

Réglementation acoustique des bâtiments

par **Mathias MEISSER**

*Ingénieur des Arts et Manufactures
Consultant en acoustique du bâtiment*

1. Principes de la réglementation acoustique des bâtiments	C 3 365 - 2
1.1 Obligations de résultats. Étude et mise en œuvre.	
Contrôles <i>a posteriori</i>	— 2
1.2 Bâtiments soumis à des exigences acoustiques réglementaires	— 2
1.3 Domaines acoustiques visés	— 3
1.4 Les textes et leur évolution	— 3
2. Isolements acoustiques aux bruits aériens	— 3
2.1 Isolements acoustiques entre locaux à l'intérieur d'un bâtiment	— 3
2.1.1 Différentes voies de transmission du bruit entre un local d'émission et un local de réception	— 3
2.1.2 Influence des caractéristiques acoustiques des locaux de réception	— 5
2.1.3 Les différents isolements acoustiques (bruts, normalisés, standardisés)	— 5
2.1.4 Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi	— 5
2.1.5 Relations entre les différents isolements et indices d'affaiblissement	— 6
2.1.6 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1 ^{er} janvier 2000	— 7
2.1.7 Principales valeurs d'isolements acoustiques standardisés D_{nTA} exigées dans les règlements (habitation et tertiaire)	— 12
2.2 Isolements acoustiques vis-à-vis des bruits extérieurs (isolations de façades)	— 13
2.2.1 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1 ^{er} janvier 2000	— 13
2.2.2 Valeurs d'isolements acoustiques standardisés exigées dans les règlements	— 13
3. Niveaux de bruits de choc	— 14
3.1 Les différentes voies de transmission du bruit de choc	— 14
3.2 Les différents niveaux de bruits de choc	— 14
3.3 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1 ^{er} janvier 2000	— 15
3.3.1 Caractérisation des bruits de choc utilisée en France avant le 1 ^{er} janvier 2000	— 15
3.3.2 Vocabulaire à utiliser depuis le 1 ^{er} janvier 2000	— 15
3.3.3 Calcul d'un niveau de bruit de choc normalisé pondéré par comparaison avec un niveau de référence	— 16
4. Niveaux de bruits d'équipements	— 19
5. Traitement acoustique des circulations communes	— 20
6. Correction acoustique de certains locaux	— 22
Pour en savoir plus	Doc. C 3 365

En France, la réglementation relative à la limitation du bruit dans les bâtiments fixe des exigences correspondant à une qualité acoustique minimale en fonction de la destination des constructions. C'est au maître d'ouvrage de prendre en considération des circonstances particulières et éventuellement de demander que soient réalisées des performances supérieures aux exigences

réglementaires. Cela devrait être notamment le cas lorsque le bâtiment prévu est situé dans un environnement particulièrement calme.

La réglementation ne traite que des constructions neuves, additions ou surélévations d'immeubles.

Les textes réglementaires relatifs aux caractéristiques acoustiques des bâtiments s'imposent à tous les constructeurs. Ces textes sont parsemés de termes qui ne sont pas toujours compris de tous : niveaux de pression acoustique, décibel, décibel A, intervalles d'octave centrés sur une fréquence, spectre de bruit, isolement acoustique normalisé pour un bruit rose à l'émission, isolement acoustique standardisé, niveau de pression du bruit de choc standardisé, durée de réverbération, aire d'absorption équivalente...

Pendant trente ans, période qui sépare la première réglementation acoustique applicable aux bâtiments d'habitation (14 juin 1969) de la dernière (30 juin 1999), les méthodes de prévision des performances acoustiques d'un bâtiment se sont affinées, mais le vocabulaire utilisé, les unités et les méthodes de calcul n'ont pas varié. Ainsi, les constructeurs ont pu se forger des réflexes permettant d'adapter les moyens à utiliser aux obligations de résultats.

En 2000, il a été nécessaire de « traduire » les performances des bâtiments et des éléments de construction en « langage européen » précisé dans des normes européennes. Il en résulte une modification de la terminologie acoustique, de l'expression des résultats et des modes de calcul. Il nous a paru indispensable que cette présentation de la réglementation acoustique des bâtiments montre les différences entre ce qui a été pratiqué pendant trente ans et ce qui doit être utilisé maintenant. Nous avons supposé toutefois que les notions de base, décibel, décibel A, spectre de bruit étaient déjà acquises par le lecteur.

1. Principes de la réglementation acoustique des bâtiments

La démarche française visant à donner aux constructions une qualité acoustique minimale est originale par rapport à celle des autres pays européens : le maître d'ouvrage d'un immeuble d'habitation s'engage, dans son dossier de demande de permis de construire, à respecter les règles générales de construction contenues dans le code de la construction et de l'habitation, le respect de ces règles pouvant être contrôlé par l'administration en fin de travaux. En cas de non-conformités, le maître d'ouvrage est condamné, notamment, à réaliser des travaux complémentaires, nécessaires à l'obtention des résultats exigés.

1.1 Obligations de résultats. Étude et mise en œuvre. Contrôles *a posteriori*

En acoustique, le maître d'ouvrage s'engage à respecter les exigences données par arrêté sous forme d'obligations de résultats. Il demande aux concepteurs et entrepreneurs de prévoir et réaliser les dispositions permettant de les obtenir, ce qui suppose une étude prévisionnelle et l'exécution des travaux prévus par cette étude. Lorsque la construction est terminée, des mesures de contrôle *a posteriori* peuvent être effectuées par l'administration. En acoustique, contrairement à d'autres domaines essentiels tels que l'isolation thermique et la protection contre l'incendie, les mesures de réception sont possibles.

Ainsi la « chaîne complète » étude, réalisation, contrôle est en place. Or l'étude se fait à partir de méthodes prévisionnelles simplifiées ou sophistiquées prenant en compte des performances de produits plus ou moins bien connues, lois statistiques ou performances de produits mesurées en laboratoire. La qualité de la mise en œuvre des prestations est un des facteurs de réussite. Les mesures *a posteriori* sont simplifiées et les résultats obtenus sont arrondis au décibel le plus proche. Tout cela conduit à un écart éventuel entre le résultat prévu et un résultat mesuré. Chacune des étapes est affectée par une incertitude : les méthodes de prévision ne conduisent qu'à une estimation du résultat probable, les performances des matériaux utilisés, ou bien mesurées ou bien issues d'études statistiques, ne sont pas connues au décibel près, les mesures simplifiées de réception sont peu précises. Il a donc été décidé d'interpréter les résultats de mesures en considérant une incertitude globale de 3 dB.

Cette incertitude acceptée est à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats de mesures de réception. Elle n'est pas à utiliser dans les études prévisionnelles : tous les résultats prévisibles doivent être strictement conformes, voire supérieurs, aux performances exigées par la réglementation, on a bien besoin des 3 dB d'incertitude globale finale pour tenir compte des incertitudes de chaque élément de la chaîne « prévision – mesure ».

1.2 Bâtiments soumis à des exigences acoustiques réglementaires

Le premier secteur qui a bénéficié d'une réglementation acoustique est celui des **constructions neuves à usage d'habitation**. Dès 1958, une notice technique du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) énonçait un certain nombre de contraintes acoustiques qu'il était recommandé de respecter dans les immeubles

d'habitation. Cette notice était rendue obligatoire pour les constructions réalisées avec l'aide de l'État par le CPTFMU (Cahier des prescriptions techniques fonctionnelles minimales unifiées). Elle précisait la notion « d'isolement acoustique suffisant » imposé par un décret du 22 octobre 1955.

Par la suite, le code de l'urbanisme a mis en place pour tous les bâtiments d'habitation, aidés ou non, la démarche « obligations de résultats – engagement du demandeur du permis de construire – contrôles *a posteriori* – sanctions en cas de non-conformité ». Cela s'est traduit, en 1969, par un décret « Règles générales de construction applicables aux bâtiments d'habitation », et un arrêté qui fixait ces règles en matière d'isolation acoustique pour les bruits produits à l'intérieur de l'immeuble. Depuis, il y a eu, en 1978 un deuxième arrêté visant l'isolation des habitations vis-à-vis des bruits extérieurs de circulation routière, ferroviaire ou aérienne. Ces textes ont été révisés en 1994 pour ce qui concerne l'arrêté de 1969 (ce qui a donné l'appellation **NRA – nouvelle réglementation acoustique**) et en 1996 pour l'arrêté de 1978. Enfin, en 1999, la NRA a fait l'objet d'une adaptation aux règles européennes, sans modification de la hauteur des exigences.

Pour les bâtiments autres que d'habitation, il n'y avait que les hôtels et les locaux de travail qui étaient soumis à des règles fixées par arrêtés. Pour les hôtels, seuls ceux qui faisaient l'objet d'une demande de classement devaient répondre aux exigences. Quant aux locaux de travail, le but du texte était de réaliser une correction acoustique des locaux afin de protéger les travailleurs contre les risques de surdité.

La loi du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit a prévu deux séries de textes réglementaires ; l'un relatif aux établissements dans lesquels s'exercent des activités bruyantes, telles que la musique amplifiée, l'autre relatif aux bâtiments autres que d'habitation. Il en est résulté un décret et un arrêté du 15 décembre 1998 relatifs aux prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse. De même un décret du 9 janvier 1995 relatif aux caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que d'habitation et de leurs équipements donne la liste des établissements qui seront soumis à des exigences : tout établissement d'enseignement, de santé, de soins, d'action sociale, de loisirs et de sports, ainsi que les hôtels et établissements d'hébergement à caractère touristique.

Fin 2004, parmi les bâtiments autres que d'habitation, seuls les établissements d'enseignement, de santé et les hôtels sont soumis à des obligations de résultats acoustiques fixées par arrêtés. Notons que rien n'est prévu pour les immeubles de bureaux. C'est au maître d'ouvrage de définir la qualité acoustique qu'il souhaite. Pour l'aider dans cette tâche, l'Afnor prépare une norme qui indiquera les performances à satisfaire pour atteindre trois niveaux de qualité acoustique.

1.3 Domaines acoustiques visés

Tous les arrêtés relatifs aux caractéristiques acoustiques des bâtiments, du secteur de l'habitation ou du secteur tertiaire, fixent des exigences dans les domaines suivants :

- isolements acoustiques aux bruits aériens entre locaux à l'intérieur de l'immeuble ;
- isolation des bâtiments vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur : bruits de circulation routière ou ferroviaire, bruits d'avions ;
- isolation vis-à-vis des bruits de chocs sur les planchers ;
- limitation des bruits d'équipements de l'immeuble, qu'il s'agisse d'équipements individuels ou collectifs ou d'équipements à fonctionnement permanent ou intermittent ;
- correction acoustique de certains locaux et aire d'absorption acoustique minimale à prévoir dans les circulations internes au bâtiment.

1.4 Les textes et leur évolution

■ Un récapitulatif de ces textes est donné dans les tableaux 1 et 2.

■ **Avant le 1^{er} janvier 2000**, la France et les autres pays européens avaient l'habitude d'exprimer les **performances acoustiques** des éléments de construction et des bâtiments sous la forme de valeurs uniques issues de l'exploitation des courbes des performances par intervalles de fréquences. Les méthodes utilisées en France n'étaient pas les mêmes que dans les autres pays : la France caractérisait les performances par des valeurs globales en décibels pondérés A (dB(A)), alors que la plupart des autres pays utilisaient des comparaisons avec des courbes de référence. Il n'y a pas de corrélation entre les résultats obtenus à l'aide des deux méthodes.

Avant le 1^{er} janvier 2000, depuis la réglementation de juin 1969 relative à l'isolation acoustique dans les bâtiments d'habitation, les **intervalles de fréquences** utilisés en France dans les calculs des valeurs uniques obtenues en laboratoire commençaient au tiers d'octave centré sur 100 Hz et se terminaient au tiers d'octave centré sur 5 000 Hz. Pour les valeurs uniques issues de mesures *in situ*, les calculs prenaient en compte les intervalles d'octave centrés sur 125, 250, 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz.

Dans les autres pays, les calculs s'arrêtaient(*) au tiers d'octave centré sur 3 150 Hz et à l'octave centrée sur 2 000 Hz.

* Ce mode de calcul est toujours en vigueur et est devenu la norme en Europe (voir § 2.1.6).

■ **Depuis le 1^{er} janvier 2000**, il est obligatoire d'utiliser dans toute l'Europe les valeurs uniques et leurs méthodes de calcul précisées dans la série de normes EN ISO 717, diffusées par l'Afnor sous la référence NF EN ISO 717. De même, les méthodes de mesures en laboratoire et *in situ* sont définies dans la série de normes NF EN ISO 140.

Pour la France, cela s'est traduit par l'obligation de modifier le vocabulaire utilisé auparavant et d'adapter les méthodes de calcul. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la NRA (nouvelle réglementation acoustique) relative aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation, datant du 28 octobre 1994, a été remplacée par l'arrêté du 30 juin 1999, qui est, en quelque sorte, la traduction en « langage européen » de cette NRA. Nous verrons dans ce qui suit quelles sont les différences dans chacun des domaines traités par la réglementation acoustique.

2. Isolements acoustiques aux bruits aériens

2.1 Isolements acoustiques entre locaux à l'intérieur d'un bâtiment

2.1.1 Différentes voies de transmission du bruit entre un local d'émission et un local de réception

Lorsqu'un bruit est produit par une source dans un local, appelé « local d'émission », les ondes acoustiques heurtent les parois qui sont mises en vibration et qui deviennent source de bruit dans le local voisin, appelé « local de réception ». On affecte généralement l'indice 1 aux grandeurs acoustiques caractérisant l'**émission** et l'indice 2 à celles du local de **réception**.

