retrancher à L_w pour connaître L_p , à une distance d de la source, compte tenu de la présence du sol (cas général).

(Les résultats sont valables à des distances très supérieures aux dimensions de la source.)



Abaque 2 • Décroissance du niveau de pression sonore L_p par rapport à L_w de la source et en fonction de la distance (en absence d'obstacle).

Dans le cas d'une source directive, on devra ajouter au niveau trouvé la valeur en dB du facteur de directivité pour la direction considérée.



Exemple :

Le fabricant d'une pompe à chaleur indique 70 dB(A) comme niveau de puissance acoustique L_w , et on désire connaître le niveau sonore en limite de la propriété voisine qui est à 25 m de distance. La valeur lue sur la courbe est - 36.

$$L_p = 70 - 36 = 34 \text{ dB(A)}$$

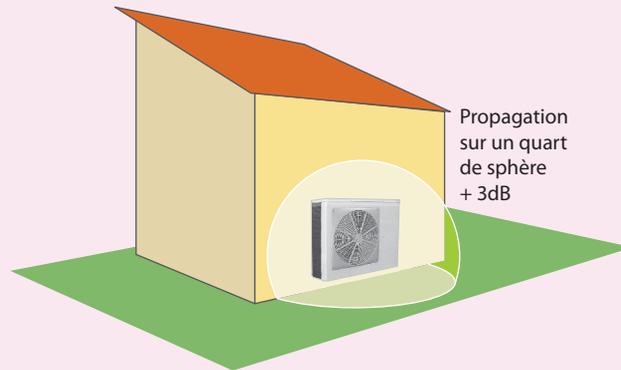


Figure 1.8 • Propagation de l'onde sonore issue d'une source placée sur une façade.

Si cette pompe était intégrée à une façade, son rayonnement se ferait selon un quart de sphère, et le niveau de pression acoustique serait majoré de 3 dB, soit 37 dB(A) à 25 m de distance.

1.4.2. La réflexion sonore

La plupart des **surfaces** se comportent vis-à-vis du son comme des **miroirs parfaits**. Pour qu'un matériau ne réfléchisse pas le son, il suffit qu'il soit perméable à l'air. À l'extérieur, on peut citer comme surfaces poreuses la terre fraîchement labourée, ou encore les bottes de paille.

Chaque réflexion produit une « source image » dont la pression acoustique doit être additionnée à celle de la première.

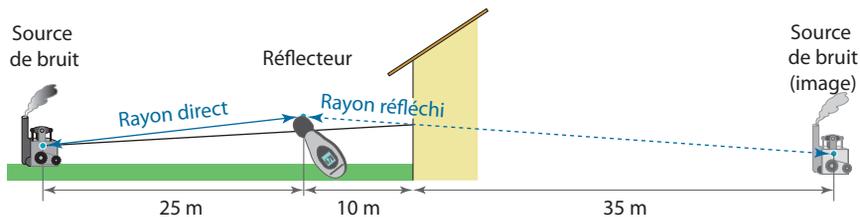


Figure 1.9 • Position de l'image de la source réfléchi par la façade.

Exemple :

Prenons l'exemple d'une machine située à 25 m de la limite d'une propriété (point de contrôle réglementaire) et dont le niveau de puissance acoustique L_w est 90 dB(A).

Le niveau sonore produit par le rayon direct à 25 m est : $L_p = 90 - 36 = 54$ dB(A).

Une maison se trouve à 10 m au-delà de cette limite, soit à 35 m de la machine. Le rayon sonore qui se réfléchit sur la maison pour revenir au point de contrôle parcourt une distance de 35 m plus 10 m, soit 45 m, distance pour laquelle l'abaque indique environ - 42 dB.

Soit un niveau sonore réfléchi : $L_{p_2} = 90 - 42 = 48$ dB(A).

Pour connaître la somme du niveau sonore direct et du niveau réfléchi, on calcule la différence entre les deux valeurs : $54 - 48 = 6$ dB.

Soit, à la lecture de l'abaque A1, 1 dB à ajouter à la première valeur : $L_p = 55$ dB(A).

1.4.3. L'ombre apportée par un écran

Le son se propage un peu comme la lumière, et un mur peut faire de l'ombre au son. C'est l'effet d'écran. Pour être efficace, le mur doit être plus grand que la longueur d'onde. Un mur de 2 m de haut laissera passer les sons les plus graves.

