

**norme européenne****NF EN 12354-6**

Août 2004

norme française

Indice de classement : S 31-004-6

ICS : 91.120.20

Acoustique du bâtiment

**Calcul de la performance acoustique  
des bâtiments à partir de la performance  
des éléments****Partie 6 : Absorption acoustique des pièces et espaces fermés**

E : Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 6: Sound absorption in enclosed spaces

D : Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 6: Schallabsorption in Räumen

**Norme française homologuée**

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 juillet 2004 pour prendre effet le 20 août 2004.

**Correspondance** La norme européenne EN 12354-6:2003 a le statut d'une norme française.**Analyse**

Le présent document décrit les principes du modèle de calcul qui permet d'estimer l'aire d'absorption acoustique équivalente totale ou la durée de réverbération des espaces fermés des bâtiments tels que des locaux dans des bâtiments d'habitation et des bureaux, et des espaces communs dans les bâtiments, comme les cages d'escalier, couloirs et locaux contenant des machines et des équipements techniques.

Le présent document énumère les grandeurs significatives et définit les applications et les limites du modèle.

Le présent document n'est pas destiné à être utilisé pour des espaces très grands ou de formes très irrégulières, tels que des salles de concert, des théâtres et des usines.

**Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : acoustique, bruit acoustique, diminution du bruit, isolation acoustique, bâtiment, pièce d'habitation, calcul, absorption acoustique, coefficient d'absorption acoustique.

**Modifications****Corrections**

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex  
Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.fr



## Membres de la commission de normalisation

Président : M REHFELD

Secrétariat : M RUTMAN — BNTB

M	AFLALO	BRUIFI ET KJAER
M	ARCE	BRUEL ET KJAER
MME	ARNAUD	SMAC ACIEROID
MME	BECKER	AFNOR
M	BENJELLOUN	CTTB
M	BERNARD	MINISTERE DE LA DEFENSE — STBFT
MME	BESSEYRIAS	SOLLAC LORRAINE
M	BRIDIER	SNFA
M	CHATELAIN	STR PVC
M	CHENE	CSTB
M	CHEVALDONNET	UNION DES INDUSTRIES DU BOIS
M	CYROT	SNI
M	DUTILLEUX	LRPC STRASBOURG
M	FRANCOIS-BRAZIER	SAINT-GOBAIN PAM
M	GAMBA	ACOUSTIQUE GAMBA ET ASSOCIES
MME	GAULUPEAU	BUREAU VERITAS
M	GUILBERT	FILMM — SAINT-GOBAIN ISOVER
M	HAJEWSKI	TARKETT SOMMER
M	HUGUES	ALPHACAN SRA
M	LECOCQ	CIAL
M	LEMONNIER	MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT — MISSION BRUIT
M	LOUWERS	IMPEDANCE SA
M	MEISSER	SNI
M	OZOUF	SNPA — BPB-PLACO
M	PERSUY	SNPA
M	PINÇON	BNTEC
M	REHFELD	CSFVP — SAINT GOBAIN GLASS
M	REIGNER	CEBTP
M	ROLAND	CSTB
M	SAUVAGE	CERIB
M	SERVANT	SOCOTEC
MME	SOULIER	METLTM — DGUIHC
M	TISSEYRE	TISSEYRE ET ASSOCIES
M	TIZIANEL	LAFARGE PLATRES
M	VAYSSIE	FILMM — OWENS CORNING ALCOPOR
MME	VILLENAVE	CTBA
M	VILLOT	CSTB

## **Avant-propos national**

### *Références aux normes françaises*

*La correspondance entre les normes mentionnées à l'article «Références normatives» et les normes françaises identiques est la suivante :*

*EN ISO 354 : NF EN ISO 354 (indice de classement : S 31-003)*

*Les autres normes mentionnées à l'article «Références normatives» qui n'ont pas de correspondance dans la collection des normes françaises sont les suivantes (elles peuvent être obtenues auprès d'AFNOR) :*

*ISO 9613-1*

**Version française**

**Acoustique du bâtiment —  
Calcul de la performance acoustique des bâtiments  
à partir de la performance des éléments —  
Partie 6 : Absorption acoustique des pièces et espaces fermés**

Bauakustik — Berechnung der akustischen  
Eigenschaften von Gebäuden  
aus den Bauteileigenschaften —  
Teil 6: Schallabsorption in Räumen

Building acoustics — Estimation of acoustic performance  
of buildings from the performance of elements —  
Part 6: Sound absorption in enclosed spaces

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 13 novembre 2003.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et Suisse.

**CEN**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung  
European Committee for Standardization

Centre de Gestion : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

## Sommaire

	Page
Avant-propos .....	3
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	4
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	4
<b>3</b> <b>Grandeurs significatives</b> .....	4
3.1   Performance d'un bâtiment .....	4
3.2   Performance d'un élément .....	5
3.3   Autres termes et grandeurs .....	5
<b>4</b> <b>Modèles de calcul</b> .....	6
4.1   Principes généraux .....	6
4.2   Données d'entrée .....	6
4.3   Détermination de l'aire d'absorption acoustique équivalente totale .....	7
4.4   Détermination de la durée de réverbération .....	7
4.5   Interprétations .....	8
4.6   Limites .....	8
<b>5</b> <b>Exactitude</b> .....	9
<b>Annexe A</b> (normative) <b>Liste des symboles</b> .....	10
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Absorption acoustique des matériaux</b> .....	13
B.1   Exemples .....	13
B.2   Calcul .....	14
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Absorption acoustique d'objets</b> .....	16
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Estimation pour les espaces de formes irrégulières et/ou en cas de distribution irrégulière de l'absorption</b> .....	17
D.1   Introduction .....	17
D.2   Distribution irrégulière de l'absorption .....	17
D.3   Espaces de formes irrégulières .....	20
<b>Annexe E</b> (informative) <b>Exemple de calcul</b> .....	22
<b>Bibliographie</b> .....	23

## Avant-propos

Le présent document (EN 12354-6:2003) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 126 «Propriétés acoustiques des produits de construction et des bâtiments», dont le secrétariat est tenu par AFNOR.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en juin 2004, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en juin 2004.

Le présent document est la première version d'une norme faisant partie d'une série de normes prescrivant des modèles de calcul dans l'acoustique du bâtiment :

- *Partie 1 : Isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux*
- *Partie 2 : Isolement acoustique au bruit de choc entre des locaux*
- *Partie 3 : Isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur*
- *Partie 4 : Transmission du bruit intérieur à l'extérieur*
- *Partie 5 : Bruit émis par les installations et équipements techniques*
- *Partie 6 : Absorption acoustique des pièces et espaces fermés.*

Bien que cette partie couvre les principaux types d'espaces fermés des bâtiments, elle n'est pas encore en mesure d'en couvrir toutes les variantes. Elle fournit une approche permettant d'acquérir de l'expérience pour les améliorations et les développements futurs.

L'exactitude de la présente norme ne peut pas être spécifiée en détail tant que des comparaisons à grande échelle n'ont pas été effectuées avec les données obtenues *in situ*, ces dernières ne pouvant être recueillies qu'après une certaine durée d'utilisation du modèle de prévision. En attendant, afin d'aider l'utilisateur, des indications ont été données sur l'exactitude en se basant sur des modèles de prévision antérieurs comparables. Il incombe à l'utilisateur (c'est-à-dire une personne, un organisme ou les autorités) de prendre en compte les conséquences de l'exactitude, qui sont inhérentes à toutes les méthodes de mesurage et de prévision, en spécifiant les exigences relatives aux données d'entrée et/ou en appliquant une marge de sécurité aux résultats ou une autre correction.

L'Annexe A est normative, les Annexes B, C, D et E sont informatives.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède et Suisse.