À l'émission, toutes les parois du local sont mises en vibration, en particulier la paroi de séparation entre les locaux et les parois latérales, souvent communes aux deux locaux. Ainsi, le niveau sonore L_2 , à la réception, est alimenté par la transmission directe par la paroi de séparation, caractérisée par son **facteur de transmission** τ , mais aussi par la transmission *via* les parois latérales. Notamment

Tableau 1 – Liste des textes auxquels sont soumis les bâtiments neufs, les extensions ou les surélévations d'immeubles

Destination du bâtiment	Texte	Objet	Observations
Habitation	Arrêté du 30/06/1999	Caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation	Remplace les arrêtés du 14/06/1969, du 22/12/1975 et du 28/10/1994 (NRA)
	Arrêté du 30/06/1999	Modalités d'application de la réglementation acoustique	Remplace l'arrêté correspondant du 28/10/1994
	Arrêté du 30/05/1996	Classement des infrastructures de transports terrestres et isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit	Remplace les arrêtés du 6/10/1978 et du 23/02/1983
Enseignement – Santé – Loisirs et sports – Hôtels – Hébergement de tourisme	Décret du 9/01/1995	Application de l'article L. 111-11-1 du code de la construction et de l'habitation et caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que d'habitation et de leurs équipements	Application de la loi « bruit » du 31/12/1992
Enseignement	Arrêté du 25/04/2003	Limitation du bruit dans les établissements d'enseignement	Remplace l'arrêté du 9/01/1995
Hôtels	Arrêté du 25/04/2003	Limitation du bruit dans les hôtels	Remplace l'arrêté du 14/02/1986 : procédure de classement des hôtels et résidences de tourisme
Hôpitaux	Arrêté du 25/04/2003	Limitation du bruit dans les hôpitaux	
Enseignement – Hôtels – Hôpitaux	Circulaire du 25/04/2003	Méthodes de mesurages, incertitude à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats de mesures	Circulaire interministérielle parue au journal officiel
« Discothèques » et bâtiments assimilés	Décret du 15/12/1998	Prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée, à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse	Dispositions applicables aux établissements neufs et aux établissements existants (en cours de modification)
	Arrêté du 15/12/1998	Application du décret ci-dessus	En cours de modification
Locaux de travail	Décret du 21/04/1988	Seuils d'action et obligations qui en découlent	En cours de modification
	Arrêté du 30/08/1990	Objectifs de traitement acoustique des locaux	Application d'une directive européenne

Tableau 2 – Textes généraux à ne pas oublier dans l'étude acoustique d'un bâtiment

Types de problèmes	Textes	Objet	Observations
Transports terrestres	Décret du 9/01/95	Limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres	Création, modification ou transformation d'infrastructure
	Arrêté du 5/05/95	Bruit des infrastructures routières	
Environnement	Décret du 18/04/95	Lutte contre les bruits de voisinage et modification du code de la santé publique	
	Arrêté du 10/05/95	Modalités de mesures des bruits de voisinage	

lorsqu'une paroi latérale est liée à la paroi de séparation et est commune aux deux locaux, la vibration de la paroi latérale à l'émission se transmet partiellement à la paroi latérale à la réception et à la paroi de séparation qui lui est liée. De même, la vibration de la paroi de séparation se transmet partiellement à la paroi latérale côté réception. Il y a donc trois voies de transmission par jonction d'une paroi latérale et d'une paroi de séparation. Généralement, il y a quatre parois latérales, donc $4 \times 3 = 12$ voies de transmission latérales auxquelles s'ajoute la transmission directe par la paroi de séparation, soit 13 voies de transmission entre les locaux (figure 1).

Ces voies de transmission directes et latérales sont parfois complétées par des transmissions parasites dues à des trous dans

la paroi de séparation, des défauts d'étanchéité aux jonctions entre parois, à des passages de gaines ou canalisations...

On constate que l'énergie acoustique utilise toutes les voies de transmission possibles pour passer du local émission vers le local réception. La paroi de séparation est loin d'être la seule à assurer l'isolation entre les locaux. On peut en déduire que lorsque l'isolation existante entre deux locaux n'est pas suffisante, il ne faut pas se précipiter sur les systèmes de renforcement acoustique de la paroi de séparation, mais il faut faire **un diagnostic afin de hiérarchiser les voies de transmission** et traiter les voies prépondérantes. Dans ce domaine, l'improvisation est souvent décevante et coûteuse.

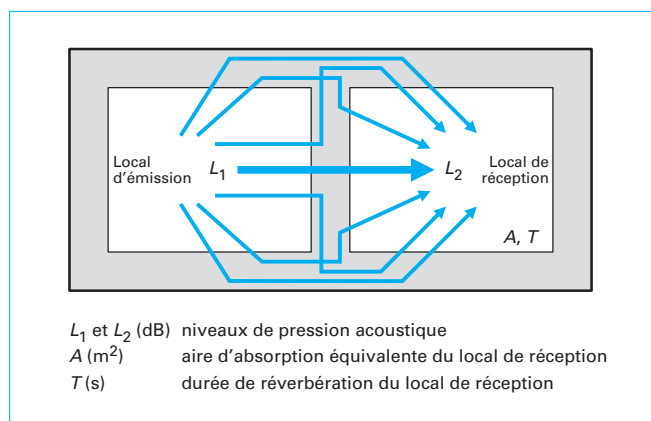


Figure 1 – Voies de transmission de l'énergie acoustique entre deux locaux

2.1.2 Influence des caractéristiques acoustiques des locaux de réception

Toute l'énergie véhiculée par les transmissions directes, latérales et parasites est consommée plus ou moins rapidement par les absorbants contenus dans le local réception. Le niveau L_2 dans le local réception dépend donc des parois constituant les locaux, des défauts éventuels de ces parois ou de leurs jonctions et des caractéristiques d'absorption du local. Ces caractéristiques d'absorption dépendent le plus souvent de l'ameublement et de la décoration du local, ces facteurs étant du ressort de l'occupant et non pas du constructeur.

Pour pouvoir fixer des objectifs d'isolation aux constructeurs et pour comparer des performances d'isolation entre divers locaux d'un même immeuble ou entre immeubles différents, il faut neutraliser les facteurs qui ne sont pas sous la responsabilité des constructeurs. C'est ainsi que les normes de définition et de mesures présentent des termes correctifs à appliquer aux valeurs brutes qui reviennent à calculer les isolations qui seraient obtenues si les locaux de réception avaient des caractéristiques d'absorption de référence.

2.1.3 Les différents isolements acoustiques (bruts, normalisés, standardisés)

L'isolement acoustique entre locaux est lié à la différence entre le niveau de pression acoustique L_1 dans le local émission et le niveau de pression acoustique L_2 dans le local réception.

■ Vocabulaire utilisé en France avant le 1^{er} janvier 2000

(§ 3.2 de la norme NF S 31057 : vérification de la qualité acoustique des bâtiments)

On distinguait deux types d'isolements entre locaux :

- L'isolement acoustique **brut** entre les locaux :

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)}$$

Cet isolement dépend des caractéristiques du local réception.

- L'isolement acoustique **normalisé** entre les locaux :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \lg (T/T_0) \text{ (dB)}$$

avec T : durée de réverbération du local de réception,
 T_0 : durée de réverbération de référence, prise égale à **0,5 s** à toutes les fréquences.

L'isolement normalisé D_n mesuré *in situ* était calculé dans chacun des intervalles d'octave centrés sur 125, 250, 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz.

À partir de la courbe de l'isolement normalisé en fonction de la fréquence, on calculait un isolement normalisé exprimé en dB(A), ce qui permettait de caractériser par une seule valeur l'isolement acoustique au bruit aérien en réponse à un bruit de spectre donné. On distinguait deux types de spectres : le spectre de **bruit rose** (même niveau de pression acoustique dans chaque intervalle de fréquence) et le spectre de **bruit routier** (figure 2). Pour différencier les isolements normalisés exprimés en dB(A) en fonction des spectres utilisés, on notait ces isolements :

$$D_{nAT(\text{rose})} \text{ et } D_{nAT(\text{route})}$$

■ Vocabulaire à utiliser depuis le 1^{er} janvier 2000

- L'isolement acoustique **brut** entre les locaux (sans changement) :

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)}$$

- L'isolement acoustique **normalisé** entre les locaux :

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \lg (A/A_0) \text{ (dB)}$$

- A est l'aire d'absorption équivalente en m² constatée dans le local de réception lors des essais. Il s'agit de la surface d'absorbant parfait ($\alpha = 1$) qui a le même pouvoir absorbant que l'ensemble des matériaux de revêtement et des équipements qui sont dans le local. Elle est déterminée en utilisant la **formule de Sabine** : $A = 0,16 (V/T)$, après avoir mesuré la durée de réverbération T du local réception.

- A_0 est une aire d'absorption équivalente de référence, prise égale à 10 m², sauf indication contraire dans un règlement ou une prescription contractuelle.

Le terme correctif utilisé correspond à une évaluation de la différence de niveau à la réception L_2 lorsque l'aire d'absorption équivalente varie de A à A_0 .

- L'isolement acoustique **standardisé** entre les locaux :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg (T/T_0) \text{ (dB)}$$

avec T (s) : durée de réverbération constatée dans le local réception lors des essais,

T_0 (s) : durée de réverbération de référence, prise égale à **0,5 s**.

Ainsi, l'isolement qui était appelé « normalisé » en France jusqu'au 1^{er} janvier 2000, doit être appelé maintenant « **isolement standardisé** ».

2.1.4 Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi

Dans le domaine de l'isolation aux bruits aériens, une paroi est caractérisée par son **facteur de transmission** τ , rapport de l'énergie transmise par la paroi à l'énergie incidente. On définit l'**indice d'affaiblissement acoustique** R de la paroi :

$$R = 10 \lg (1/\tau) \text{ (dB)}$$

■ Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi mesuré en laboratoire

Pour mesurer cet indice d'affaiblissement acoustique, il faut disposer de locaux tels que l'énergie acoustique ne puisse passer que par la paroi de séparation. Cette mesure ne peut se faire que dans un laboratoire qui comporte deux cellules voisines séparées par un noyau central désolidarisé des parois latérales des deux locaux et sur lequel est montée la paroi de séparation de surface S à tester (voir la figure 3).

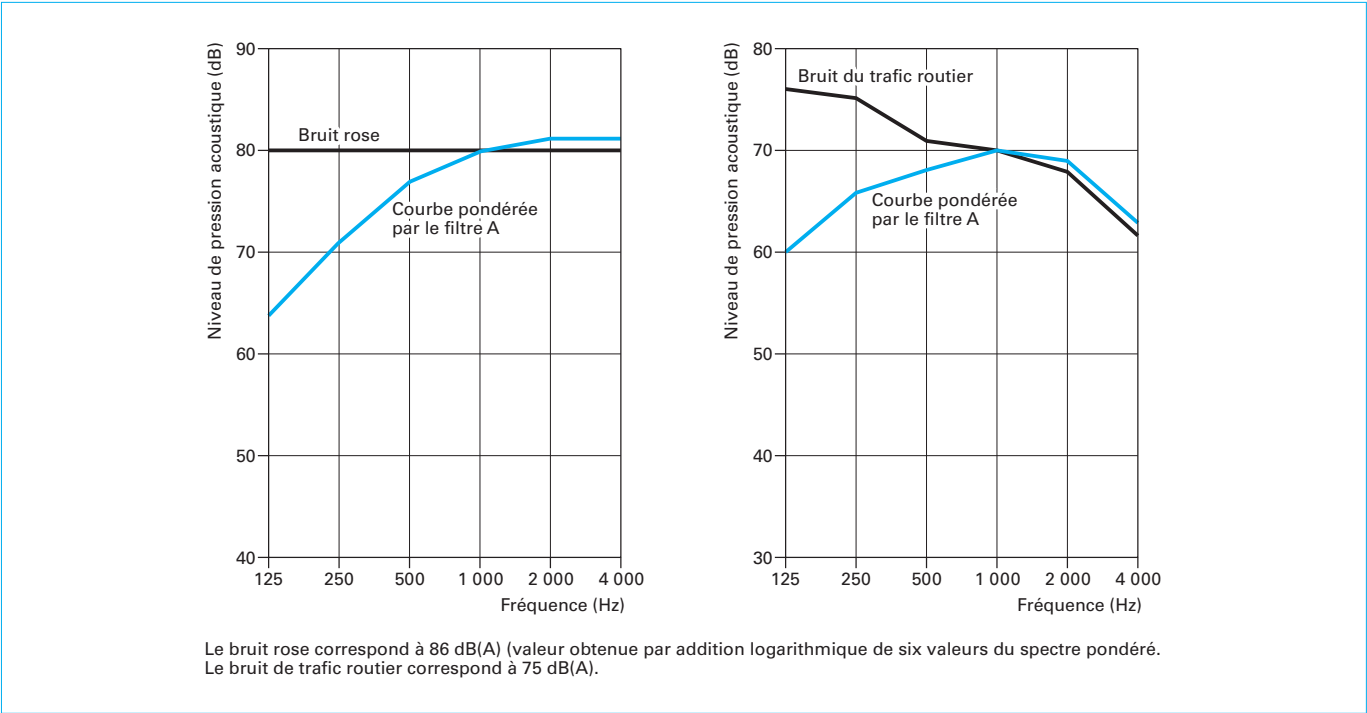


Figure 2 – Exemples d’un spectre de bruit rose et du spectre de bruit de trafic routier utilisé avant le 1^{er} janvier 2000

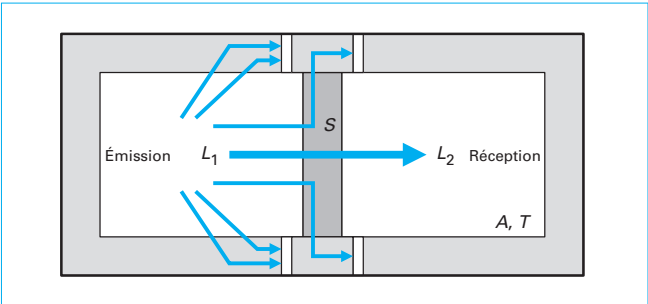


Figure 3 – Mesure de l’indice d’affaiblissement acoustique d’une paroi

La formule de l’indice R est obtenue en écrivant que l’énergie transmise par la paroi de séparation conditionnée par son facteur de transmission est consommée par l’absorption du local de réception :

$$R = L_1 - L_2 - 10 \lg (A/S) \text{ (dB)}$$

- avec L_1 et L_2 (dB) niveaux de pression acoustique respectivement dans les locaux d’émission et de réception,
- A (m²) aire d’absorption équivalente du local de réception,
- S (m²) surface de la paroi testée

Il ne faut pas confondre l’isolement acoustique entre locaux et l’indice d’affaiblissement acoustique de la paroi de séparation. Les écarts sont souvent égaux ou supérieurs à 5 dB, l’isolement étant plus faible que l’indice.