Lorsque l'on se retrouve dans la zone d'ombre optique, le niveau sonore est réduit d'au moins 5 dB (attention aux réflexions parasites qui peuvent venir détruire cet effet en permettant à des rayons sonores de pénétrer dans la zone d'ombre).

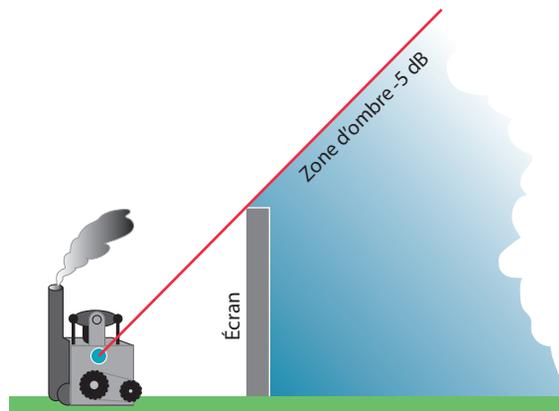


Figure 1.10 • L'écran réduit le bruit d'au moins 5 dB en cachant sa source.

Ainsi, grâce à un mur, le bruit de la machine pourrait être ramené à 50 dB(A), voire moins (**calcul de spécialiste**).

Une terrasse élevée peut apporter une ombre importante sur le bruit d'un groupe de ventilateurs placé sur son sommet, à condition que celui-ci soit placé en retrait.

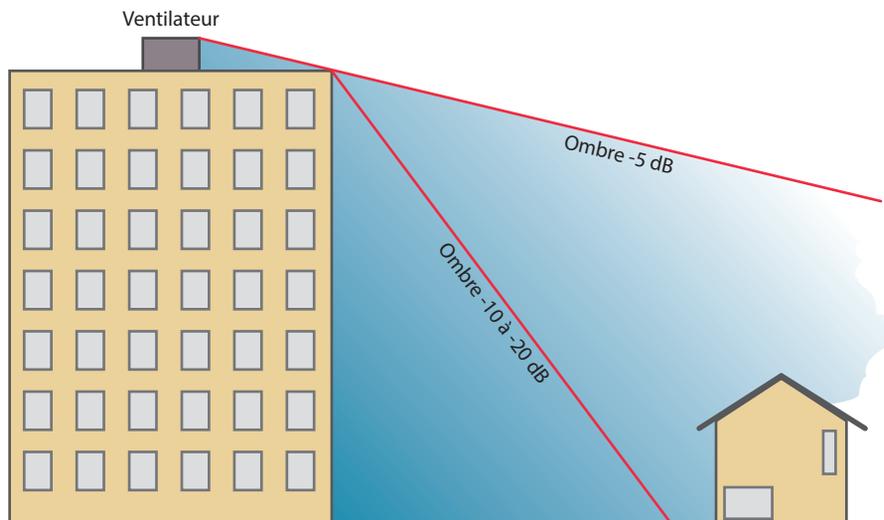


Figure 1.11 • Réduction en dB du bruit de ventilateur par l'ombre portée par la terrasse.

III ► OBSERVATION

Les conditions météorologiques influent sur la propagation du son. Le son se propage mal près d'un sol chauffé par le soleil ou contre le vent. Le son se propage bien les nuits claires, les journées nuageuses et dans le sens du vent (voir paragraphe 11.5).

1.5. LA PROPAGATION DU SON DANS UNE SALLE

1.5.1. La durée de réverbération

Les murs sont des **miroirs** pour le son. Enfermés dans une salle, les sons se livrent à une permanente « partie de billard ».

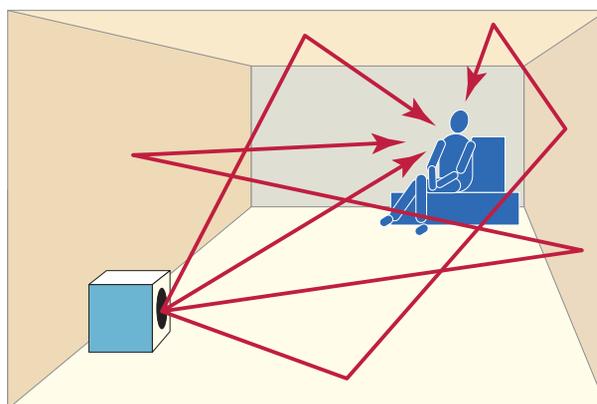


Figure 1.12 • Les rayons sonores se réfléchissent à l'infini sur les murs de la salle.