## 1 Domaine d'application

La présente Norme européenne décrit un modèle de calcul permettant d'estimer l'aire d'absorption acoustique équivalente totale ou la durée de réverbération des espaces fermés des bâtiments. Le calcul est essentiellement basé sur les données mesurées caractéristiques de l'absorption acoustique des matériaux et des objets. Les calculs ne peuvent être réalisés que par bandes de fréquences.

La présente Norme européenne décrit les principes du modèle de calcul, énumère les grandeurs significatives et définit les applications et les limites de ce modèle. Elle est destinée aux experts en acoustique et fournit un cadre permettant d'élaborer des documents d'application et des outils destinés à d'autres utilisateurs dans le domaine de la construction de bâtiments, en tenant compte des circonstances locales.

Le modèle s'appuie sur l'expérience de prédictions pour des locaux, tels que des locaux dans des bâtiments d'habitation et des bureaux, et des espaces communs dans les bâtiments, comme les cages d'escalier, couloirs et locaux contenant des machines et des équipements techniques. Il n'est pas destiné à être utilisé pour des espaces très grands ou de formes très irrégulières, tels que des salles de concert, des théâtres et des usines.

## 2 Références normatives

Cette Norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette Norme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

EN ISO 354, *Acoustique — Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante* (ISO 354:2003).

ISO 9613-1, *Acoustique — Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre — Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique*.

## 3 Grandeurs significatives

### 3.1 Performance d'un bâtiment

#### 3.1.1

##### **grandeurs permettant d'exprimer la performance d'un bâtiment**

l'absorption acoustique en espaces fermés peut, conformément au prEN ISO 3382-2, être exprimée en aire d'absorption équivalente ou durée de réverbération. Ces grandeurs sont déterminées par bandes de fréquences (bandes de tiers d'octave ou bandes d'octave)

#### 3.1.2

##### **aire d'absorption acoustique équivalente d'un local, $A$**

aire d'absorption acoustique hypothétique d'une surface totalement absorbante sans effets de diffraction qui, si elle était le seul élément absorbant du local, donnerait la même durée de réverbération que le local considéré

NOTE L'aire d'absorption acoustique équivalente d'un local est exprimée en  $m^2$ .

#### 3.1.3

##### **durée de réverbération, $T$**

durée requise pour que le niveau de pression acoustique chute de 60 dB une fois que la source de bruit a cessé d'émettre

NOTE 1 La durée de réverbération est exprimée en s.

NOTE 2 La définition de  $T$  avec une diminution de 60 dB du niveau de pression acoustique peut être respectée par une extrapolation linéaire d'une plage d'évaluation plus courte.

NOTE 3 Si la courbe de décroissance n'est pas monotone, la durée de réverbération est définie par les temps auxquels la courbe de décroissance atteint respectivement 5 dB et 25 dB en dessous du niveau initial. En cas de doute, il convient que cette durée de réverbération soit appelée  $T_{20}$ .

## 3.2 Performance d'un élément

### 3.2.1

#### grandeurs permettant d'exprimer les performances d'un élément

l'absorption acoustique d'éléments peut, conformément à l'EN ISO 354, être exprimée par l'aire d'absorption acoustique équivalente ou le coefficient d'absorption acoustique. Ces grandeurs sont déterminées par bandes de tiers d'octave et peuvent également être exprimées par bandes d'octave

NOTE Un indice unique d'évaluation de la performance de l'élément peut également être obtenu à partir des données par bandes de fréquences conformément à l'EN ISO 11654 [7], par exemple :  $\alpha_w(M)$ . De tels indices uniques d'évaluation peuvent être utilisés pour comparer ou spécifier la performance requise de produits, mais ils ne peuvent pas être utilisés pour calculer directement la performance *in situ*.

### 3.2.2

#### aire d'absorption acoustique équivalente d'un objet, $A_{obj}$

différence entre l'aire d'absorption acoustique équivalente avec et sans l'objet (épreuve) dans le local d'essai

NOTE L'aire d'absorption acoustique équivalente d'un objet est exprimée en  $m^2$ .

### 3.2.3

#### coefficient d'absorption acoustique, $a_s$

aire d'absorption acoustique équivalente d'une éprouvette divisée par l'aire de l'éprouvette

NOTE 1 Pour les éléments absorbants plans dont les deux faces sont exposées, une valeur moyenne des deux faces est prise en compte pour chaque face.

NOTE 2 Cette grandeur ne s'applique qu'à un élément absorbant plan ou à un groupe d'objets spécifié, et non à des objets simples.

### 3.2.4

#### autres données pertinentes

les calculs peuvent requérir un supplément d'informations, notamment :

- la surface des éléments de séparation du local ;
- le volume et la forme de l'espace fermé ;
- le nombre et la nature des objets et des équipements présents dans l'espace fermé ;
- le nombre de personnes supposées être présentes dans le local.

## 3.3 Autres termes et grandeurs

### 3.3.1

#### absorption par l'air, $A_{air}$

aire d'absorption équivalente de l'affaiblissement acoustique par l'air

### 3.3.2

#### volume du local vide, $V$

volume de l'espace fermé, sans objets ni équipements dans la pièce

### 3.3.3

#### volume de l'objet, $V_{obj}$

volume de la plus petite enveloppe de forme régulière pour un objet, en omettant les petits éléments saillants qui sortent de l'enveloppe

NOTE Les pieds d'une table sont des exemples d'éléments saillants pouvant être ignorés.

### 3.3.4

#### **fraction d'objet, $\Psi$**

rapport entre la somme des volumes de tous les objets et le volume de l'espace vide

### 3.3.5

#### **groupe d'objets**

groupe ou arrangement spécifique d'objets pour lequel l'absorption est exprimée par un coefficient d'absorption acoustique  $a_s$  relatif à l'aire de la surface couverte par le groupe

## 4 Modèles de calcul

### 4.1 Principes généraux

Pour le calcul de l'aire d'absorption acoustique équivalente et de la durée de réverbération dans des espaces fermés, il est supposé que le champ acoustique est diffus. Ceci signifie que les dimensions de l'espace fermé sont similaires (voir 4.6) et que l'absorption est distribuée dans tout l'espace ; la présence d'objets diffusants modère ces limitations. L'effet d'absorption par les surfaces, les objets — y compris les personnes —, les groupes d'objets et l'air est pris en compte.

**NOTE 1** Dans d'autres situations, comme les espaces de formes irrégulières et en cas d'absorption répartie de façon irrégulière, l'Annexe D donne des lignes directrices pour des modèles de calcul améliorés. Dans les espaces de formes irrégulières, tels que les cages d'escalier ou les locaux contenant des machines, il est supposé que le niveau de pression acoustique, et par conséquent l'absorption, est plus caractéristique de la performance que la durée de réverbération.

Le modèle peut être utilisé pour calculer la performance des bâtiments par bandes de fréquences, à partir de données acoustiques sur les éléments par bandes de fréquences. Le calcul est généralement effectué pour les bandes d'octave de 125 Hz à 4 000 Hz.

**NOTE 2** Les calculs peuvent être étendus à des fréquences inférieures ou supérieures. Cependant, aucune information n'est actuellement disponible quant à l'exactitude des calculs pour des bandes de fréquences étendues, notamment vers des valeurs inférieures.

Une liste des symboles utilisés est donnée à l'Annexe A.

### 4.2 Données d'entrée

L'aire d'absorption acoustique équivalente et la durée de réverbération peuvent être déterminées à partir :

- du coefficient d'absorption de la surface  $i$  :  $a_{s,i}$  ;
- de l'aire de la surface  $i$  :  $S_i$  ;
- de l'aire d'absorption acoustique équivalente de l'objet  $j$  :  $A_{obj,j}$  ;
- du coefficient d'absorption du groupe d'objets  $k$  :  $a_{s,k}$  ;
- de l'aire de la surface couverte par le groupe d'objets  $k$  :  $S_k$  ;
- du volume de l'espace fermé vide :  $V$  ;
- du volume de l'objet  $j$  ou du groupe d'objets  $k$  :  $V_{obj,j}$ ,  $V_{obj,k}$ .