■ **Indice d’affaiblissement acoustique apparent mesuré *in situ***

In situ, on applique parfois la formule de l’indice d’affaiblissement acoustique d’une paroi. Mais, dans ce cas, le résultat obtenu est plus faible que celui mesuré en laboratoire car il est affecté par les transmissions latérales. Lorsque la mesure de l’indice se fait *in situ*, on l’appelle « **indice d’affaiblissement acoustique apparent** » et on le note R' au lieu de R :

$$R' = 10 \lg (W_1/(W_2 + W_3))$$

- avec W_1 puissance acoustique incidente sur la paroi de séparation,
- W_2 puissance acoustique transmise par cette paroi,
- W_3 puissance acoustique transmise par voies latérales ou par voies parasites.

$$R' = L_1 - L_2 - 10 \lg (A/S) = D - 10 \lg (A/S)$$

- avec D isolement acoustique brut entre les locaux testés,
- A aire d’absorption équivalente du local de réception,
- S surface de la paroi de séparation commune aux deux locaux.

2.1.5 Relations entre les différents isolements et indices d’affaiblissement

Dans une configuration donnée *in situ*, les valeurs des niveaux de pression acoustique L_1 et L_2 sont celles constatées sur place, qu’il s’agisse de les utiliser pour calculer un isolement acoustique brut, normalisé ou standardisé ou de calculer un indice d’affaiblissement acoustique apparent. De même, la durée de réverbération T , l’aire d’absorption équivalente A et le volume V du local de réception sont toujours reliés par la formule de Sabine : $AT = 0,16 V$.

On en déduit les relations suivantes, données dans le tableau 3.

Tableau 3 – Relations entre les différents isolements et indices d'affaiblissement acoustiques

Entre l'isolement brut D et l'isolement normalisé D_n	$D_n = D - 10 \lg (A/10)$
Entre l'isolement brut D et l'isolement standardisé D_{nT}	$D_{nT} = D + 10 \lg (T/0,5)$
Entre l'isolement normalisé D_n et l'isolement standardisé D_{nT}	$D_{nT} = D_n + 10 \lg (0,032 V)$ ou $D_{nT} = D_n + 10 \lg (V/31)$
Entre l'indice d'affaiblissement apparent R' et l'isolement normalisé D_n	$D_n = R' - 10 \lg (S/10)$
Entre l'indice d'affaiblissement apparent R' et l'isolement standardisé D_{nT}	$D_{nT} = R' + 10 \lg (0,32 V/S)$

Il est également possible de relier l'indice d'affaiblissement acoustique apparent R' d'une paroi, mesuré *in situ* en présence de transmissions par les parois latérales, et l'indice d'affaiblissement acoustique R de la paroi de séparation, mesuré en laboratoire, sans transmission latérale :

$$R' = R - TI \text{ (dB)}$$

avec TI perte d'isolation due au fait qu'il y a des transmissions latérales.

On en déduit la formule de base d'une méthode de prévision simplifiée qui est encore très souvent utilisée :

$$D_{nT} = R + 10 \lg (0,32 V/S) - TI$$

Les deux premiers termes correspondent au calcul relativement fiable de l'isolement standardisé direct assuré par la paroi de séparation. Quant au terme TI , perte d'isolement dû au fait qu'il y a des transmissions latérales, il a souvent été évalué en se basant sur des études statistiques sur un très grand nombre de bâtiments dont on connaissait les plans, les descriptifs des prestations mises en œuvre et les résultats de mesures.

Attention ! on ne peut utiliser cette méthode simplifiée que dans des opérations comparables à celles qui ont permis d'évaluer la perte TI (constructions en maçonnerie dans lesquelles les parois de séparation sont lourdes et non doublées par des complexes isolants + parements légers). De graves erreurs sont commises lorsqu'on l'applique à des cas différents.

Actuellement, il est possible de calculer et de combiner les isolements acoustiques correspondant aux treize voies de transmission (une directe et douze latérales) du local d'émission vers le local de réception. Pour cela, on utilise la norme NF EN 12354 – partie 1 : prévision des performances des bâtiments à partir de la performance des éléments de construction – isolements acoustiques entre deux locaux. Pour éviter des calculs relativement complexes, on peut utiliser des logiciels basés sur la norme, après avoir amélioré ses annexes informatives.

2.1.6 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1^{er} janvier 2000

Comme nous l'avons déjà évoqué au § 1.4, les méthodes françaises et celles des autres pays visant à traduire les performances des constructions et des éléments de construction sous la forme de valeurs uniques étaient différentes avant le 1^{er} janvier 2000. Depuis cette date tous les pays doivent utiliser les mêmes valeurs uniques, calculées de la même façon à partir des mêmes courbes obtenues en utilisant les mêmes méthodes de mesures.

■ Avant janvier 2000

Pour le calcul des isolements entre locaux ou des indices d'affaiblissements acoustiques, le principe de la **méthode française** consistait à considérer un niveau de pression acoustique en dB(A) à l'émission et à lui retrancher le niveau normalisé exprimé en dB(A) à la réception. Cette méthode n'est pas exempte de pièges. En effet, un isolement exprimé en dB(A) dépend du spectre du bruit à l'émission. Nous le constaterons dans ce qui suit.

Dans les **autres pays européens**, la détermination de la valeur unique pour un isolement ou un indice d'affaiblissement acoustique se fait par comparaison de la courbe réelle de l'isolement en fonction de la fréquence avec une courbe de référence. On obtient ainsi un isolement ou un indice d'affaiblissement acoustique pondéré, caractérisé par la lettre « w » mise en indice du symbole.

■ Depuis janvier 2000

Dans le cadre de l'harmonisation européenne, c'est la **méthode de la courbe de référence** qui a été retenue. Ainsi, quelles que soient les habitudes antérieures, tous les pays doivent l'utiliser. Par bonheur, les normes européennes ont mis en place des termes d'adaptation qui permettent de faire le pont entre les deux méthodes. Néanmoins, en France, nous devons nous habituer à une nouvelle terminologie et à de nouveaux symboles.

Il faut également s'adapter à de nouveaux calculs : en effet, les analyses par intervalles de fréquences faites en France jusqu'au 1^{er} janvier 2000 et les analyses européennes ne prennent pas en compte la même plage de fréquences. En France, on faisait les mesures par tiers d'octave depuis le tiers centré sur 100 Hz jusqu'au tiers centré sur 5 000 Hz, ce qui correspondait aux six intervalles d'octave depuis 125 Hz jusqu'à 4 000 Hz. En Europe, depuis le 1^{er} janvier 2000, il faut faire les analyses entre 100 et 3 150 Hz en tiers d'octave et entre 125 et 2 000 Hz, en octaves. Cela a des conséquences sur les valeurs globales uniques.

2.1.6.1 Calcul d'un isolement acoustique en dB(A) pour un bruit rose et pour un bruit de trafic routier à l'émission. Rappel de la méthode utilisée en France jusqu'en 2000

■ Calcul d'un isolement acoustique D_{nT} par intervalles d'octave

Pour le calcul de l'isolement en dB(A), il faut disposer de la courbe de l'isolement en fonction de la fréquence.

Le tableau 4 donne un exemple de détermination d'un isolement standardisé D_{nT} par intervalles d'octave, à partir des spectres mesurés des niveaux de pression acoustique L_1 et L_2 dans les locaux émission et réception et de la durée de réverbération T du local de réception.

Dans chaque intervalle d'octave :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg (T/0,5)$$

Les valeurs sont reportées sur la figure 4.

■ Détermination de l'isolement en dB(A) $D_{nAT(rose)}$, pour un bruit rose à l'émission

Les isolements dans chaque intervalle de fréquence sont indépendants du niveau émis. Si l'isolement est de 45 dB, le niveau à la réception sera de 35 dB pour un niveau émission de 80 dB, il sera de 15 dB pour un niveau émis de 60 dB et il sera de -45 dB pour un niveau émis de 0 dB.

La valeur en dB(A) d'un bruit rose de 80 dB dans chaque intervalle d'octave calculé entre l'octave centrée sur 125 Hz et l'octave centrée sur 4 000 Hz est de 86 dB(A). Il y a un **écart de 6 dB** entre la valeur en dB(A) et le niveau dans chaque intervalle d'octave. Ainsi, un bruit rose de -6 dB dans les intervalles d'octave de 125 à 4 000 Hz correspond à un niveau global de 0 dB(A). C'est ce bruit rose que nous prendrons dans le calcul.

En reprenant l'exemple précédent, il en résulte le tableau 5.

Tableau 4 – Exemple d’isolement acoustique standardisé par intervalles d’octave						
VALEURS MESURÉES						
Intervalles d’octave (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Niveau de pression acoustique à l’émission L_1 (dB)	95,2	93,1	97,6	100,3	99,8	98
Niveau de pression acoustique à la réception L_2 (dB)	64,3	56,5	56,1	57,5	53,4	47,2
Durée de réverbération T(s)	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4
VALEURS CALCULÉES						
Intervalles d’octave (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Isolement brut ($L_1 - L_2$)	30,9	36,6	41,5	42,8	46,4	50,8
$10 \lg (T/0,5)$	0,8	1,5	0,0	0,0	- 1,0	- 1,0
Isolement acoustique standardisé D_{nT} (dB)	31,7	38,1	41,5	42,8	45,4	49,8

Tableau 5 – Calcul du $D_{nAT(rose)}$ en dB(A) correspondant à l’isolement de l’exemple précédent (tableau 4)						
Intervalles d’octave (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Bruit rose correspondant à 0 dB(A) L_{i1}	- 6	- 6	- 6	- 6	- 6	- 6
Pondération A	- 16	- 9	- 3	0	+ 1	+ 1
Isolement acoustique standardisé D_{nT}	31,7	38,1	41,5	42,8	45,4	49,8
Niveau à la réception pondéré A, pour un bruit rose de 0 dB(A) à l’émission $L_{i2} = - 6 + A - D_{nT}$	- 53,7	- 53,1	- 50,5	- 48,8	- 50,4	- 54,8
$D_{nAT(rose)} = - 10 \lg (\Sigma 10^{L_{i2}/10}) = 43,6$, arrondi à 44 dB(A)						

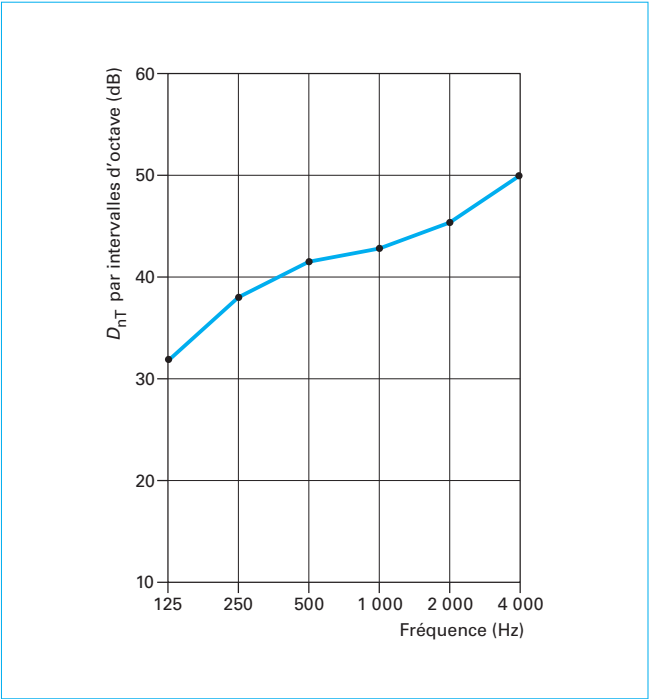


Figure 4 – Courbe de l’isolement D_{nT} calculé dans le tableau 4

■ Détermination de l’isolement en dB(A) $D_{nAT(route)}$, pour un bruit routier à l’émission

On applique la même démarche que dans le cas précédent, à savoir l’utilisation comme spectre du bruit émission celui qui correspond au bruit routier de 0 dB(A) calculé entre 125 et 4 000 Hz.

Le calcul est présenté dans le tableau 6, toujours avec le même isolement que précédemment.

On constate bien que l’isolement acoustique en dB(A) dépend du spectre du bruit à l’émission.

2.1.6.2 Calcul d’un isolement acoustique standardisé pondéré par comparaison avec un isolement de référence.
Méthode à utiliser depuis le 1^{er} janvier 2000.

■ La courbe de référence et son utilisation

On devrait écrire « les » courbes de référence. En effet, il y en a une à utiliser lorsque les mesures ont été faites par intervalles de tiers d’octave (le plus souvent pour les mesures en laboratoire) et il y en a une autre, déduite de la précédente pour les mesures effectuées par intervalles d’octave.

Les valeurs de ces courbes sont précisées dans la norme NF EN ISO 717-1 : évaluation de l’isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – partie 1 : Isolements aux bruits aériens.

Le tableau 7 et le graphique de la figure 5 donnent les valeurs de référence pour les isolements aux bruits aériens. Sur la courbe de la figure 5, les points blancs correspondent aux valeurs par tiers d’octave et les points noirs aux valeurs par intervalles d’octave.

Il y a 16 intervalles de tiers d’octave et 5 intervalles d’octave.

Tableau 6 – Calcul du $D_{nAT(route)}$ en dB(A) correspondant à l'isolement de l'exemple précédent (tableau 4)

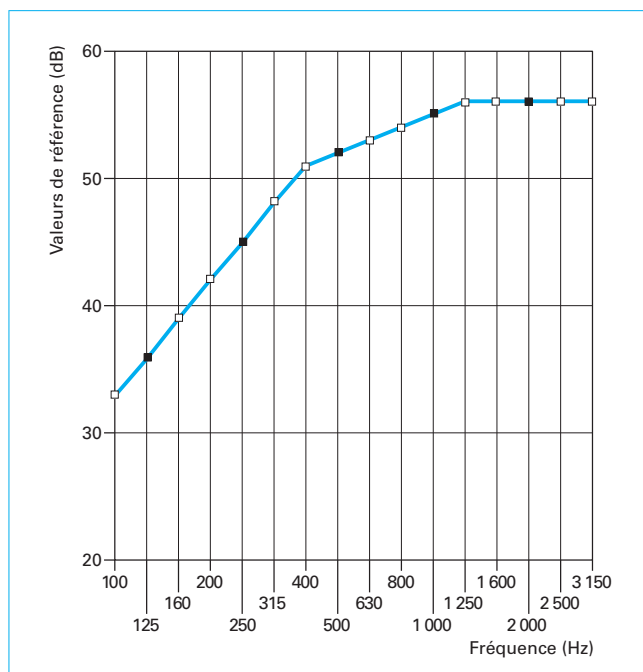
Intervalles d'octave (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Bruit route correspondant à 0 dB(A) L_{i1}	1	0	-4	-5	-7	-13
Pondération A	-16	-9	-3	0	+1	+1
Isolement acoustique standardisé D_{nT}	31,7	38,1	41,5	42,8	45,4	49,8
Niveau à la réception pondéré A, pour un bruit rose de 0 dB(A) à l'émission $L_{i2} = L_{i1} + A - D_{nT}$	-46,7	-47,1	-48,5	-47,8	-51,4	-61,8
$D_{nAT(route)} = -10 \lg (\Sigma 10^{L_{i2}/10}) = 41 \text{ dB(A)}$						

Tableau 7 – Valeurs de référence pour l'isolement aux bruits aériens

Fréquence (Hz)	Valeurs de référence (dB)	
	1/3 d'octave	octave
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
63	53	
800	54	
1 000	55	55
1 250	56	
1 600	56	
2 000	56	56
2 500	56	
3 150	56	

Remarque : le tiers d'octave centré sur 3 150 Hz fait partie de l'intervalle d'octave centré sur 4 000 Hz. Pour compléter cet intervalle d'octave, il aurait fallu poursuivre les mesures jusqu'au tiers d'octave centré sur 5 000 Hz, ce qu'on faisait en France avant le 1^{er} janvier 2000.