On ne se rend pas compte que le son du haut-parleur nous arrive par les murs et par le plafond, car l'oreille est faite pour repérer l'origine du bruit et son plus court chemin.

Les rayons qui ont parcouru un long chemin après peut-être une centaine de réflexions arrivent en retard et prolongent la durée du bruit.

Si on entre dans une salle non meublée et qu'après avoir fermé la porte on émet un son bref, celui-ci va mettre du temps pour s'arrêter. C'est la **réverbération**.

On appelle « durée de réverbération » le temps que met un son pour décroître de 60 dB (c'est-à-dire disparaître pour l'oreille), à partir du moment où l'on stoppe son émission.

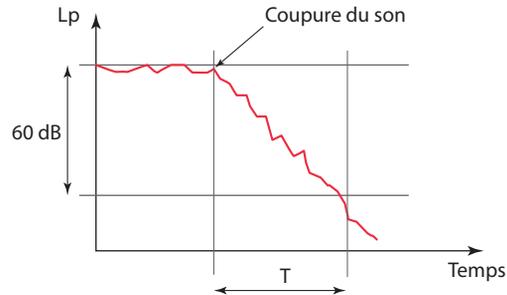


Figure 1.13 • Décroissance du niveau sonore dans une salle après arrêt de la source.

La durée de réverbération, notée **T**, dépend du volume **V** de la salle et d'une surface appelée « **aire d'absorption de la salle** », notée **A** et définie dans la suite.

Dans une salle vide, **T** peut être de l'ordre d'une seconde, c'est-à-dire que les rayons sonores auront le temps de parcourir 340 m avant de s'éteindre. **T** peut atteindre 2 à 3 s dans un grand volume (hall de gare, piscine couverte).

La formule de Sabine permet de calculer la durée de réverbération **T** :

$$T = 0,16 (V/A)$$

T est en secondes, **V** en mètres cubes, **A** en mètres carrés.

L'aire d'absorption **A** dépend du **facteur d'absorption** α des différentes surfaces présentes dans la salle.

1.5.2. Le facteur d'absorption alpha

Le facteur d'absorption alpha, noté α , (souvent appelé « coefficient d'absorption ») traduit la part de l'énergie sonore qui n'est pas réfléchiée par la surface et qui est considérée comme « absorbée » dans le matériau.

C'est un rapport sans dimension qui varie de 0 pour un réflecteur parfait à 1 pour un absorbant parfait.

(Une valeur de) $\alpha = 0,4$ signifie que 40 % de l'énergie acoustique a pénétré dans le matériau tandis que 60 % de l'énergie a été réfléchi.

Un matériau absorbant n'est pas un matériau isolant acoustique, il est utile pour **corriger la réverbération** dans un local lorsque cela est nécessaire.

Un absorbant parfait ($\alpha = 1$) laisse pénétrer toute l'énergie qu'il reçoit, sans la réfléchir. C'est le cas d'une fenêtre ouverte, qui est donc un excellent absorbant mais qui, en revanche, n'isole absolument pas du bruit.

Pour qu'un matériau soit absorbant, il faut qu'il soit légèrement perméable à l'air (on doit pouvoir souffler dedans avec un peu d'effort). Pour un absorbant donné, le facteur d'absorption varie beaucoup avec la fréquence (il est beaucoup plus facile d'absorber les sons aigus que les sons graves). α est généralement décrit par octave ou tiers d'octave.

On peut exprimer α par une valeur unique qui se réfère à un bruit particulier : le bruit rose, la voix humaine, le bruit routier.

La normalisation européenne a défini une valeur unique moyenne : **l'indice d'absorption acoustique pondéré α_w** , dont la valeur est donnée par les fabricants (voir annexe A).

À la fréquence 1 000 Hz, on peut attribuer les valeurs suivantes (citées à titre indicatif) :

Matériau	α à l'octave 1 000 Hz
Béton peint	0,02
Plâtre	0,04
Rideau de coton	0,20
Tapis épais	0,40
5 cm de laine minérale dense	0,80

Le règlement de la construction ne prévoit la pose de matériau absorbant dans les habitations que dans les circulations communes et considère que la durée de réverbération d'une pièce d'habitation « normalement meublée » est égale à une demi-seconde (**0,5 s**), tapis, coussins et rideaux jouant le rôle d'absorbants.