Il convient que les données acoustiques sur les matériaux, les objets et les configurations d'objets concernés proviennent principalement de mesurages normalisés en laboratoire selon l'EN ISO 354. Toutefois, il est permis de les déterminer autrement, par des calculs théoriques, des estimations empiriques ou des résultats de mesurages effectués sur le terrain. Les sources des données utilisées doivent être clairement indiquées.

Les données d'entrée pour les calculs par bandes d'octave peuvent correspondre à la moyenne arithmétique des valeurs de bandes de tiers d'octave correspondantes.

**NOTE** L'utilisation de la moyenne arithmétique des valeurs de bandes de tiers d'octave comme données d'entrée pour les calculs par bandes d'octave peut être imprécise pour des éléments absorbants autres que ceux à large bande.

L'Annexe B donne des informations sur l'absorption acoustique par certains matériaux et revêtements de surface.

L'Annexe C donne des informations sur l'absorption acoustique par certains objets d'usage courant.

### 4.3 Détermination de l'aire d'absorption acoustique équivalente totale

L'aire d'absorption acoustique équivalente totale pour un espace fermé est déterminée comme suit :

$$A = \sum_{i=1}^n a_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p a_{s,k} S_k + A_{air} \quad \dots (1)$$

où :

$n$  est le nombre de surfaces  $i$  ;

$o$  est le nombre d'objets  $j$  ;

$p$  est le nombre de groupes d'objets  $k$ .

L'aire d'absorption acoustique équivalente pour l'absorption par l'air est déterminée comme suit :

$$A_{air} = 4 m V (1 - \psi) \quad \dots (2)$$

où :

$m$  est le coefficient d'atténuation de puissance dans l'air, en Népers par mètre ;

$V$  est le volume de l'espace fermé vide, en mètres cubes ;

$\psi$  est la fraction d'objet.

La fraction d'objet est déterminée comme suit :

$$\psi = \frac{\sum_{j=1}^o V_{obj,j} + \sum_{k=1}^p V_{obj,k}}{V} \quad \dots (3)$$

L'atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre est spécifiée dans l'ISO 9613-1 en fonction de la température, de l'humidité et de la fréquence. Pour la propagation du son dans les locaux, le Tableau 1 donne les valeurs pertinentes déterminées conformément à cette norme dans des conditions normales. Si d'autres conditions spécifiques s'appliquent, les valeurs du coefficient d'atténuation de puissance doivent être déterminées conformément à l'ISO 9613-1. Si aucune condition n'est spécifiée, il est recommandé d'utiliser les valeurs correspondant à 20 °C et 50 % à 70 % d'humidité.

Si les calculs sont limités aux bandes d'octave inférieures ou égales à 1 000 Hz et aux locaux dont le volume est inférieur à 200 m<sup>3</sup>, l'absorption par l'air peut être négligée et l'équation (1) doit être utilisée avec  $A_{air} = 0$  m<sup>2</sup>.

Pour les objets durs et de formes irrégulières tels que des machines, des placards ou du mobilier de bureau, l'aire d'absorption acoustique équivalente peut être importante, mais ne pourra généralement pas provenir de mesures. Pour les besoins de la présente norme, l'aire d'absorption acoustique équivalente de ce type d'objets peut être estimée d'après leur volume par :

$$A_{obj} = V_{obj}^{2/3} \quad \dots (4)$$

où :

$V_{obj}$  est le volume des objets durs.

NOTE Ceci est une équation empirique utilisée pour obtenir des résultats fiables pour les espaces contenant un nombre relativement important d'objets pouvant se trouver dans des locaux contenant des équipements techniques.

### 4.4 Détermination de la durée de réverbération

La durée de réverbération est déterminée d'après l'aire d'absorption acoustique équivalente totale, calculée en 4.3, le volume de l'espace fermé vide et la fraction d'objet :

$$T = \frac{55,3}{c_o} \frac{V(1 - \psi)}{A} \quad \dots (5)$$

où :

$c_o$  est la vitesse du son dans l'air, en mètres par seconde.

NOTE Pour que le rapport  $55,3/c_o$  soit égal à 0,16 tel, qu'il est supposé dans l'EN ISO 140-4 [8], la vitesse du son doit être égale à 345,6 m/s.

**Tableau 1 — Coefficient d'atténuation de puissance dans l'air  $m$  en bandes d'octave, en fonction de la température et de l'humidité**

	$m$ en $10^{-3}$ Néper par mètre, pour des bandes d'octave avec la fréquence centrale en Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
10 °C, de 30 % à 50 % d'humidité	0,1	0,2	0,5	1,1	2,7	9,4	29,0
10 °C, de 50 % à 70 % d'humidité	0,1	0,2	0,5	0,8	1,8	5,9	21,1
10 °C, de 70 % à 90 % d'humidité	0,1	0,2	0,5	0,7	1,4	4,4	15,8
20 °C, de 30 % à 50 % d'humidité	0,1	0,3	0,6	1,0	1,9	5,8	20,3
20 °C, de 50 % à 70 % d'humidité	0,1	0,3	0,6	1,0	1,7	4,1	13,5
20 °C, de 70 % à 90 % d'humidité	0,1	0,3	0,6	1,1	1,7	3,5	10,6

NOTE Ces valeurs sont issues des tableaux de l'ISO 9613-1 avec un coefficient d'atténuation dû à l'absorption atmosphérique en décibels par kilomètre pour des bandes de tiers d'octave, en divisant les valeurs de ces tableaux par 4,343 (=  $10 \lg e$ ). Les valeurs pour les bandes d'octave sont celles pour la bande centrale de tiers d'octave inférieure à 1 kHz et celles pour la bande inférieure de tiers d'octave supérieure à 1 kHz. Les valeurs sont moyennées linéairement sur l'humidité dans la plage indiquée.

#### 4.5 Interprétations

- Le modèle est applicable à des locaux de formes régulières dans des bâtiments avec une distribution normale de matériaux absorbants et une répartition d'objets durs et d'objets absorbants, semblables à celles des locaux d'habitations ou des bureaux. Dans ces locaux, l'absorption par l'air peut être négligée et la fraction du volume est typiquement  $\Psi < 0,05$  pour des locaux vides et  $0,05 \leq \Psi \leq 0,2$  pour des locaux meublés ;
- dans les locaux contenant des équipements techniques ou des machines, la fraction de volume occupée par des objets, même des objets durs, peut être assez importante à l'instar de l'absorption par l'air. Toutefois, si la fraction du volume occupé par les objets est très importante, l'espace libre ne peut probablement pas être considéré comme un espace simple et, par conséquent, le modèle peut ne pas être valable ; voir l'Annexe D ;
- les objets durs ou les groupes d'objets ne sont importants que si leurs dimensions sont supérieures à la longueur d'onde ; les objets dont les dimensions sont inférieures à 1 m peuvent donc être normalement négligés ;
- dans les parties communes des bâtiments tels que les cages d'escalier ou les halls d'entrée, les dimensions sont telles que l'estimation de la durée de réverbération est moins fiable. Dans certains espaces, il peut être plus approprié, à toutes fins utiles, de spécifier la valeur de l'absorption plutôt que la durée de réverbération.

#### 4.6 Limites

Le modèle de calcul de l'aire d'absorption acoustique équivalente est, par définition, indépendant du type d'espace fermé, bien que la relation avec les niveaux de pression acoustique résultants dépende du type et de la forme de l'espace fermé.