Pour obtenir les valeurs uniques des isolements acoustiques pondérés, il faut déplacer la courbe de référence par bonds de 1 dB vers le haut ou vers le bas jusqu'à ce que la somme des écarts positifs obtenus en faisant la différence « référence déplacée – isolement » dans chaque intervalle de fréquence soit le plus proche possible de 32, tout en étant inférieure à 32 si la courbe étudiée est par intervalles de tiers d'octave. La somme des écarts positifs doit être le plus proche possible de 10, tout en étant inférieure à 10 si la courbe est en octaves. On a droit à une moyenne de 2 dB dans les 16 intervalles de tiers d'octave et de 2 dB dans les 5 intervalles d'octave. Lorsque la courbe de référence déplacée correspond à ces critères, on considère la valeur qu'elle a atteint à 500 Hz et on déclare que le D_{nW} , le D_{nTw} , le R_w ou le R'_w , suivant la grandeur étudiée, est égal à cette valeur à 500 Hz.

**Figure 5 – Courbe de référence utilisée pour le calcul des isolements acoustiques pondérés (valeurs du tableau 7)**

■ Détermination d'un isolement acoustique pondéré standardisé D_{nTw}

Dans cet exemple, nous reprenons les valeurs des isolements standardisés calculées au tableau 4.

Dans le tableau 8, la valeur de x de la deuxième colonne est la valeur de la translation de la courbe de référence.

L'isolement acoustique standardisé pondéré D_{nTw} est donc de 44 dB, valeur dans l'intervalle d'octave centré sur 500 Hz de la courbe de référence déplacée (voir figure 6).

2.1.6.3 Termes d'adaptation permettant de relier les deux méthodes

■ La norme NF EN ISO 717-1 donne des spectres sonores qui permettent de calculer les termes d'adaptation. La méthode est la même que celle utilisée ci-dessus pour calculer les isolements en dB(A) pour un bruit rose ou un bruit routier à l'émission, mais sans tenir compte de l'octave 4 000 Hz. Les spectres sonores utilisés correspondent à des valeurs pondérées A de façon que leur somme logarithmique soit égale à 0 dB (on devrait dire 0 dB(A)).

Tableau 8 – Détermination en dB du D_{nTw} correspondant à l'isolement du tableau 4

	x	Intervalles d'octave (Hz)					Somme des écarts positifs
		125	250	500	1 000	2 000	
Courbe de référence	0	36	45	52	55	56	
Isolement mesuré D_{nT}		31,7	38,1	41,5	42,8	45,4	
Écarts positifs référence – D_{nT}		4,3	6,9	10,5	12,2	10,6	44,5 (1)
Courbe de référence déplacée de x	- 7	29	38	45	48	49	
Écarts positifs référence + x – D_{nT}				3,5	5,2	3,6	12,3 (2)
Courbe de référence déplacée de x	- 8	28	37	44	47	48	
Écarts positifs référence + x – D_{nT}				2,5	4,2	2,6	9,3 (3)
$D_{nTw} = 44$ dB							

(1) La somme des écarts positif est très supérieure à 10, il faut donc déplacer la courbe de référence vers le bas.
(2) La somme des écarts positifs est encore supérieure à 10, après décalage de la courbe de référence de - 7 dB. Un décalage supplémentaire de - 1 dB sera suffisant.
(3) Il s'agit là de la somme des écarts positifs inférieure à 10 dB, la plus proche de 10 dB.

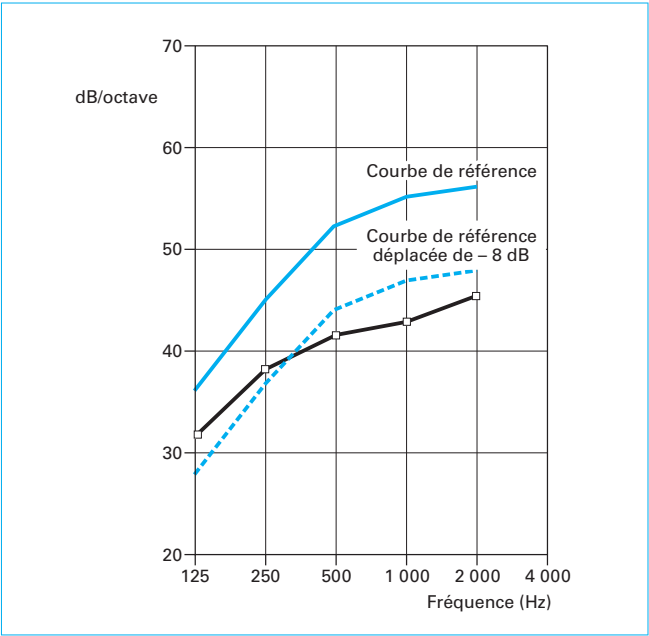


Figure 6 – Détermination d'un D_{nTw} par translation verticale de la courbe de référence

● **Spectre sonore n° 1** pour le calcul du terme d'adaptation C : il s'agit du spectre pondéré A utilisé pour un **bruit rose** à l'émission de - 5 dB dans chaque intervalle d'octave (tableau 9). Notons que dans le calcul similaire fait précédemment en utilisant l'intervalle d'octave centré sur 4 000 Hz, le bruit rose de 0 dB(A) était de - 6 dB par octave. Il y a un écart de 1 dB suivant qu'on calcule jusqu'à l'octave 2 000 Hz ou jusqu'à l'octave 4 000 Hz.

● **Spectre sonore n° 2** pour le calcul du terme d'adaptation C_{tr} : cas d'un **bruit de trafic routier** à l'émission : il s'agit du spectre du bruit de trafic, qui, calculé en dB(A) donne un résultat de 0 dB(A) (tableau 10). Ce spectre de bruit de trafic est légèrement différent de celui qui était utilisé en France avant le 1^{er} janvier 2000 (voir la figure 7). Sur les courbes de la figure 7, les points blancs correspondant au spectre utilisé en France avant le 1^{er} janvier 2000 et les

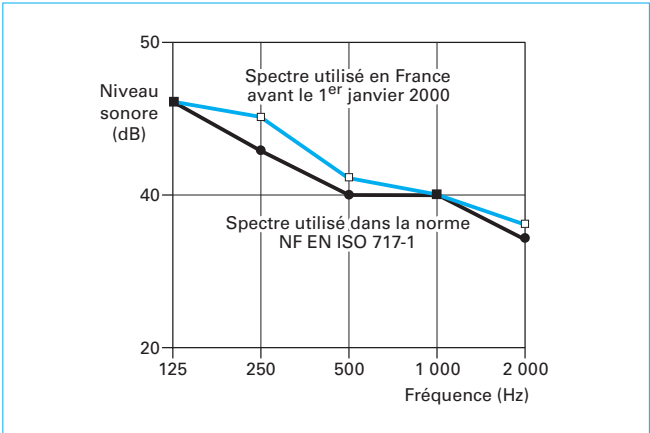


Figure 7 – Spectres de bruits de trafic routier

points noirs correspondent au spectre utilisé dans la norme NF EN ISO 717-1.

Calcul du spectre sonore n° 2 : la première étape consiste à calculer la valeur du décalage (tableau 11). Lors de la deuxième étape, pour obtenir un niveau de 0 dB(A), il faut donc partir d'un bruit de trafic correspondant au spectre du tableau 11, décalé de - 4 dB dans chaque intervalle d'octave. Si on ajoute la pondération A au spectre ainsi obtenu, on obtient les valeurs du spectre sonore de la norme (tableau 12).

En retranchant les valeurs des isolements acoustiques standardisés, dans chaque intervalle d'octave, aux valeurs des spectres donnés dans la norme, on obtient le spectre du bruit à la réception pondéré par le filtre A pour un bruit émission de 0 dB(A). La somme logarithmique des niveaux obtenus donne le niveau réception en dB(A) pour 0 dB(A) à l'émission, ce qui correspond à - D_{nTA} ou à - $D_{nTA,tr}$, suivant que le spectre utilisé à l'émission est rose ou celui d'un bruit de trafic conventionnel.

Par définition les termes d'adaptation sont obtenus par les relations suivantes :

$$C = D_{nTA} - D_{nTw} \text{ et } C_{tr} = D_{nTA,tr} - D_{nTw}$$

En conséquence, les valeurs des isolements acoustiques standardisés D_{nTA} et $D_{nTA,tr}$ utilisées dans la réglementation française,

correspondent aux isolements calculés en dB(A), bien qu'exprimés en dB, en tenant compte des intervalles d'octave centrés sur 125, 250, 500, 1 000 et 2 000 Hz, respectivement pour un bruit rose ou pour un bruit de trafic routier à l'émission.

Nota : les symboles sont normalisés et ont été modifiés après janvier 2000 (par exemple $D_{nAT(route)}$ est devenu $D_{nTA,tr}$). Voir encadré placé avant § 2.1.7.

Le calcul du terme d'adaptation C pour le spectre d'isolement de l'exemple précédent est présenté dans le tableau 13.

Le calcul du terme d'adaptation C_{tr} pour le spectre d'isolement de l'exemple précédent est présenté dans le tableau 14.

Le résultat complet sera donné sous la forme :

$$D_{nTw}(C; C_{tr}) = 44 (-1; -3) \text{ dB.}$$

Le tableau 15 donne la liste de toutes les valeurs uniques correspondant à l'exemple de spectre d'isolement standardisé utilisé ci-dessus. La configuration mesurée est celle de deux locaux adjacents, le volume V du local de réception étant de 50 m³ et la surface de la paroi de séparation de 12,5 m². Pour les correspondances entre les critères, voir le tableau 3.

Dans ce qui précède, nous avons pris l'exemple d'un isolement acoustique standardisé, mesuré par intervalles d'octave.

■ Les mêmes règles sont à appliquer pour l'expression des indices d'affaiblissement acoustique qui, eux, sont mesurés en laboratoire par intervalles de tiers d'octave : le R_{rose} ou R_{route} en dB(A) utilisé en France sont supprimés et remplacés par le $R_w(C; C_{tr})$ en décibels, avec les relations suivantes :

$$R_A = R_w + C \text{ (dB)}$$

(cela correspond à notre ancien R_{rose} en dB(A) sans les tiers d'octave centrés sur 4 000 et 5 000 Hz).

$$R_{A,tr} = R_w + C_{tr} \text{ (dB)}$$

(correspond à notre ancien R_{route} en dB(A) sans les tiers d'octave centrés sur 4 000 et 5 000 Hz).

Le tableau 16 donne les valeurs des spectres n° 1 et n° 2 à utiliser pour déterminer les termes d'adaptation C (bruit rose) et C_{tr} (bruit de trafic) à associer à l'indice d'affaiblissement acoustique R_w , calculé d'après sa mesure par intervalles de tiers d'octave.

Ce qui a changé le 1^{er} janvier 2000 en France

Le vocabulaire : l'isolement acoustique calculé pour une durée de réverbération de référence était appelé « isolement acoustique normalisé », il est devenu « isolement acoustique standardisé »

L'intervalle de fréquences utilisé dans les calculs : avant, on utilisait les tiers d'octave depuis celui centré sur 100 Hz jusqu'à celui centré sur 5 000 Hz et les octaves depuis 125 Hz jusqu'à 4 000 Hz. Maintenant les tiers d'octave vont de 100 Hz à 3 150 Hz et les octaves de 125 Hz à 2 000 Hz

L'expression des résultats : avant l'isolement normalisé calculé en dB(A) pour un bruit rose à l'émission avait pour symbole D_{nAT} . Actuellement, le symbole utilisé pour l'isolement acoustique standardisé calculé en dB(A) est D_{nTA} .