Par contre, il est nécessaire de corriger la durée de réverbération des locaux scolaires, bureaux, cantines, ateliers, gymnases et salles de spectacle.

A se calcule, pour une fréquence ou un bruit donné, par la somme de toutes les surfaces de la pièce et leur facteur d'absorption α .

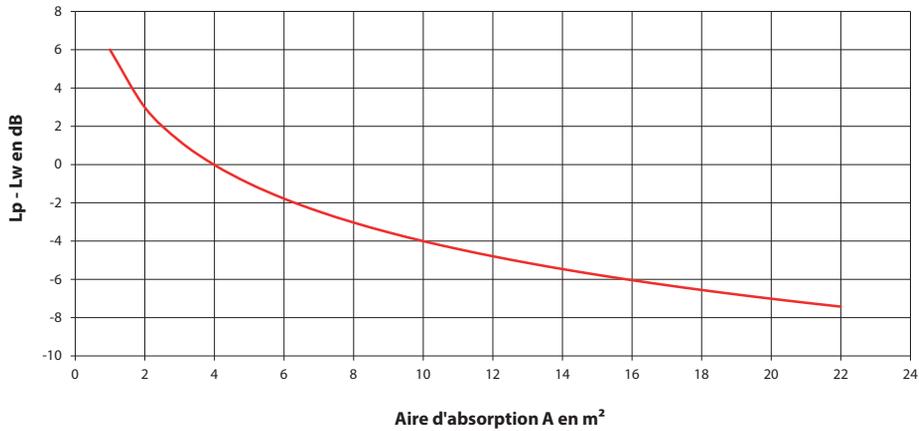
$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 \dots$$

A représente la surface qui permet au bruit de s'échapper, l'équivalent de la surface d'une fenêtre ouverte.

1.5.3. Niveau de pression acoustique dans une salle en fonction du niveau de puissance acoustique d'une source

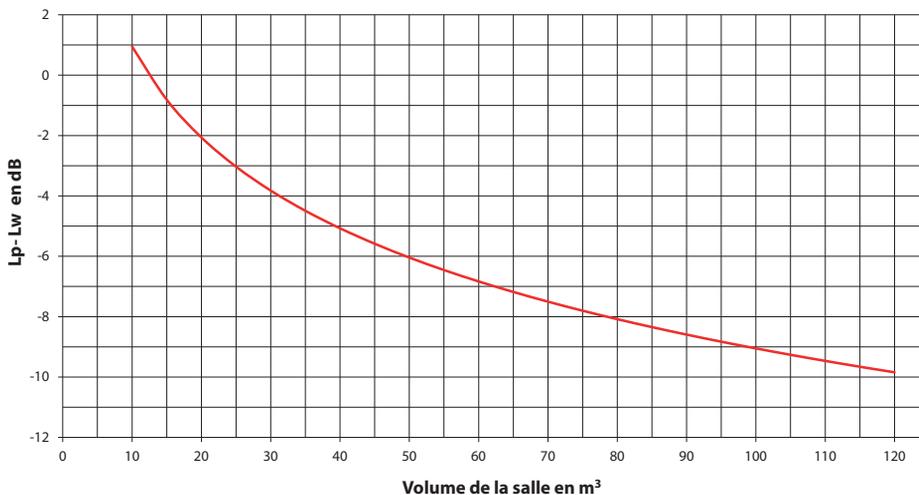
Dans une pièce d'habitation, on considère que **le niveau de pression acoustique est le même en tout point**, compte tenu du brassage produit par les réflexions multiples.

La différence entre le niveau de puissance acoustique L_w et le niveau de pression acoustique L_p ne dépend que de A .



Abaque 3 • Différence entre L_p et L_w en fonction de l'aire d'absorption de la salle.

Pour les locaux d'habitation, on considère que la durée de réverbération est égale à **0,5 s à toutes les fréquences**. Dans cette condition, on montre que la différence entre L_p et L_w ne dépend que du volume.



Abaque 4 • Différence entre L_p et L_w en fonction du volume de la salle pour une durée de réverbération de 0,5 s.

On remarque que, pour un petit volume ou une faible valeur de A , le niveau de pression acoustique peut être supérieur au niveau de puissance de la source.