Le modèle de calcul de la durée de réverbération est limité aux espaces fermés :

- contenant des volumes de formes régulières : il convient qu'aucune dimension ne soit plus de 5 fois supérieure à aucune autre ;
- ayant une absorption uniformément répartie : il convient que le coefficient d'absorption ne varie pas de plus de 3 fois entre les paires de surfaces opposées, sauf en présence d'objets diffusants ;
- ne contenant pas un trop grand nombre d'objets : il convient que la fraction d'objet soit inférieure à 0,2.

Si ces hypothèses ne sont pas vérifiées, la durée de réverbération peut souvent être supérieure aux estimations. L'Annexe D indique comment déterminer la durée de réverbération dans de telles situations.

## 5 Exactitude

L'exactitude d'un modèle de prévision dépend de nombreux facteurs : exactitude des données d'entrée, adaptation de la situation au modèle, type de matériaux, d'éléments et d'objets impliqués, géométrie de la situation et mise en œuvre. Il est donc impossible de spécifier l'exactitude des prédictions d'une manière générale quel que soit le type de situation et l'application. Il faudra recueillir des données relatives à l'exactitude en comparant les résultats obtenus avec le modèle et ceux obtenus par des mesurages *in situ* dans diverses situations. Toutefois, d'après l'expérience de terrain limitée, il a été observé que pour des situations avec une faible diffusion (due aux formes irrégulières des locaux, à une distribution irrégulière de l'absorption, à un nombre réduit d'objets diffusants ou à une faible densité modale), la durée de réverbération réelle pourrait être jusqu'à deux fois plus longue que la durée de réverbération prédite. Une diffusion accrue, par exemple en présence d'objets diffusants plus nombreux, réduit considérablement cette différence.

Lors de l'application des prévisions, il est conseillé de diversifier les données d'entrée, notamment dans les situations complexes mettant en œuvre des éléments atypiques dont les données d'entrée sont douteuses. La variation de résultats qui en découle donne une idée de l'exactitude prévue pour ces situations.

**Annexe A**  
(normative)  
**Liste des symboles**

**Tableau A.1 — Liste des symboles**

Symbole	Grandeur physique	Unité
$A$	aire d'absorption acoustique équivalente totale dans un local fermé	$m^2$
$A_{cbj}$	aire d'absorption acoustique équivalente d'un objet	$m^2$
$A_{obj,j}$	aire d'absorption acoustique équivalente de l'objet $j$	$m^2$
$A_{obj,k}$	aire d'absorption acoustique équivalente de la configuration d'objets $k$	$m^2$
$A_{obj,x}, A_{obj,y}, A_{obj,z}, A_{obj,central}$	aire d'absorption acoustique équivalente d'objets à proximité de surfaces à respectivement $x = 0, x = L, y = 0, y = B, z = 0, z = H$ et dans la partie centrale du local	$m^2$
$A_{x=L}, A_{y=B}, A_{z=H}$	aire d'absorption acoustique équivalente de la surface à $x = L, y = B, z = H$ , etc.	$m^2$
$A_{air}$	aire d'absorption acoustique équivalente par l'air	$m^2$
$A_x, A_y, A_z, A_d$	aire d'absorption acoustique équivalente pour les champs acoustiques effleurant les surfaces respectivement perpendiculaires aux axes $x, y$ et $z$ et pour le champ acoustique diffus	$m^2$
$A_s$	aire d'absorption acoustique équivalente de surfaces et d'objets contenus dans le sous-espace $s$	$m^2$
$A'_x, A'_y, A'_z, A'_d$	aire d'absorption acoustique diffusante pour coupler les champs acoustiques issus des champs effleurant $x, y$ et $z$ au champ acoustique diffus, et le champ acoustique diffus aux champs effleurants	$m^2$
$A^*_x, A^*_y, A^*_z, A^*_d$	aire d'absorption acoustique efficace pour les champs acoustiques effleurant les surfaces respectivement perpendiculaires aux axes $x, y$ et $z$ et pour le champ acoustique diffus	$m^2$
$A^*_{xyzd}$	aire d'absorption acoustique efficace dans un espace fermé en dessous de $f_t$	$m^2$
$C$	paramètre sans dimension pour un matériau absorbant ( $= \sigma / \rho_0 f$ )	—
$c_0$	vitesse du son dans l'air	$m/s$
$d$	épaisseur d'une couche de matériau absorbant	$m$
$f$	fréquence	$Hz$
$f_{réf}$	fréquence de référence ( $= 1\ 000\ Hz$ )	$Hz$
$f_t$	fréquence de transition	$Hz$
$i$	indice pour les surfaces absorbantes	—
$j$	indice pour les objets absorbants, indice pour un sous-espace	—

(à suivre)

Tableau A.1 — Liste des symboles (suite)

Symbole	Grandeur physique	Unité
$k$	indice pour un groupe d'objets absorbants, indice pour les sources, indice pour les sous-espaces	—
$k_0$	nombre d'ondes ( $= 2 \pi f / c_0$ )	$m^{-1}$
$L_{p,s}$	niveau de pression acoustique dans le sous-espace $s$	dB re 20 $\mu$ Pa
$L_{p,x}$	niveau de pression acoustique pour le champ acoustique effleurant $x$ ; le même symbole avec l'indice $y$ , $z$ et $d$ correspond aux champs acoustiques effleurant respectivement $y$ et $z$ , et au champ acoustique diffus	dB re 20 $\mu$ Pa
$L_{W,k}$	niveau de puissance acoustique de la source $k$	dB re 1 pW
$L, B, H$	longueur, largeur et hauteur d'un espace fermé rectangulaire	m
$l_{réf}$	longueur de référence ( $= 1$ m)	m
$m$	coefficient d'atténuation de puissance dans l'air	$(Np)m^{-1}$
$N_x, N_y, N_z$	nombre relatif de modes effleurant les surfaces respectivement perpendiculaires aux axes $x$ , $y$ et $z$	—
$n$	nombre de surfaces absorbantes, nombre de sous-espaces $k$	—
$o$	nombre d'objets absorbants	—
$p$	nombre de groupes d'objets absorbants	—
$p_0$	niveau de pression acoustique de référence ; $p_0 = 20 \mu$ Pa	Pa
$r$	résistivité à l'écoulement de l'air	Pa s/m <sup>2</sup>
$r_\phi$	coefficient de réflexion en pression pour une onde acoustique plane, avec un angle d'incidence $\phi$	—
$r_k$	distance de la source $k$ jusqu'au point de réception dans un sous-espace	m
$s$	nombre de sous-espaces dans un espace fermé	—
$S_i$	aire de la surface $i$	m <sup>2</sup>
$S_k$	aire de la surface couverte par le groupe d'objets $k$	m <sup>2</sup>
$S_{s,j}$	zone ouverte reliant le sous-espace $s$ au sous-espace $j$	m <sup>2</sup>
$T$	durée de réverbération	s
$T_x, T_y, T_z, T_d$	durée de réverbération pour les modes dans les directions $x$ , $y$ et $z$ et champ diffus d'un espace fermé	s
$T_{eff}$	durée de réverbération efficace dans un espace fermé en considérant les modes dans les trois directions	s
$V$	volume de l'espace fermé vide	m <sup>3</sup>

(à suivre)

Tableau A.1 — Liste des symboles (fin)