Les unités affectées aux résultats : avant, l'isolement D_{nAT} était exprimé en dB(A) alors que le D_{nTA} d'aujourd'hui est exprimé en dB, bien que calculé en dB(A)

Généralement, on constate les relations suivantes :

$$D_{nTA} = D_{nAT} - 1 \text{ et } D_{nTA,tr} = D_{nAT(route)}$$

Tableau 9 – Spectre sonore n° 1

Fréquences médianes d'octave..... (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Niveau sonore (dB)	- 21	- 14	- 8	- 5	- 4

Tableau 10 – Spectre sonore n° 2

Fréquences médianes d'octave..... (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Niveau sonore (dB)	- 14	- 10	- 7	- 4	- 6

Tableau 11 – Calcul du décalage du spectre de trafic permettant d'obtenir 0 dB(A)

Fréquences médianes d'octave..... (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Bruit de trafic : niveaux sonores (dB)	6	3	0	0	- 3
Pondération du filtre A	- 16	- 9	- 3	0	+ 1
Niveau sonore pondéré L_i	- 10	- 6	- 3	0	- 2
Somme logarithmique de ces niveaux	$L = 10 \lg (\Sigma 10^{L_i/10}) = 3,95$ arrondi à 4 dB(A)				

Tableau 12 – Vérification du spectre n° 2

Fréquences médianes d'octave (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Bruit de trafic initial	6	3	0	0	- 3
Bruit de trafic décalé de 4 dB vers le bas	2	- 1	- 4	- 4	- 7
Pondération du filtre A	- 16	- 9	- 3	0	+ 1
Spectre décalé pondéré A	- 14	- 10	- 7	- 4	- 6

Tableau 13 – Exemple de calcul d'un terme d'adaptation C

Fréquences médianes d'octaves (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Isolement standardisé D_{nT}	31,7	38,1	41,5	42,8	45,4
Spectre sonore n° 1 de la norme	- 21	- 14	- 8	- 5	- 4
Spectre n° 1 - D_{nT}	- 52,7	- 52,1	- 49,5	- 47,8	- 49,4
$D_{nTA} = - 10 \lg (\Sigma 10^{L_i/10}) = 42,9$ arrondi à 43 dB					
d'où	$C = D_{nTA} - D_{nTw} = 43 - 44 = - 1$ dB				

Tableau 14 – Exemple de calcul d'un terme d'adaptation C_{tr}

Fréquences médianes d'octaves (Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Isolement standardisé D_{nT}	31,7	38,1	41,5	42,8	45,4
Spectre sonore n° 2 de la norme	- 14	- 10	- 7	- 4	- 6
Spectre n° 2 - D_{nT}	- 45,7	- 48,1	- 48,5	- 46,8	- 51,4
$D_{nTA,tr} = - 10 \lg (\Sigma 10^{L_i/10}) = 40,7$ arrondi à 41 dB					
d'où	$C_{tr} = D_{nTA,tr} - D_{nTw} = 41 - 44 = - 3$ dB				

Tableau 15 – Récapitulation des résultats de l'exemple développé dans les tableaux 13 et 14

Type d'isolement	Symbole	Valeur unique	Résultat (dB)
Isolement acoustique standardisé	D_{nT}	$D_{nTw} (C ; C_{tr})$	44 (- 1 ; - 3)
		$D_{nTA} = D_{nTw} + C$	43
		$D_{nTA,tr} = D_{nTw} + C_{tr}$	41
Isolement acoustique normalisé	$D_n = D_{nT} - 10 \lg (0,032 V)$	$D_{nw} (C ; C_{tr})$	42 (- 1 ; - 3)
		$D_{nA} = D_{nw} + C$	41
		$D_{nA,tr} = D_{nw} + C_{tr}$	39
Indice d'affaiblissement acoustique apparent	$R' = D_{nT} - 10 \lg (0,32 V/S)$	$R'_w (C ; C_{tr})$	43 (- 1 ; - 3)
		$R'_A = R'_w + C$	42
		$R'_{A,tr} = R'_w + C_{tr}$	40

Tableau 16 – Spectres n° 1 et n° 2 en tiers d'octave

Fréquence (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150
Spectre n° 1 (dB)	- 29	- 26	- 23	- 21	- 19	- 17	- 15	- 13	- 12	- 11	- 10	- 9	- 9	- 9	- 9	- 9
Spectre n° 2 (dB)	- 20	- 20	- 18	- 16	- 15	- 14	- 13	- 12	- 11	- 9	- 8	- 9	- 10	- 11	- 13	- 15

2.1.7 Principales valeurs d'isollements acoustiques standardisés D_{nTA} exigées dans les règlements (habitation et tertiaire)

Si l'on considère l'ensemble des arrêtés relatifs à la limitation du bruit dans les divers bâtiments, les isollements acoustiques standardisés exigés s'échelonnent entre 25 et 60 dB (voire 82 dB dans le cas de mitoyenneté entre une salle dans laquelle est produite de

la musique amplifiée et des logements ou chambre d'hôtel). Les isollements compris entre 25 et 40 dB correspondent tous à des cas où il y a une porte dans la paroi de séparation entre les locaux à isoler. L'isollement de 25 dB est réservé aux écoles maternelles, lorsque les portes de communication sont équipées de dispositifs « anti-pince-doigts » ce qui ne permet pas d'obtenir une étanchéité suffisante entre la porte et son huisserie. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 17.

Tableau 17 – Quelques exemples d'isollements standardisés exigés par les règlements (1)

Bâtiment	Local émission	Local réception	D_{nTA} (dB)
Habitation	Logement	Pièce principale du logement voisin	≥ 53
Hôtel	Chambre	Chambre voisine	≥ 50
Enseignement	Salle de classe	Salle de classe	≥ 43
Santé	Chambre	Chambre	≥ 42

(1) Voir également le tableau A en [Doc. C 3 365] récapitulatif des isollements acoustiques standardisés et réglementaires.

2.2 Isollements acoustiques vis-à-vis des bruits extérieurs (isolations de façades)

Les arrêtés fixant les caractéristiques acoustiques des bâtiments du secteur de l'habitation ou du secteur tertiaire ne considèrent que les bruits extérieurs dus à la circulation routière ou ferroviaire ou dus aux avions.

Pour les bruits en provenance d'établissements bruyants (ateliers, discothèques, salles polyvalentes, salles de sports...) ou dus à des activités extérieures bruyantes (sports mécaniques, musique en plein air...), c'est aux responsables des établissements ou des activités qu'il incombe de veiller à la protection des bâtiments du voisinage. Pour cela, ou bien ils disposent de textes spécifiques (cas des établissements classés pour la protection de l'environnement), ou bien ils ont à appliquer le décret du 18 avril 1995 (en cours de révision) relatif à la lutte contre les bruits de voisinage. C'est également ce dernier texte qui est à appliquer par les maîtres d'ouvrage de bâtiments, notamment pour protéger l'environnement vis-à-vis des bruits en provenance des équipements de leur bâtiment.

2.2.1 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1^{er} janvier 2000

Comme pour les bruits aériens intérieurs à l'immeuble, le vocabulaire, le mode de calcul des valeurs uniques, les plages de fréquences considérées, l'expression des résultats à utiliser sont différents des pratiques françaises en vigueur avant le premier janvier 2000.

- L'isollement acoustique normalisé $D_{nAT(route)}$ calculé en dB(A) pour un bruit de type routier à l'émission défini dans les intervalles d'octave centrés sur 125, 250, 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz est remplacé par l'isollement acoustique standardisé $D_{nTA,tr}$ calculé en dB(A), mais exprimé en dB, pour un bruit de trafic défini dans les intervalles d'octave de 125 Hz à 2 000 Hz.

- Le spectre type du bruit routier a également été légèrement modifié (voir la figure 7).

- Quant aux caractéristiques des éléments de façades, mesurées en laboratoire, elles sont de deux types : indices d'affaiblissement acoustique pour les parois et les fenêtres et isollements acoustiques normalisés pour les petits éléments tels que les grilles d'entrée d'air ou les coffres de volets roulants.

- Les indices d'affaiblissement acoustique sont donnés sous la forme R_w (C ; C_{tr}) et dans le cas d'un bruit d'émission de type trafic routier, on utilise l'indice d'affaiblissement acoustique $R_{A,tr}$, égal à $R_w + C_{tr}$.

- Les isollements acoustiques normalisés des petits éléments sont donnés sous la forme D_{new} (C ; C_{tr}). Pour un bruit de trafic, on utilise l'isollement $D_{neA,tr} = D_{new} + C_{tr}$.

Mais **attention** ! Les **laboratoires** donnent des valeurs d'isollements **normalisés** (calculés pour une aire d'absorption équivalente de référence de 10 m²), alors que les **règlements** donnent des valeurs **minimales** d'isollements acoustiques **standardisés** à respecter. Il ne faut pas oublier le transfert d'un type d'isollement à l'autre (voir le tableau 3) :

$$D_{neTA,tr} = D_{neA,tr} + 10 \lg (0,032 V)$$

avec V (m³) volume du local de réception.

2.2.2 Valeurs d'isollements acoustiques standardisés exigées dans les règlements

■ Bruits dus aux infrastructures de transports terrestres

Tous les arrêtés, celui du 30 juin 1999 applicable aux bâtiments d'habitation, ou ceux du 25 avril 2003, applicables aux établissements d'enseignement, aux établissements de santé ou aux hôtels, imposent un isollement standardisé $D_{nTA,tr}$ minimal de **30 dB** vis-à-vis des bruits de trafic.

Les bâtiments à usage d'habitation sont également soumis aux dispositions de l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures terrestres et à l'isollement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit. Ce texte précise notamment les isollements acoustiques minimaux à satisfaire en fonction de la catégorie de voie routière à moins de 300 m de la façade de l'immeuble et en fonction de la distance de cette façade à cette voie. Les isollements de façades vont de 30 dB (minimum réglementaire) à 45 dB. Les voies sont classées en cinq catégories suivant le trafic routier ou ferroviaire qu'elles supportent.

L'arrêté du 30 mai 1996 n'a pas encore été transcrit en « langage européen » et les isollements acoustiques qu'il impose sont encore nommés isollements normalisés et notés $D_{nAT(route)}$ exprimés en dB(A). Comme il n'y a généralement pas d'écart entre la valeur du $D_{nTA,tr}$ et la valeur du $D_{nAT(route)}$, il faut en déduire que les valeurs des isollements standardisés $D_{nTA,tr}$ exigés par le texte sont celles des tableaux de l'arrêté.

Les trois arrêtés du 25 avril 2003 relatifs aux bâtiments autres que d'habitation renvoient à l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux logements. Ainsi tous les types de bâtiments réglementés actuellement sont soumis aux mêmes règles lorsqu'il s'agit des isolations de façades vis-à-vis des bruits extérieurs de circulation terrestre.

■ Bruits dus aux avions

Dans ce cas, les isollements acoustiques exigés sont des D_{nTA} , c'est-à-dire des isollements acoustiques calculés en dB(A) pour un bruit rose à l'émission.

Pour les immeubles d'habitation, c'est encore l'arrêté du 6 octobre 1978, relatif à l'isollement acoustique vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur, qui s'applique. Il précise notamment que l'isolation des façades des pièces principales et des cuisines doit être au moins égale à 35 dB(A) en zone C, définie par le plan d'exposition au bruit des aéroports. Si on traduit cette exigence en « valeur actuelle », l'isollement acoustique standardisé D_{nTA} doit être au moins égal à **34 dB**.

Pour les bâtiments autres que d'habitation, les trois arrêtés du 25 avril 2003 imposent les mêmes exigences : l'isollement acoustique pondéré D_{nTA} des locaux de réception visés dans l'article relatif aux isollements acoustiques entre locaux doit être supérieur ou égal à :

En zone A : 47 dB

En zone B : 40 dB

En zone C : 35 dB

3. Niveaux de bruits de choc

Pour traiter les problèmes d'isolation acoustique vis-à-vis du bruit de choc, on utilise une machine à chocs normalisée que l'on place sur le sol dans un immeuble et on mesure le niveau de pression acoustique perçu dans le local de réception.

La machine à chocs comprend cinq marteaux de 500 g chacun, tombant sur le sol l'un après l'autre de 4 cm de hauteur, à raison de 10 coups par seconde. Elle n'est pas tout à fait représentative des impacts réels produits par la marche d'un individu, un déplacement de chaise ou une chute d'objet, mais elle a l'avantage de permettre des essais reproductibles. Rappelons que la reproductibilité est indispensable dès lors qu'il faut prévoir les dispositions à prendre afin d'atteindre un objectif fixé par un règlement ou une exigence contractuelle. Toutefois, on a pu constater que la hiérarchie des solutions testées à la machine à chocs est généralement proche de celle constatée pour les impacts réellement produits par les occupants des locaux.

Les textes réglementaires relatifs aux caractéristiques acoustiques des bâtiments (habitation ou tertiaire) limitent les niveaux de pression acoustique obtenus dans les locaux de réception, lorsque la machine à chocs fonctionne sur le sol de l'immeuble à n'importe quel endroit normalement accessible par les occupants, à l'extérieur du logement ou des locaux testés.

3.1 Les différentes voies de transmission du bruit de choc

Les impacts produits par la machine à chocs sur un plancher communiquent à la paroi une énergie très supérieure à celle qui correspondrait au choc d'une onde acoustique aérienne sur cette paroi. L'énergie de l'impact est propagée dans tout le plancher et dans les parois qui lui sont liées à une vitesse qui est celle du son dans les matériaux. Comme pour les bruits aériens, il y a une transmission directe par le plancher qui sépare deux locaux superposés et des transmissions latérales par les parois liées à ce plancher dans le local réception (figure 8).

Les chocs ne se transmettent pas seulement vers le local situé juste en dessous du local dans lequel ils sont produits (transmission **verticale**). Il faut également considérer la transmission vers les locaux voisins au même niveau (transmission **horizontale**) ou au niveau inférieur (transmission **diagonale**), voire au niveau supérieur (figure 9).

3.2 Les différents niveaux de bruits de choc

Comme pour les bruits aériens, le niveau de pression acoustique mesuré dans le local de réception dépend des caractéristiques de ce local. S'il contient peu de matériaux absorbants le niveau sonore est plus élevé que s'il en contient beaucoup.

C'est pourquoi à partir du niveau brut L mesuré dans le local de réception on calcule le niveau qu'on aurait mesuré si le local avait eu ou bien une aire d'absorption équivalente, ou bien une durée de réverbération de référence.

On distingue trois niveaux de bruits de choc différents : brut, normalisé, standardisé.

- Le **niveau de pression du bruit de choc brut** L est celui constaté dans le local de réception

- Le **niveau de pression du bruit de choc normalisé** L_n est calculé à partir du niveau de pression brut ; il s'agit du niveau qu'on aurait mesuré si le local de réception avait eu une aire d'absorption acoustique de référence, généralement prise égale à 10 m².