Symbole	Grandeur physique	Unité
$V_s$	volume du sous-espace s	$m^3$
$V_{cbj}$	volume d'un objet ou de la configuration d'objets	$m^3$
$V_{obj,j}$	volume de l'objet j	$m^3$
$V_{obj,k}$	volume de la configuration d'objets k	$m^3$
$W_s$	puissance acoustique, injectée dans le sous-espace s	W
$W_0$	puissance acoustique de référence ; $W_0 = 1$ picowatt	W
$w_s$	densité d'énergie sonore dans le sous-espace s	$J/m^3$
$x, y, z$	distance dans les trois directions d'un espace fermé rectangulaire	m
$Z'$	impédance de surface normalisée $\rho_0 c_0$	—
$Z'_c$	impédance caractéristique normalisée $\rho_0 c_0$ du matériau absorbant	—
$a_s$	coefficient d'absorption	—
$a_{s,i}$	coefficient d'absorption de la surface i	—
$a_{s,k}$	coefficient d'absorption du groupe spécifié d'objets k	—
$\bar{a}_s$	coefficient d'absorption moyen pour le sous-espace s	—
$a_o$	coefficient d'absorption pour une onde acoustique plane, avec un angle d'incidence $\varphi$	—
$\gamma$	exposant linéique de propagation acoustique dans le matériau absorbant	$m^{-1}$
$\delta_{x=0}$	coefficient de diffusion pour une surface à $x = 0$ ; le même symbole s'applique avec l'indice pour les surfaces correspondant respectivement à $x = L, y = 0, y = B, z = 0, z = H$	—
$\varphi$	angle d'incidence d'une onde plane	rad
$\rho_0$	densité de l'air	$kg/m^3$
$Z$	facteur d'atténuation pour divers effets d'atténuation de la propagation directe du son, comme l'interposition d'un écran ou la directivité du rayonnement	—
$\psi$	fraction d'objet	—

**Annexe B**  
(informative)

**Absorption acoustique des matériaux**

**B.1 Exemples**

Le Tableau B.1 donne les coefficients d'absorption issus de mesurages réalisés conformément à l'EN ISO 354, pour certaines surfaces courantes dans les bâtiments. Ces valeurs peuvent être considérées comme des valeurs type minimales.

**Tableau B.1 — Valeurs type pour le coefficient d'absorption**

Matériau	Coefficient d'absorption acoustique $\alpha_s$ en bandes d'octave, fréquence centrale en Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
béton, maçonnerie en briques crépies	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
maçonnerie en briques non crépies	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
revêtements de sol durs (par exemple : PVC, parquet) sur plancher lourd	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
revêtements de sol souples sur plancher lourd ; $\leq 5$ mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
revêtements de sol souples sur plancher lourd ; $\geq 10$ mm	0,04	0,08	0,15	0,30	0,45	0,55
plancher en bois, parquet en lattes	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
fenêtres, façade de verre	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
portes (bois)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
voilage ; de 0 mm à 200 mm devant une surface dure <sup>a)</sup>	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
rideau, $< 0,2$ kg/m <sup>2</sup> ; de 0 mm à 200 mm devant une surface dure ; minimum type <sup>a)</sup>	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
rideau, matériau tissé $\approx 0,4$ kg/m <sup>2</sup> ; plissé ou froissé $> 1:3$ , de 0 à 200 mm devant une surface dure ; maximum type	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00
grandes ouvertures (plus petite dimension $> 1$ m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
grille d'aération, zone ouverte 50 %	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
NOTE Ces données s'appuient sur des publications utilisées en Autriche, au Danemark et aux Pays-Bas.						
<i>a) Devant une fenêtre, les valeurs de la combinaison peuvent augmenter jusqu'à atteindre des valeurs de fenêtre nue.</i>						

## B.2 Calcul

Le coefficient d'absorption acoustique d'une couche de matériau poreux appliquée directement sur un mur dur peut être estimé en fonction de la connaissance de la résistance à l'écoulement du matériau et de l'épaisseur de la couche. La résistance à l'écoulement est mesurée conformément à l'EN 29053 [3].

Pour un champ acoustique diffus, le coefficient d'absorption  $a_s$  peut être déterminé comme suit :

$$a_s = \int_0^{\pi/2} a_\phi \sin 2\phi d\phi$$

$$a_\phi = 1 - |r_\phi|^2 \quad \dots (B.1)$$

$$r_\phi = \frac{Z' \cos \phi - 1}{Z' \cos \phi + 1}$$

où :

- $\phi$  est l'angle d'incidence, en radians ;
- $a_\phi$  est le coefficient d'absorption pour une onde acoustique plane, avec un angle d'incidence  $\phi$  ;
- $r_\phi$  est le coefficient de réflexion en pression pour une onde acoustique plane, avec un angle d'incidence  $\phi$  ;
- $Z'$  est l'impédance de surface normalisée  $\rho_0 c_0$  de la couche.

L'impédance de surface normalisée de la couche pour un matériau réagissant localement, appliqué directement sur un mur dur, peut être déterminée comme suit :

$$Z' = Z'_c \coth \gamma d \quad \dots (B.2)$$

où :

- $\gamma$  est l'exposant linéique de propagation acoustique dans le matériau absorbant, en radians par mètre ;
- $d$  est l'épaisseur de la couche, en mètres ;
- $Z'_c$  est l'impédance acoustique caractéristique normalisée  $\rho_0 c_0$  du matériau absorbant.

Pour divers matériaux absorbants, l'impédance acoustique normalisée du matériau  $W$  et l'exposant linéique de propagation acoustique  $\gamma$  peuvent être déduits de la résistivité à l'écoulement  $r$  du matériau par des relations empiriques et en prenant  $C$  et le nombre d'ondes  $k_0$  comme paramètres :

$$C = \frac{r}{\rho_0 f}$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c_0} \quad \dots (B.3)$$

où :

- $r$  est la résistivité à l'écoulement de l'air, en pascals-secondes par mètre carré ;
- $f$  est la fréquence, en hertz ;
- $\rho_0$  est la densité de l'air ( $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ ), en kilogrammes par mètre cube ;
- $c_0$  est la vitesse du son dans l'air ( $\approx 343 \text{ m/s}$ ), en mètres par seconde.

Dans ces relations, l'influence du temps sur les grandeurs variables en fonction du temps est supposée égale à  $e^{-i2\pi f t}$ .

Pour les matériaux fibreux, ces relations sont les suivantes [1], [4] :

$$Z'_c = \left(1 + 0,0571 C^{0,754}\right) - i\left(0,087 C^{0,732}\right)$$

$$\gamma = k_0 \left(0,189 C^{0,595}\right) + i k_0 \left(1 + 0,0978 C^{0,700}\right) \quad \dots (B.4a)$$

Pour les mousses à cellules ouvertes, ces relations sont les suivantes [2] :

$$Z'_c = \left(1 + 0,114 C^{0,369}\right) - i\left(0,0985 C^{0,758}\right) \quad \dots \text{(B.4b)}$$

$$\gamma = k_o\left(0,168 C^{0,715}\right) + ik_o\left(1 + 0,136 C^{0,494}\right)$$

Chacune de ces relations possède sa propre plage de validité pour le paramètre  $C$ . Pour des valeurs élevées de  $C$ , ces relations engendrent des résultats erronés. Pour de telles valeurs, il est théoriquement possible d'obtenir une meilleure estimation par [4] :

$$Z'_c = \sqrt{1,11 - i - 0,12 C}$$

$$\gamma = ik_o 1,33 Z'_c \quad \dots \text{(B.4c)}$$

Pour les mousses à cellules ouvertes et les matériaux fibreux, les résultats pour des valeurs continues de  $C$  sont obtenus en utilisant les équations de la manière suivante :

- $C < 0,25$  : équations B.4b
- $0,25 \leq C \leq 80$  : équations B.4a
- $C > 80$  : équations B.4c

Ces types de prédictions peuvent également être appliqués à des éléments absorbants multicouches ou à des matériaux absorbants avec doublage par un vide d'air ; voir la Bibliographie [4].

## Annexe C (informative) Absorption acoustique d'objets

Pour certains objets et configurations d'objets courants, l'aire d'absorption acoustique équivalente et le coefficient d'absorption acoustique mesurés conformément à l'EN ISO 354 sont donnés dans les Tableaux C.1 et C.2. Ces valeurs peuvent être considérées comme des valeurs type.

**Tableau C.1 — Valeurs type de l'aire d'absorption acoustique équivalente pour certains objets courants**

Objet	Aire d'absorption acoustique équivalente $A_{obj}$ en bandes d'octave, fréquence centrale en Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
une chaise en bois	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
une chaise rembourrée	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35
une personne dans un groupe, assise ou debout, 1 par zone de 6 m <sup>2</sup> : minimum type	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
une personne dans un groupe, assise, 1 par zone de 6 m <sup>2</sup> ; maximum type	0,12	0,45	0,80	0,90	0,95	1,00
une personne dans un groupe, debout, 1 par zone de 6 m <sup>2</sup> ; maximum type	0,12	0,45	x0,80	1,20	1,30	1,40

NOTE Ces données s'appuient sur des publications utilisées en Autriche, au Danemark et aux Pays-Bas.

**Tableau C.2 — Valeurs type du coefficient d'absorption acoustique pour certains groupes d'objets courants**

Groupe d'objets	Coefficient d'absorption acoustique $a_s$ en bandes d'octave, fréquence centrale en Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
une rangée de chaises espacées de 0,9 m à 1,2 m : en bois/plastique	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
une rangée de chaises espacées de 0,9 m à 1,2 m : rembourrées ; minimum type	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50
une rangée de chaises espacées de 0,9 m à 1,2 m ; rembourrées ; maximum type	0,50	0,70	0,80	0,90	1,0	1,0
une rangée de personnes assises espacées de 0,9 m à 1,2 m (spectateurs) ; minimum type	0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
une rangée de personnes assises espacées de 0,9 m à 1,2 m (spectateurs) ; maximum type	0,60	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90
des enfants dans une salle de classe très meublée, 1 par zone de 1 m <sup>2</sup>	0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,40

NOTE Ces données s'appuient sur des publications utilisées en Autriche, au Danemark et aux Pays-Bas.

## Annexe D (informative)

### Estimation pour les espaces de formes irrégulières et/ou en cas de distribution irrégulière de l'absorption

#### D.1 Introduction

Si la distribution de l'absorption de l'espace fermé est irrégulière, si les formes de ce dernier sont irrégulières ou s'il contient en grande partie des machines et des équipements, la prédiction de la durée de réverbération selon le modèle de calcul de l'Article 4 peut être erronée ou inappropriée. Cette annexe indique des moyens possibles d'améliorer les prédictions dans ces situations. Les deux situations fondamentales considérées sont (a) les espaces rectangulaires dont la distribution de l'absorption est irrégulière et (b) les espaces de formes irrégulières, soit de par leur conception, soit de par la présence de nombreux objets dans l'espace vide (fraction d'objet nettement supérieure à 0,2).

#### D.2 Distribution irrégulière de l'absorption

Les espaces essentiellement rectangulaires dont la distribution de l'absorption est irrégulière sont très répandus. Dans de nombreux bureaux, l'absorption n'est appliquée qu'au plafond, toutes les autres surfaces étant assez réfléchissantes. Bien que des publications aient présenté diverses propositions afin de remédier à ce problème, aucune ne semble fonctionner correctement dans toutes les situations. Une solution rationnelle consiste à diviser le champ acoustique en parties effleurant les différentes surfaces et en une partie non-effleurante [5]. Les différents effets des matériaux absorbants pour ces différents champs acoustiques et les effets des éléments diffusants sur le mélange des champs acoustiques sont pris en compte en considérant l'équilibre des puissances entre les champs acoustiques. Cette annexe apporte une estimation pratique basée sur ce modèle mais en utilisant les données d'absorption mesurées selon des méthodes normalisées.

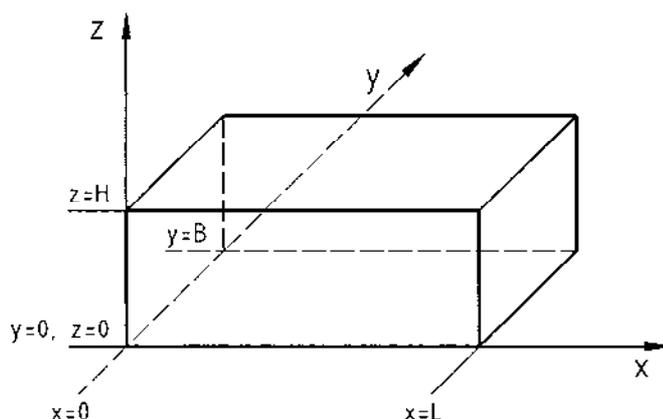


Figure D.1 — Définition des dimensions pour un espace rectangulaire

Les dimensions du local sont définies comme sur la Figure D.1 pour un local dont le volume  $V = L \times B \times H \text{ m}^3$ . Pour les fréquences supérieures, le champ acoustique total est divisé en trois champs effleurant les surfaces perpendiculaires respectivement aux axes x, y et z, et en un champ diffus. L'absorption efficace et la durée de réverbération correspondante sont déterminées pour chacun de ces champs. L'importance de chacun de ces champs acoustiques est déterminée par le nombre de modes existant dans les champs déduits des dimensions des locaux. Pour les fréquences inférieures, le champ acoustique total est considéré avec un effet d'absorption réduit dû au manque de diffusion de ces fréquences dans le local.

La transition entre les fréquences supérieures et inférieures est déterminée en comparant la fréquence centrale de la bande d'octave avec la fréquence de transition donnée par :

$$f_t = \frac{8,7c_o}{V^{1/3}} \quad \dots (D.1)$$

L'aire d'absorption acoustique équivalente  $A$  d'une surface est déduite des données d'absorption obtenues en 4.3 en ne considérant que la surface spécifique et en négligeant tout objet présent. L'aire d'absorption acoustique équivalente des objets considérés  $A_{obj}$  est aussi déduite des données d'absorption obtenues en 4.3. L'absorption des surfaces du local et l'absorption par les différents objets sont appliquées aux champs acoustiques considérés tels que décrits dans cette annexe. En outre, un coefficient de diffusion  $\delta$  peut être attribué aux surfaces du local pour indiquer la fraction de l'énergie réfléchiée de manière diffuse ; sa valeur peut aller de 0,0 à 1,0. Même si peu de données sont actuellement disponibles sur ce coefficient, une estimation globale peut être utilisée pour se faire une idée de l'effet de la diffusion sur les résultats dans des situations spécifiques.

NOTE 1 Le coefficient de diffusion tient compte des irrégularités des surfaces planes. Pour les surfaces planes dures, la valeur type est inférieure ou égale à 0,05, mais pour les murs avec retraits comme les façades, la valeur type pour les fréquences moyennes et supérieures peut aller de 0,4 à 0,6.

Le nombre de modes relatif donné par l'équation D.2 indique la contribution de chaque champ acoustique :

$$N_x = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(B+H)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2} BH \right] \frac{c_o^3}{4\pi f^2 V}$$

$$N_y = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(L+H)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2} LH \right] \frac{c_o^3}{4\pi f^2 V} \quad \dots (D.2)$$

$$N_z = 0,14 + 1,43 \left[ \frac{(L+B)}{2c_o} + \frac{\pi f}{c_o^2} LB \right] \frac{c_o^3}{4\pi f^2 V}$$

L'aire d'absorption acoustique équivalente pour les champs acoustiques effleurants  $A_x$ ,  $A_y$  et  $A_z$  et l'aire d'absorption acoustique équivalente  $A_d$  pour le champ diffus dues aux surfaces du local et à l'absorption par l'air peuvent être déterminées par les équations de D.3a à D.3d :

$$A_x = \frac{c_o^2}{2f^2 L^2} (A_{x=0} + A_{x=L}) \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + [A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + \pi mV \quad \dots (D.3a)$$

$$A_y = \frac{c_o^2}{2f^2 B^2} (A_{y=0} + A_{y=B}) \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{z=0} + A_{z=H}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + \pi mV \quad \dots (D.3b)$$

$$A_z = \frac{c_o^2}{2f^2 H^2} (A_{z=0} + A_{z=H}) \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + [A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B}] \sqrt{2} \left( \frac{f}{f_{réf}} \right)^{1/3} + \pi mV \quad \dots (D.3c)$$

$$A_d = (A_{x=0} + A_{x=L} + A_{y=0} + A_{y=B} + A_{z=0} + A_{z=H}) + 4mV \quad \dots (D.3d)$$

où :

$A_{x=0}$ ,  $A_{x=L}$  est respectivement l'aire d'absorption acoustique équivalente de la surface  $x = 0$  et  $x = L$ , en mètres carrés.