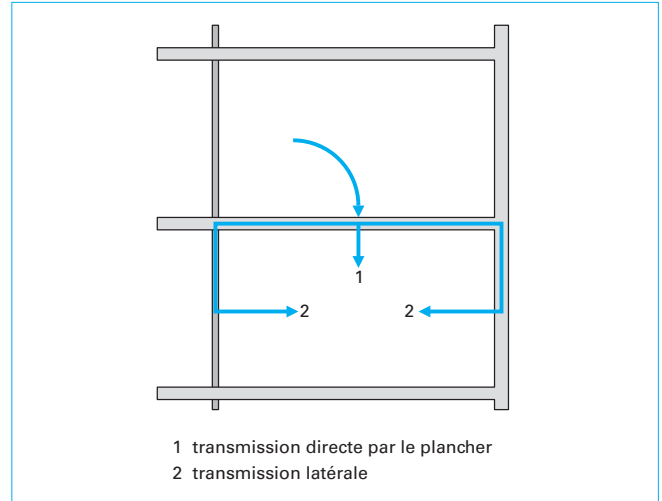


Figure 8 – Transmission du bruit de choc. Il n'y a qu'une seule voie de transmission latérale à la jonction du plancher et des murs, cloisons ou façade

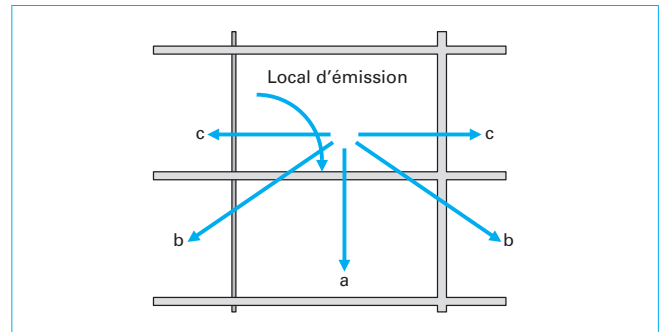


Figure 9 – Les bruits de choc sont mesurés non seulement en transmission verticale (a) dans le local situé sous le local d'émission, mais aussi en transmission diagonale (b) ou en transmission horizontale (c)

- En laboratoire, la dalle sur laquelle sont testées les solutions d'isolation au bruit de choc est désolidarisée des parois latérales (voir figure 10) et on détermine le niveau de pression du bruit de choc normalisé, qui correspond à la seule transmission directe par le plancher et son revêtement de sol. Les mesures se font dans les intervalles de tiers d'octave depuis celui centré sur 100 Hz jusqu'à celui centré sur 3 150 Hz :

$$L_n = L + 10 \lg (A/10) \text{ (dB)}$$

- In situ, il y a des transmissions latérales qui augmentent le niveau de pression. Pour différencier le cas où il y a des transmissions latérales du cas où il n'y en a pas, le niveau de pression du bruit de choc normalisé in situ est noté L'_n au lieu de L_n :

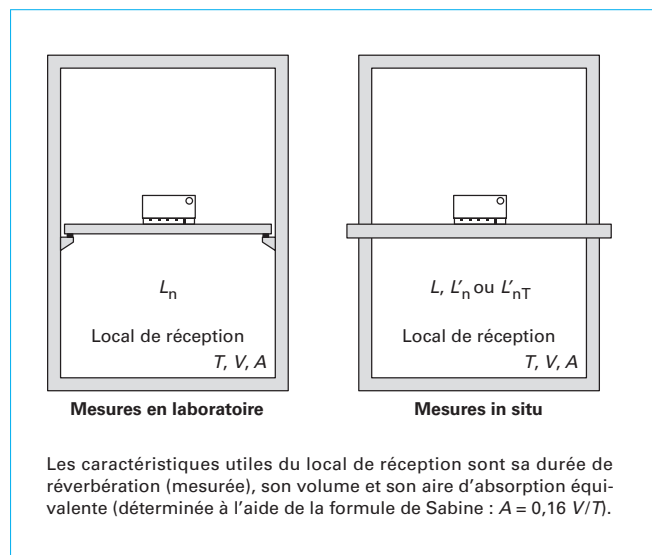
$$L'_n = L + 10 \lg (A/10) \text{ (dB)}$$

- On définit également, in situ, un **niveau de pression du bruit de choc standardisé** L'_{nT} : c'est le niveau de pression qu'on aurait mesuré si le local de réception avait eu une durée de réverbération de 0,5 s :

$$L'_{nT} = L - 10 \lg (T/0,5) \text{ (dB)}$$

Tableau 18 – Exemple de calcul de bruit de choc L_{nAT}

VALEURS MESURÉES						
Octaves (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Niveau brut mesuré L (dB)	66,8	67,4	64,8	58,4	46,6	29,8
Durée de réverbération T(s)	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4
VALEURS CALCULÉES						
Octaves (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
$10 \lg (T/0,5)$	0,8	1,5	0,0	0,0	- 1	- 1
$L_{inT} = L - 10 \lg (T/0,5)$	66,0	65,9	64,8	58,4	45,6	30,8
Pondération A (dB)	- 16	- 9	- 3	0	+ 1	+ 1
L_{inT} pondéré	50,0	56,9	61,8	58,4	46,6	31,8
$L_{nAT} = 10 \lg (\sum 10^{L_{inT}/10}) = 64,5$ arrondi à 64 dB (A)						

**Figure 10 – Niveaux de pression du bruit de choc mesurés en laboratoire et *in situ***

Le niveau de pression du bruit de choc brut est le même dans les deux formules d'où :

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \lg (0,032 V)$$

avec V (m³) volume du local de réception.

Cette relation est obtenue en utilisant la formule de Sabine : $AT = 0,16 V$.

En France on utilise le niveau de pression du bruit de choc standardisé. Il est mesuré *in situ* par intervalles d'octave.

Si la mesure du niveau de bruit de choc normalisé est faite en laboratoire sur un complexe plancher-revêtement de sol et si le même complexe est mesuré *in situ*, on a la relation :

$$L'_n = L_n + K$$

avec K augmentation de niveau dû aux transmissions latérales.

3.3 Les valeurs uniques. Ce qui a changé le 1^{er} janvier 2000

Comme dans le cas des bruits aériens, l'application des normes européennes pour l'expression et le calcul des objectifs ou des résultats de niveaux de pression de bruit de choc est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2000.

3.3.1 Caractérisation des bruits de choc utilisée en France avant le 1^{er} janvier 2000

Le niveau de pression du bruit de choc brut L était mesuré par intervalles de fréquences (tiers d'octave en laboratoire et octaves *in situ*).

- **En laboratoire**, le niveau de pression du bruit de choc normalisé L_n était calculé dans chaque intervalle de tiers d'octave depuis celui centré sur 100 Hz jusqu'à celui centré sur 5 000 Hz, pour déterminer le niveau qu'on aurait mesuré si l'aire d'absorption équivalente avait été de 10 m² à toutes les fréquences. La valeur unique utilisée était le niveau de pression en dB(A) correspondant au spectre obtenu.

- **In situ**, le niveau de pression du bruit de choc mesuré dans les intervalles d'octave depuis celui centré sur 125 Hz jusqu'à celui centré sur 4 000 Hz était corrigé pour déterminer le niveau qu'on aurait mesuré si la durée de réverbération du local de réception avait été de 0,5 s à toutes les fréquences. La valeur unique utilisée était le niveau en dB(A) correspondant au spectre de bruit corrigé. Cette valeur était notée L_{nAT} en dB(A) et était appelée « niveau de pression acoustique normalisé du bruit de choc ».

Un exemple de calcul d'un L_{nAT} est donné dans le tableau 18 et sur la figure 11.

3.3.2 Vocabulaire à utiliser depuis le 1^{er} janvier 2000

- Le niveau de pression de bruit de choc L_n calculé pour une aire d'absorption équivalente de référence (10 m² à toutes les fréquences) est appelé « niveau de pression du bruit de choc normalisé ».

- Le niveau de pression du bruit de choc L_{nT} calculé pour une durée de réverbération de référence (0,5 s à toutes les fréquences) est appelé « niveau de pression du bruit de choc standardisé ».

- Les mesures par intervalles de tiers d'octave se font depuis l'intervalle centré sur 100 Hz jusqu'à l'intervalle centré sur 3 150 Hz (suppression des mesures à 4 000 et 5 000 Hz).

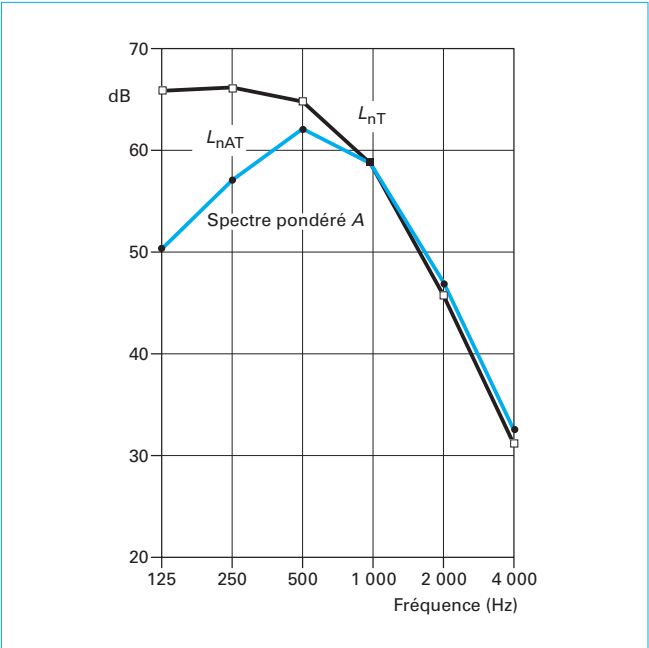


Figure 11 – Exemple de spectre du niveau de bruit de choc, à partir duquel le L_{nAT} est calculé en dB(A) (valeurs du tableau 18)

- Les mesures par intervalles d’octave se font depuis l’intervalle centré sur 125 Hz jusqu’à l’intervalle centré sur 2 000 Hz (suppression des mesures à 4 000 Hz).
- Les valeurs uniques sont obtenues par comparaison du spectre du niveau de pression du bruit de choc normalisé ou standardisé avec une courbe de référence.
- Les résultats de laboratoire sont exprimés sous la forme de niveaux de pression pondérés de bruit de choc normalisés L_{nw} en décibels.
- Les résultats des mesures *in situ* sont exprimés sous la forme de niveaux de pression pondérés de bruit de choc normalisé L'_{nw} ou standardisés L'_{nTw} en décibels.

3.3.3 Calcul d’un niveau de bruit de choc normalisé pondéré par comparaison avec un niveau de référence

3.3.3.1 Valeurs de référence pour le bruit de choc

Ces valeurs se trouvent dans la norme NF EN ISO 717-2 : Évaluation de l’isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – partie 2 : protection contre le bruit de choc. Elles sont données dans le tableau 19 et sur la figure 12. Sur la courbe de la figure 12, les points blancs correspondent aux valeurs par tiers d’octave et les points noirs aux valeurs par intervalles d’octave.

Il y a 16 intervalles de tiers d’octave et 5 intervalles d’octave.

Remarque : les valeurs de référence pour les bandes d’octave allant de 125 à 1 000 Hz sont équivalentes à la somme énergétique des valeurs correspondantes pour les bandes de tiers d’octave. La valeur pour la bande d’octave 2 000 Hz a été réduite pour tenir compte du tiers d’octave 3 150 Hz, non considéré dans les mesures en octave.

Tableau 19 – Valeurs de référence pour le bruit de choc		
Fréquence (Hz)	Valeurs de référence (dB)	
	1/3 d’octave	octave
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1 000	57	62
1 250	54	
1 600	51	
2 000	48	49
2 500	45	
3 150	42	

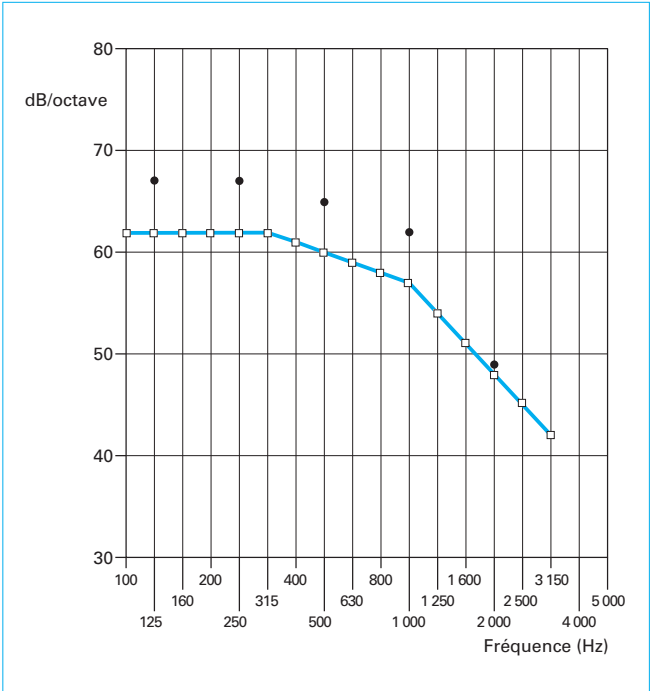


Figure 12 – Courbes de référence pour la transmission du bruit de choc (tableau 19)

3.3.3.2 Calcul d'un niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw}

■ Calcul à partir du spectre du bruit de choc mesuré par intervalles de tiers d'octave

La courbe de référence est à déplacer par bonds de 1 dB, vers le haut ou vers le bas, jusqu'à ce que la somme des écarts positifs du niveau L'_{nT} mesuré diminué de la référence déplacée soit le plus proche possible de 32 tout en étant inférieur à 32. Le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw} est la valeur à 500 Hz de la courbe de référence déplacée.

Un exemple de calcul de L'_{nTw} est donné dans le tableau 20.

■ Calcul à partir du spectre du même bruit de choc, mais mesuré par intervalles d'octave

La courbe de référence est à déplacer par bonds de 1 dB, vers le haut ou vers le bas, jusqu'à ce que la somme des écarts positifs du niveau L'_{nT} mesuré diminué de la référence soit le plus proche possible de 10 tout en étant inférieur à 10. Le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw} est la valeur à 500 Hz de la courbe de référence déplacée, à laquelle on retranche 5 dB. En effet, le même bruit de choc mesuré en tiers d'octave ou en octave doit donner le même résultat. Or, la courbe de référence par octave obtenue par addition logarithmique des niveaux de la courbe de référence par tiers d'octave est, notamment à 500 Hz, à 5 dB au-dessus de la courbe de référence par tiers d'octave.

Un exemple de calcul est donné dans le tableau 21 et sur la figure 13.

Dans le cas du tableau 21, le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw} est de $62 - 5 = 57$ dB.

3.3.3.3 Comparaison des niveaux de pression pondérés de bruit de choc standardisé L'_{nTw} avec un niveau de bruit de choc exprimé en dB(A)

Il n'y a pas de corrélation entre les deux critères ; dans l'exemple traité, le niveau de bruit de choc L_{nAT} était de 64 dB(A) et le L'_{nTw} de 57 dB. Pour le plancher de référence introduit par la norme européenne NF EN ISO 717-2, le L_{nAT} est de 82 dB(A) et le L'_{nTw} de 78 dB. Dans le premier cas, l'écart entre les valeurs des deux critères est de 7 dB, dans le deuxième, il est de 4 dB. La figure 14 montre qu'il n'y a pas d'écart systématique. La limite à ne pas dépasser pour le niveau normalisé de bruit de choc fixée par la NRA (arrêté du 28 octobre 1994) était de 65 dB(A). Si l'on considère les cas figurés par des points sur la figure 14, on constate que le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw} peut varier de 56 à 61, voire 63 dB, pour la même valeur de $L_{nAT} = 65$ dB(A).

L'arrêté du 30 juin 1999, traduction de la NRA en « langage européen » a fixé à **58 dB** le L'_{nTw} à ne pas dépasser pour avoir le même niveau de performance que dans la NRA.

Les valeurs limites des niveaux de pression pondérés du bruit de choc standardisé dans les règlements (habitation et tertiaire) sont données dans le tableau 22.

Tableau 20 – Exemple de détermination de L'_{nTw} , à partir du spectre du niveau standardisé L'_{nT}

Tiers d'octave (Hz)	L'_{nT} mesuré (dB)	Courbe de référence	Écarts positifs $L'_{nT} - \text{référence}$	Référence décalée de - 3 dB	Écarts positifs $L'_{nT} - \text{référence décalée}$
100	60,7	62		59	1,7
125	60,6	62		59	1,6
160	62,1	62	0,1	59	3,1
200	62,3	62	0,3	59	3,3
250	60,3	62		59	1,3
315	60,5	62		59	1,5
400	60,8	61		58	2,8
500	60,9	60	0,9	57	3,9
630	57,7	59		56	1,7
800	56,5	58		55	1,5
1 000	52,5	57		54	
1 250	48,6	54		51	
1 600	43,9	51		48	
2 000	39,0	48		45	
2 500	35,9	45		42	
3 150	30,6	42		39	
Somme des écarts positifs			1,3		22,4 (1)

La valeur à 500 Hz de la référence décalée est de 57 dB, d'où $L'_{nTw} = 57$ dB

(1) La somme 22,4 est assez éloignée de 32, mais si on décale la référence d'un décibel supplémentaire, les dix écarts positifs augmenteront de 1 dB de plus, et la valeur limite de 32 sera dépassée. On s'arrête donc à cette position de la courbe de référence.

Tableau 21 – Détermination de L'_{nTw} à partir du spectre du niveau L'_{nT} par intervalle d'octave					
Octave (Hz)	L'_{nT} mesuré (dB)	Courbe de référence	Écarts positifs L'_{nT} – référence	Référence décalée de - 3 dB	Écarts positifs L'_{nT} – référence décalée
125	66,0	67		64	2
250	65,9	67		64	1,9
500	64,8	65		62	2,8
1 000	58,4	62		59	
2 000	45,6	49		46	
Somme des écarts positifs			0		6,7 (1)
La valeur à 500 Hz de la référence décalée est de 62 dB, d'où $L'_{nTw} = 62 - 5 = 57$ dB					
(1) Si on décalait la courbe de référence de 1 dB de plus vers le bas, les trois valeurs positives des écarts augmenteraient de 1 dB, ce qui donnerait un total de 9,7, et les deux autres valeurs, à 1 000 et 2 000 Hz deviendraient positives et la somme des écarts positifs dépasserait 10.					

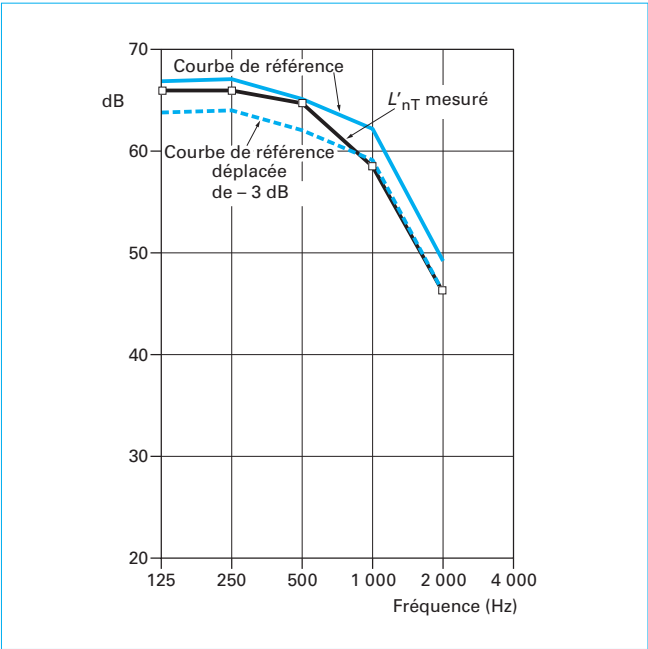


Figure 13 – Détermination du L'_{nTw} à partir d'un spectre par intervalle d'octave (tableau 21)

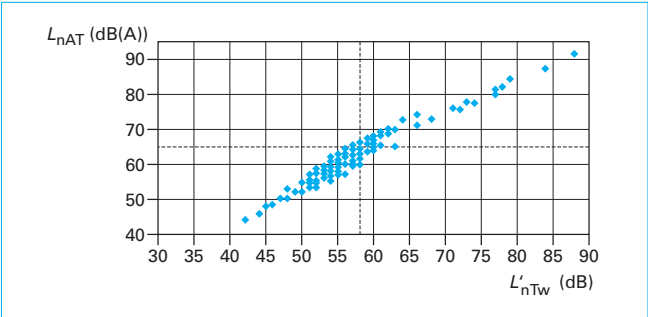


Figure 14 – Comparaison entre le critère utilisé en France avant le 1^{er} janvier 2000 et le critère à utiliser après

Tableau 22 – Valeurs limites réglementaires du niveau de pression pondéré du bruit de choc sandardisé L'_{nTw}		
Bâtiment	Local réception	L'_{nTw} (dB)
Habitation	Pièce principale	≤ 58
Hôtel	Chambre	≤ 60
Enseignement	Salle de classe et autres locaux de réception (1)	≤ 60
Santé	Chambre (2)	≤ 60
(1) Les locaux de réception du bruit de choc dans un établissement scolaire sont ceux qui sont considérés du point de vue de l'isolement acoustique aux bruits aériens : local d'enseignement, local d'activités pratiques, administration, bibliothèque, CDI, salle de musique, salle de réunion, salle des professeurs, atelier peu bruyant, local médical, infirmerie, salle polyvalente, salle de restauration et salle de repos d'une école maternelle. Une salle de classe a généralement un volume beaucoup plus grand qu'une chambre d'hôtel ou d'hôpital. La limite fixée par l'arrêté du 25 avril 2003 est donc plus facile à atteindre. Dans cet arrêté relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement, on trouve deux autres exigences particulières dans le domaine de l'isolation vis-à-vis du bruit de choc : L'une consiste en une protection renforcée des salles de repos d'une école maternelle non affectées à une salle d'exercice. Dans ce cas la limite maximale de bruit de choc est diminuée et doit être inférieure à 55 dB, lorsque la machine à choc est placée dans la salle d'exercice. L'autre est beaucoup plus restrictive et dissuasive et devrait pouvoir trouver sa solution dans une bonne disposition architecturale des locaux. Il s'agit des chocs sur le sol des ateliers bruyants ou d'une salle de sports. Dans les locaux de réception cités ci-dessus, le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé ne doit pas dépasser 45 dB.		
(2) Pour les établissements de santé, il faut veiller tout particulièrement au choix des revêtements de sol des circulations intérieures.		

3.3.3.4 Principaux facteurs intervenant dans la recherche d'un niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L'_{nTw}

Le projet de norme NF EN 12354-2 : prévision des performances des bâtiments à partir de la performance des éléments de

construction – partie 2 ; isolation au bruit de choc, donne une formule où figurent ces différents facteurs :

$$L'_{nTw} = 181 - 35 \lg(m') - \Delta L_w - 10 \lg(V) + K$$

avec m' (kg/m²) masse surfacique du plancher support en maçonnerie (dalle de béton, dalles alvéolaires, planchers à entrevous béton ou terre cuite),
 ΔL_w (dB) réduction du bruit de choc apportée par le revêtement de sol (voir ci-après le principe de détermination de cette réduction),
 V (m³) volume du local de réception,
 K augmentation du niveau de pression du bruit de choc due aux transmissions latérales.

Analysons ces différents facteurs.

● **Masse surfacique du plancher support (m')** : un plancher de 16 cm de béton a un L_{nw} , mesuré en laboratoire de 76 dB, un plancher de 18 cm de béton a un L_{nw} de 74 dB. Le rapport des masses est de 1,125 et $35 \lg(1,125) = 1,8$ arrondi à 2 dB. On s'aperçoit que pour ne pas dépasser un L'_{nTw} de 58 dB, il ne faut pas trop compter sur l'augmentation de l'épaisseur du plancher support en béton. Le principal facteur sera dû à l'efficacité du revêtement de sol.

● **Réduction du bruit de choc ΔL_w d'un revêtement de sol** : elle est mesurée en laboratoire. Le spectre du niveau de pression du bruit de choc normalisé est mesuré avec le plancher support nu. Il est ensuite mesuré avec le plancher support revêtu du produit à tester. On détermine ainsi un ΔL dans chaque intervalle de tiers d'octave en faisant la différence du niveau obtenu avec la dalle nue et du niveau obtenu avec la dalle revêtue. Les planchers supports utilisés pour les essais ne sont pas toujours les mêmes dans les différents laboratoires, c'est pourquoi on applique les ΔL mesurés dans chaque intervalle d'octave au spectre type obtenu avec un plancher de référence défini par la norme NF EN ISO 717-2. En faisant cela, on suppose que les améliorations dans chaque tiers d'octave apportées par le revêtement de sol ne dépendent pas du support, à condition qu'il soit lourd et rigide. Le niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé L_{nw} du plancher de référence est de 78 dB. On calcule le niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé du spectre correspondant au plancher de référence modifié par les ΔL . La différence des deux niveaux pondérés est le ΔL_w du revêtement.

● **Volume V du local de réception** : c'est le facteur qui permet de passer d'un niveau normalisé, tel que celui mesuré en laboratoire à un niveau standardisé (voir § 3.2).

Estimation de l'augmentation du niveau de pression K du bruit de choc due au fait que dans les configurations *in situ* il y a des transmissions latérales : les valeurs de K le plus souvent constatées sont 0, 1 ou 2. La valeur 2 est généralement obtenue lorsque des cloisons en maçonnerie légère et rigide (carreaux de plâtre ou briques plâtrières) sont liées au plancher sur lequel est placée la machine à chocs normalisée. Le projet de norme NF EN 12354-2 donne un tableau permettant d'évaluer de façon plus précise, mais plus longue, le terme K , en fonction des masses relatives du plancher support et de l'ensemble des murs et cloisons latéraux.

4. Niveaux de bruits d'équipements

■ Équipements visés

Les équipements visés par les arrêtés relatifs à la limitation des bruits dans les constructions, sont les équipements de l'immeuble perçus dans l'immeuble. Ils sont souvent différenciés en fonction de leur fonctionnement, continu ou intermittent, en fonction de leur caractère individuel ou collectif, en fonction de leur emplacement, à l'intérieur ou à l'extérieur du local à protéger.

Tableau 23 – Niveaux de pression acoustique limites L_{nAT} en dB(A) pour les bruits d'équipements. Cas des bâtiments d'habitation

Équipement	Nature	Locaux de réception	
		Pièces principales	Cuisines
Appareil individuel de chauffage ou de climatisation	Équipement du logement de réception	35	50 (1)
Ventilation mécanique en position de débit minimal	Équipement collectif	30	35
Équipement individuel d'un logement (exemple : plomberie du voisin, volets roulants motorisés...)	Extérieur au logement de réception	30	35
Équipement collectif du bâtiment (ascenseurs, chaufferies, sous stations de chauffage, transformateurs, surpresseurs d'eau, vide-ordures...)		30	35

(1) Lorsque la cuisine est ouverte sur une pièce principale par une baie libre, le niveau de pression acoustique normalisé ne doit pas dépasser 40 dB(A) dans la pièce principale, lorsqu'un appareil individuel de chauffage fonctionne à puissance minimale.

Quant à la perception des bruits des équipements d'un immeuble dans les bâtiments voisins, elle n'est pas traitée par les arrêtés évoqués ci-dessus. Pour ces problèmes d'environnement il faut généralement se reporter aux dispositions du décret du 18 avril 1995 relatif aux bruits de voisinage. Ce décret fixe notamment des émergences limites des bruits avec la source en fonctionnement sur les bruits constatés lorsque la source incriminée est à l'arrêt. Ces émergences sont de 5 dB(A) en période diurne et 3 dB(A) en période nocturne. Notons enfin que ce décret est référencé dans les visas figurant en préambule des trois arrêtés du 25 avril 2003 applicables au secteur tertiaire.

■ Expression des résultats

Les critères permettant de caractériser les bruits d'équipements n'ont pas été modifiés par l'application des règles européennes à partir du 1^{er} janvier 2000.

Les limites fixées par les arrêtés sont exprimées sous la forme de niveaux de pression acoustique normalisés L_{nAT} en dB(A). Ces niveaux sont calculés pour une durée de réverbération de référence de 0,5 s à toutes les fréquences.

La norme NFS 31-057 : vérification de la qualité acoustique des bâtiments, précise que, pour les bruits d'équipements, la mesure se fait directement en dB(A). Il se pose alors le problème du calcul du niveau de pression acoustique qu'on aurait mesuré si la durée de réverbération du local de réception avait été égale à 0,5 s à toutes les fréquences. La mesure de la durée de réverbération réelle du local directement en dB(A) n'a pas grande signification. C'est pourquoi la norme propose que le terme correctif à appliquer soit : $-10 \lg(T/0,5)$, avec T égal à la moyenne arithmétique des durées de réverbérations mesurées dans les octaves de fréquences médianes 250 et 500 Hz.

■ Principales exigences des textes réglementaires

Les valeurs des niveaux de pression acoustique limites concernant divers équipements sont données dans le tableau 23 pour les

Tableau 24 – Niveaux de pression acoustique limites L_{nAT} en dB(A) pour les bruits d'équipements. Cas des bâtiments d'enseignement		
Équipement	Locaux de réception	
	Bibliothèque, CDI, locaux médicaux, infirmerie, salles de repos, salles de musique	Local d'enseignement, local d'activités pratiques, administration, salle de réunions, salle de professeurs, atelier peu bruyant, salle polyvalente, salle de restauration
Équipement à fonctionnement continu	33	38
Équipement à fonctionnement intermittent	38	43

Tableau 25 – Niveaux de pression acoustique limites L_{nAT} en dB(A) pour les bruits d'équipements. Cas des bâtiments de santé			
Équipement	Locaux de réception		
	Local d'hébergement	Salles d'examen et de consultation, bureaux médicaux et soignants, salles d'attente	Locaux de soins, salles d'opération (1), salles d'obstétrique, salles de travail
Équipement en général	30	35	40 (1)
Équipements hydrauliques et sanitaires des locaux d'hébergement voisins	35		
(1) Ne sont pas considérés les équipements spécifiques de la salle d'opération elle-même. Seuls les équipements « immobiliers » sont pris en compte.			