NOTE 2 Les indices  $y$  et  $z$  indiquent les mêmes grandeurs associées aux surfaces perpendiculaires aux axes  $y$  et  $z$ .

$f_{réf}$  est la fréquence de référence, en Hz ;  $f_{réf} = 1\ 000$  Hz.

Les différents champs acoustiques sont couplés par les effets diffusants des surfaces et par les effets diffusants et absorbants des objets. Ceci est exprimé dans l'aire d'absorption acoustique diffusante  $A'_x$ ,  $A'_y$ ,  $A'_z$  et  $A'_d$  pour chaque champ acoustique et peut être déterminé par les équations de D.4a à D.4d :

$$A'_x = \left[ LH(\delta_{y=0} + \delta_{y=B}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H}) \right] + A_{\text{obj},y} + A_{\text{obj},z} + A_{\text{obj},\text{central}} \quad \dots \text{(D.4a)}$$

$$A'_y = \left[ BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=B}) + LB(\delta_{z=0} + \delta_{z=H}) \right] + A_{\text{obj},x} + A_{\text{obj},z} + A_{\text{obj},\text{central}} \quad \dots \text{(D.4b)}$$

$$A'_z = \left[ BH(\delta_{x=0} + \delta_{x=B}) + LH(\delta_{y=0} + \delta_{y=H}) \right] + A_{\text{obj},x} + A_{\text{obj},y} + A_{\text{obj},\text{central}} \quad \dots \text{(D.4c)}$$

$$A'_d = \sum_{\text{tous}} A_{\text{obj}} + N_x A'_x + N_y A'_y + N_z A'_z \quad \dots \text{(D.4d)}$$

où :

$\delta_{x=0}$ ,  $\delta_{x=L}$  est respectivement le coefficient de diffusion de la surface  $x = 0$  et  $x = L$  ;

$A_{\text{obj}}$  est l'aire d'absorption acoustique équivalente d'un objet, en mètres carrés ;

$A_{\text{obj},x}$  est l'aire d'absorption acoustique équivalente des objets associés aux surfaces pour  $x = 0$  et  $x = L$ , en mètres carrés ;

$A_{\text{obj},\text{central}}$  est l'aire d'absorption acoustique équivalente des objets présents dans l'espace central, en mètres carrés.

NOTE 3 Les indices y et z indiquent les mêmes grandeurs associées aux axes y et z.

L'aire d'absorption acoustique efficace pour chaque champ acoustique peut être déterminée d'après les équations D.5a et D.5b :

$$A_d^* = \frac{A_d + A'_d - N_x A_x'^2 / (A_x + A'_x) - N_y A_y'^2 / (A_y + A'_y) - N_z A_z'^2 / (A_z + A'_z)}{1 + N_x A_x' / (A_x + A'_x) + N_y A_y' / (A_y + A'_y) + N_z A_z' / (A_z + A'_z)} \quad \dots \text{(D.5a)}$$

$$A_x^* = \frac{A_x + A'_x}{1 + A_x' / A_d^*}; \quad A_y^* = \frac{A_y + A'_y}{1 + A_y' / A_d^*}; \quad A_z^* = \frac{A_z + A'_z}{1 + A_z' / A_d^*} \quad \dots \text{(D.5b)}$$

L'aire d'absorption acoustique efficace pour le champ acoustique total  $A_{\text{xyzd}}^*$  pour les fréquences inférieures ( $f < f_1$ ) peut être déterminée d'après l'équation D.6a :

$$A_{\text{xyzd}}^* = \left( \overline{A_{x=0}} + \overline{A_{x=L}} + \overline{A_{y=0}} + \overline{A_{y=B}} + \overline{A_{z=0}} + \overline{A_{z=H}} \right) + \sum A_{\text{obj}} + 4mV \quad \dots \text{(D.6a)}$$

en réduisant l'efficacité de l'absorption des surfaces désignée par  $\bar{A}$  pour chaque indice x, y et z de :

$$\bar{A} = A e^{-A/S} \quad \dots \text{(D.6b)}$$

où A et S sont respectivement l'aire d'absorption acoustique équivalente et l'aire de la surface considérée.

La durée de réverbération pour chaque champ acoustique x, y, z et d est donnée par l'équation D.7 :

$$T_x = \frac{55,3 V(1-\psi)}{c_0 A_x^*}; \quad T_y = \frac{55,3 V(1-\psi)}{c_0 A_y^*}; \quad T_z = \frac{55,3 V(1-\psi)}{c_0 A_z^*}; \quad T_d = \frac{55,3 V(1-\psi)}{c_0 A_d^*} \quad \dots \text{(D.7)}$$

Le niveau acoustique relatif à  $t = 0$  s pour chaque champ acoustique  $x$ ,  $y$ ,  $z$  et  $d$  peut être déterminé comme suit :

$$L_{p,d} = -10 \lg \left( 1 + N_x \frac{A_d^*}{A_x^*} + N_y \frac{A_d^*}{A_y^*} + N_z \frac{A_d^*}{A_z^*} \right) \quad \dots (D.8a)$$

$$L_{p,x} = L_{p,d} + 10 \lg \left( N_x \frac{A_d^*}{A_x^*} \right); \quad L_{p,y} = L_{p,d} + 10 \lg \left( N_y \frac{A_d^*}{A_y^*} \right); \quad L_{p,z} = L_{p,d} + 10 \lg \left( N_z \frac{A_d^*}{A_z^*} \right) \quad \dots (D.8b)$$

Si les différences entre les quatre durées de réverbération de l'équation D.7 sont faibles, la durée de réverbération du champ diffus peut être considérée comme une bonne estimation pour la situation considérée. Dans le cas contraire, la durée de réverbération est probablement plus longue et la courbe de décroissance n'est plus monotone. Une estimation plus réaliste de  $T_{20}$  peut être calculée d'après la moyenne des durées de réverbération efficaces selon l'équation D.9a pour les fréquences supérieures. Cette estimation de la durée de réverbération ne peut toutefois être plus courte que celle du champ diffus.

$$T_{\text{estimation}} = \frac{(T_x + T_y + T_z + T_d)}{4} \geq T_d \quad \dots (D.9a)$$

Pour les fréquences inférieures ( $f < f_1$ ), l'estimation est donnée par l'équation D.9b :

$$T_{\text{estimation}} = \frac{55.3 V(1 - \psi)}{c_0 A_{xyzd}^*} \quad \dots (D.9b)$$

### D.3 Espaces de formes irrégulières

Pour les espaces de formes très irrégulières ou les espaces très exigus, la durée de réverbération n'est pas constante dans l'ensemble de l'espace, comme c'est le cas pour des objets nombreux et/ou de grandes dimensions dans un espace de forme régulière. Toutefois, en présence de nombreux équipements et machines, la durée de réverbération est moins importante que les niveaux de pression acoustique dans les différentes parties du local. Ces niveaux de pression acoustique dépendent de la distribution et de la puissance acoustique des sources ainsi que de la distribution de l'absorption. Dans ce cas, une estimation des niveaux de pression acoustique peut être basée sur une approche où l'espace total est divisé en sous-espaces réguliers. Le niveau de pression acoustique est estimé pour chaque sous-espace par le champ acoustique direct issu des sources dans ce sous-espace et par la contribution de la distribution de la puissance acoustique dans tous les sous-espaces [6]. La distribution de la puissance acoustique est tributaire de la puissance acoustique injectée dans le champ réverbéré par les sources dans chaque sous-espace, de l'aire d'absorption acoustique équivalente pour chaque sous-espace et de l'équilibre des puissances entre tous les sous-espaces connectés.