Tableau 26 – Niveaux de pression acoustique limites L_{nAT} en dB(A) pour les bruits d'équipements. Cas des hôtels	
Équipement	Local de réception
	Chambre
Équipement en général extérieur à la chambre de réception	30
Équipements de la chambre de réception (chauffage, climatisation)	35

bâtiments d'habitation, le tableau 24 pour les établissements d'enseignement, tableau 25 pour les établissements de santé et le tableau 26 pour les hôtels. Le lecteur peut également se reporter au tableau A en [Doc. C 3 365].

5. Traitement acoustique des circulations communes

Les arrêtés fixant les exigences acoustiques dans les bâtiments, celui du 30 juin 1999 pour l'habitation et les trois arrêtés du 25 avril 2003 pour les établissements d'enseignement, les établissements de santé et les hôtels, définissent des exigences de traitement acoustique des circulations intérieures communes, sous la forme d'une obligation de moyens.

■ But du traitement

Tout le monde a pu constater que certaines circulations communes d'immeubles existants ont une sonorité dignes de cathédrales. Dans ces ambiances, non seulement les bruits sont amplifiés, mais les discussions se font à voix très forte en pensant qu'on aura plus de chances de se faire comprendre par son interlocuteur.

À l'inverse, certaines circulations communes d'hôtels de bonne qualité sont très assourdies par des plafonds absorbants et par des moquettes épaisses. Les bruits produits sont plus étouffés et une espèce d'autorégulation des niveaux émis se produit. Les personnes parlent généralement moins fort car, même à voix normale, elles sont bien comprises par ceux qui doivent recevoir le message.

Une autre raison, moins évidente, a conduit à demander des traitements acoustiques dans les circulations communes. Lorsque la NRA, nouvelle réglementation acoustique, publiée par l'arrêté du 28 octobre 1994, a été étudiée il était question d'augmenter les exigences d'isollements acoustiques vis-à-vis des bruits aériens de 3 dB, par rapport aux exigences de la réglementation antérieure, celle du 14 juin 1969. Cela a été fait pour les isollements entre les divers locaux d'un immeuble et les pièces principales, cuisines et salles d'eau d'un logement, à l'exception des isollements entre les circulations communes et le logement. L'isollement acoustique standardisé correspondant à ce qui était demandé en 1969 pour une émission dans une circulation commune et une réception dans les pièces principales d'un logement était de 40 dB. Cela ne posait pas de gros problèmes dès lors que l'isollement était assuré par deux portes : une porte palière de bonne qualité et une porte de distribution intérieure alvéolaire et peu étanche entre l'entrée du logement et la pièce principale. Par contre, on constatait de nombreuses non-conformités lorsque la porte palière donnait directement dans la pièce principale et était donc seule à assurer l'isollement de cette pièce vis-à-vis du palier. Il était donc difficile, dans cette configuration, d'envisager une augmentation de l'isollement minimal de 3 dB. La NRA a donc confirmé l'isollement de 1969, mais, en contrepartie, elle a prévu la correction acoustique de la circulation commune.

■ Obligation de moyens (et non de résultats)

Les textes réglementaires demandent de placer, dans les circulations, des matériaux absorbants en quantité suffisante pour que l'aire d'absorption équivalente de ces matériaux soit égale à une certaine proportion de la surface au sol de la circulation.

L'aire d'absorption équivalente est donnée par la formule $A = S \alpha_w$ dans laquelle S est la surface du matériau absorbant et α_w l'indice d'évaluation de l'absorption du produit déterminé conformément à la norme NF EN ISO 11654 portant sur l'évaluation de l'absorption des matériaux acoustiques utilisés dans le bâtiment.

Contrairement aux autres rubriques traitées par les arrêtés fixant les exigences acoustiques dans les bâtiments, celle du traitement acoustique des circulations communes est donnée sous forme d'obligation de moyens et non pas d'obligations de résultats. En effet, on n'a pas la possibilité de mesurer *a posteriori* sur le site que la quantité d'absorbants prescrite a bien été mise en place. On ne pourra contrôler que de visu que la surface de matériau prévue dans l'étude prévisionnelle est bien en place.

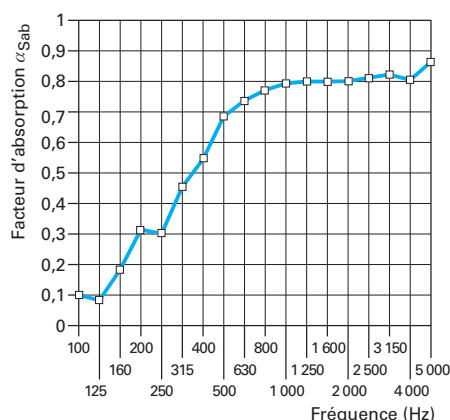
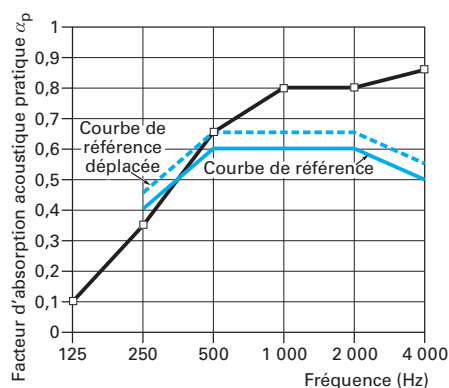


Figure 15 – Courbe d'absorption acoustique d'un enduit absorbant

Figure 16 – Détermination d'un indice d'évaluation de l'absorption α_w

L'indice d'évaluation de l'absorption d'un matériau α_w est déterminé en comparant la courbe du coefficient d'absorption du produit, par intervalles d'octave à une courbe de référence.

Les mesures en laboratoire des coefficients d'absorption des matériaux se font par la méthode de la chambre réverbérante et les valeurs données correspondent au coefficient d'absorption α_{Sab} (alpha Sabine) en raison de l'utilisation de la formule de Sabine ($AT = 0,16 V$) dans le processus de calcul du résultat. Les mesures se font par intervalles de tiers d'octave entre celui centré sur 100 Hz et celui centré sur 5 000 Hz.

La courbe de référence pour le calcul du coefficient α_w étant donnée par intervalles d'octave, il faut déterminer la courbe du coefficient α_{Sab} dans les mêmes intervalles. Pour cela, on détermine un « facteur d'absorption acoustique pratique » en faisant, pour chaque intervalle d'octave, la moyenne arithmétique des valeurs obtenues dans les trois intervalles de tiers d'octave qui le composent. Les résultats sont arrondis au 5/100^e le plus proche.

Prenons l'exemple de calcul d'un coefficient d'indice d'évaluation de l'absorption α_w : cet exemple est celui d'un **enduit absorbant** dont la courbe d'absorption acoustique est donnée sur la

Tableau 27 – Détermination du facteur d'absorption acoustique pratique α_p d'un enduit absorbant, à partir de la courbe de son coefficient α_{Sab} mesuré par tiers d'octave (figure 15)

Tiers d'octave (Hz)	α_{Sab}	α_p par octave
100	0,10	
125	0,08	0,10
160	0,18	
200	0,31	
250	0,30	0,35
315	0,45	
400	0,54	
500	0,68	0,65
630	0,73	
800	0,77	
1 000	0,79	0,80
1 250	0,80	
1 600	0,80	
2 000	0,80	0,80
2 500	0,81	
3 150	0,82	
4 000	0,80	0,85
5 000	0,86	

figure 15. À partir de cette courbe, on détermine les facteurs d'absorption acoustiques pratiques α_p par octave (tableau 27). Les facteurs d'absorption pratiques par intervalles d'octave étant calculés, on les compare à une courbe de référence. Cette courbe de référence est déplacée par bonds de 0,05 vers le haut ou vers le bas jusqu'à ce que la somme des écarts « référence déplacée – facteur d'absorption pratique » soit le plus proche possible de 0,10 en restant inférieur à cette valeur (figure 16). L'indice d'évaluation de l'absorption est la valeur à 500 Hz de la courbe de référence déplacée (tableau 28).

On complète les informations relatives à l'absorption du produit en examinant les écarts entre la courbe du produit et la courbe de référence déplacée. Si, dans un ou plusieurs intervalles d'octave, le facteur d'absorption pratique dépasse la référence déplacée de 0,25 ou plus, on l'indique par une ou plusieurs lettres :

L si le dépassement est à 125 Hz (fréquences graves, low en anglais),

M si le dépassement est dans les fréquences moyennes, 500 ou 1 000 Hz,

H s'il est dans les fréquences aiguës (High en anglais). La ou les lettres qui complètent l'indice α_w correspondent à l'indicateur de forme de la courbe d'absorption.

Dans notre cas, il y a un dépassement de 0,30 à 4 000 Hz ; le résultat de l'indice d'évaluation de l'absorption sera donné sous la forme $\alpha_w = 0,65$ (H).

■ Valeurs exigées par les différents règlements

Le tableau 29 regroupe les valeurs de $S \alpha_w$ dans les circulations communes selon les bâtiments.

Tableau 28 – Détermination de l'indice d'évaluation de l'absorption de l'enduit absorbant

Octaves	α_p	Référence	Écarts positifs ($\text{Ref} - \alpha_p$)	Référence déplacée de + 0,05	Écarts positifs ($\text{Ref} + 0,05 - \alpha_p$)
125	0,10				
250	0,35	0,40	0,05	0,45	0,10
500	0,65	0,60		0,65	
1 000	0,80	0,60		0,65	
2 000	0,80	0,60		0,65	
4 000	0,85	0,50		0,55	
Somme des écarts positifs			0,05		0,10
L'indice d'évaluation de l'absorption α_w du produit est égal à 0,65 .					

Tableau 29 – Aires d'absorption équivalente ($S \alpha_w$) dans les circulations communes

Bâtiment	Locaux à traiter	% de la surface au sol
Habitation	Circulations communes	25
Hôtel	Circulations de la zone d'hébergement	25
Enseignement	Circulations horizontales, halls de volume inférieur à 250 m ³ et préaux	50
Santé	Circulations communes des secteurs d'hébergement et de soins	33

Tableau 30 – Durées de réverbération moyennes dans les établissements d'enseignement

Locaux meublés non occupés	Durée de réverbération moyenne (s)
Salle de repos, salle d'exercice et salle de jeux des écoles maternelles Local d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques, salle de restauration et salle polyvalente de volume inférieur ou égal à 250 m ³ Local médical ou social, infirmerie, local sanitaire, administratif, foyer, salle de réunion, bibliothèque, centre de documentation, et d'information	$0,4 \leq T_r \leq 0,8$
Local d'enseignement de musique, d'études ou d'activités pratiques d'un volume supérieur à 250 m ³ , sauf atelier bruyant	$0,6 \leq T_r \leq 1,2$
Salle de restauration d'un volume supérieur à 250 m ³	$T_r \leq 1,2$
Salle polyvalente d'un volume supérieur à 250 m ³	$0,6 \leq T_r \leq 1,2$
Autres locaux et circulations accessibles aux élèves d'un volume supérieur à 250 m ³ et inférieur ou égal à 512 m ³	$T_r \leq 1,2$
Autres locaux et circulations accessibles aux élèves d'un volume supérieur à 512 m ³	$T_r \leq 0,15 \times V^{1/3}$

6. Correction acoustique de certains locaux

Les arrêtés du 25 avril 2003 relatifs à la limitation du bruit dans les établissements scolaires et dans les établissements de santé fixent des exigences de correction acoustique de certains locaux, sous la forme d'une durée de réverbération à obtenir ou d'une étude acoustique à réaliser.

Aussi bien pour les établissements d'enseignement que pour les établissements de santé, les arrêtés du 25 avril 2003 donnent des exigences de durées de réverbération dans les locaux normalement meublés, non occupés (tableau 30). Les durées de réverbération à obtenir sont des moyennes arithmétiques dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1 000 et 2 000 Hz.

Dans les salles d'enseignement, il est aussi difficile de bien percevoir les messages dans une salle trop réverbérante que dans une salle trop sourde, c'est pourquoi les durées de réverbération à réaliser sont encadrées par deux valeurs.

Pour les salles polyvalentes d'un volume supérieur à 250 m³, l'arrêté demande également une étude particulière afin de définir le traitement acoustique de la salle permettant d'avoir une bonne intelligibilité de la parole en direct en tout point du local, sans support de sonorisation.

Pour les ateliers bruyants c'est l'arrêté du 30 août 1990, objectif de traitement acoustique des locaux de travail, qui s'applique.

Pour les salles de sport, l'arrêté du 25 avril 2003 renvoie à l'arrêté relatif à la limitation du bruit dans les établissements de loisirs et de sports. Cet arrêté n'est pas encore paru. C'est la raison pour laquelle la circulaire du 25 avril 2003 précise que, en attendant que cet arrêté soit pris, on se référera aux recommandations données dans la norme NF P 90-207. Dans cette norme il est demandé que la moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 125, 250, 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz soit inférieure ou égale à 0,14 fois la racine cubique du volume du local en m³ (dans les deux arrêtés concernant les établissements d'enseignement et de santé, cette valeur est 0,15 pour $V > 512 \text{ m}^3$, cf. tableaux 30 et 31).

**Tableau 31 – Durées de réverbération moyennes
dans les établissements de santé**

Volume des locaux	Nature des locaux	Durée de réverbération moyenne (s)
$V < 250 \text{ m}^3$	Salle de restauration	$T_r < 0,8$
	Salle de repos du personnel	$T_r < 0,5$
	Local public d'accueil	$T_r < 1,2$
	Local d'hébergement ou de soins, salles d'examen et de consultations, bureaux médicaux et soignants	$T_r < 0,8$
$250 \text{ m}^3 < V < 512 \text{ m}^3$	Local et circulation accessibles au public à l'exception des circulations des secteurs d'hébergement et de soins	$T_r < 1,2$
$V > 512 \text{ m}^3$		$T_r \leq 0,15 \times V^{1/3}$