NOTE Cette approche pourrait être utilisée pour le prEN 12354-5 [9] et sera développée suivant les modalités ci-dessous, autant pour les versions ultérieures de la Partie 6 que pour le prEN 12354-5 [9].

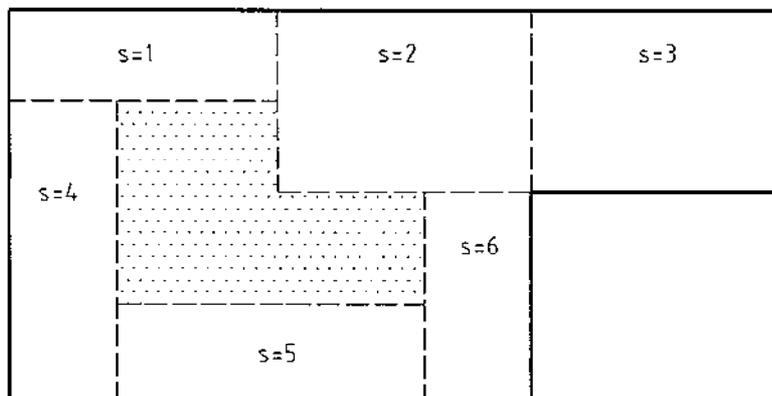


Figure D.2 — Illustration d'un espace de forme irrégulière et de sa division en sous-espaces de  $s = 1$  à  $s = 6$

L'aire d'absorption acoustique équivalente dans chaque sous-espace de volume  $V_s$  est calculée selon 4.3, avec l'hypothèse que  $\alpha = 1$  pour toutes les surfaces ouvertes  $S_{sj}$  entre  $s$ , le sous-espace considéré, et les  $n$  sous-espaces connectés  $j$ . La relation suivante est valable pour chaque sous-espace  $s$  contenant  $k$  sources sonores avec un niveau de puissance acoustique  $L_{W,k}$  :

$$W_s = c_o w_s A_s - \sum_{i \neq s} c_o w_i S_{si} \quad \dots \text{ (D.10a)}$$

avec

$$w_s = (1 - \bar{\alpha}_s) W_o \sum_k 10^{L_{W,k}/10} \quad \dots \text{ (D.10b)}$$

où :

- $W_s$  est la puissance acoustique injectée dans le champ réverbéré par des sources dans le sous-espace  $s$ , en watts ;
- $W_o$  est la puissance acoustique de référence en watts,  $W_o = 1$  picowatt ;
- $w_s$  est la densité d'énergie sonore dans le sous-espace  $s$ , en joules par mètre cube ;
- $A_s$  est l'aire d'absorption acoustique équivalente dans le sous-espace  $s$  des surfaces, des ouvertures, des objets et de l'air, en mètres carrés ;
- $S_{s,j}$  est l'aire ouverte de raccordement entre le sous-espace  $s$  et le sous-espace  $j$ , en mètres carrés ;
- $n$  est le nombre de sous-espaces  $k$ , connectés au sous-espace  $s$  ;
- $L_{W,k}$  est le niveau de puissance acoustique de la source  $k$  dans le sous-espace  $s$ , en dB re 1 picowatt ;
- $\alpha_s$  est le coefficient d'absorption acoustique moyen pour le sous-espace  $s$ , en tenant compte de toute l'absorption (c'est-à-dire surfaces, ouvertures, objets, air).

La densité d'énergie sonore  $w_s$  dans chaque sous-espace est calculée en résolvant l'équation D.10a avec les niveaux de pression acoustique et l'absorption donnés, par exemple par inversion de matrice. Le niveau de pression acoustique,  $L_{p,s}$ , en certaines positions dans chaque sous-espace, est ainsi déterminé en tenant compte de la transmission directe du son jusqu'au point de réception à partir des sources  $k$  à une distance  $r_k$  et des facteurs d'atténuation appropriés résultant des effets comme l'interposition d'un écran ou la directivité du rayonnement :

$$L_{p,s} = 101 g \frac{\rho_o c_o}{\rho_o^2} \left[ 4 c_o w_s + \sum_k \frac{W_o}{4 \pi r_k^2} \chi_k \times 10^{L_{W,k}/10} \right] \quad \dots \text{ (D.11)}$$

où :

- $L_{p,s}$  est le niveau de pression acoustique dans le sous-espace  $s$ , en dB re 20  $\mu$ pascais ;
- $p_p$  est le niveau de pression acoustique de référence, en pascais ;  $p_o = 20$   $\mu$ pascais ;
- $r_k$  est la distance entre la source  $k$  et le point de réception dans le sous-espace  $k$ , en mètres ;
- $\chi_k$  est le facteur d'atténuation représentant plusieurs effets d'atténuation pendant la propagation du son, tels que l'interposition d'un écran ou la directivité du rayonnement de la source  $k$  jusqu'au point de réception.

## Annexe E (informative) Exemple de calcul

Soit un local de dimensions (longueur, largeur, hauteur)  $4,54 \times 2,73 \times 2,40 = 29,75 \text{ m}^3$ .

Le plancher et le plafond sont en béton, un mur (mur long) et les deux murs latéraux (murs courts) sont en maçonnerie en briques non crépies et la surface restante est une façade de verre. Le plancher a un revêtement de sol dur. Considérer la bande d'octave de 1 000 Hz.

### Cas 1 : local vide, nu

Conformément à l'Annexe B, les coefficients d'absorption pour les surfaces sont  $a_{\text{plancher}} = 0,05$ ,  $a_{\text{plafond}} = 0,02$ ,  $a_{\text{mur l}} = 0,04$ ,  $a_{\text{mur latéral}} = 0,04$  et  $a_{\text{façade}} = 0,04$ . En considérant la bande d'octave de 1 000 Hz et le volume, l'absorption par l'air peut être négligée ( $A_{\text{air}} = 0 \text{ m}^2$ ). Avec ces données, l'équation (1) donne une aire d'absorption acoustique équivalente  $A = 12,39 \times 0,05 + 12,39 \times 0,02 + 10,90 \times 0,04 + 10,90 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 = 2,26 \text{ m}^2$ , arrondie à  $A = 2,3 \text{ m}^2$ . Avec l'équation (5), la durée de réverbération résultante devient  $T = 0,16 \cdot 29,75/2,26 = 2,1 \text{ s}$ .

NOTE Dans ce cas,  $A_{\text{air}} = 0,12 \text{ m}^2$  dans des conditions normales ; la durée de réverbération serait donc de 2,0 s.

### Cas 2 : cas 1 avec des objets (durs)

En ajoutant une table ( $0,15 \text{ m}^3$ ), un bureau ( $0,60 \text{ m}^3$ ), deux chaises ( $2 \times 0,05 \text{ m}^3$ ) et deux placards ( $2 \times 0,65 \text{ m}^3$ ) dans le local, la fraction de volume devient  $\psi = 0,072$ , tandis que l'absorption par ces objets durs est estimée à  $\Sigma A_{\text{obj}} = 0,15^{2/3} + 0,60^{2/3} + 2 \times 0,05^{2/3} + 2 \times 0,65^{2/3} = 2,77 \text{ m}^2$ .

Par conséquent, l'aire d'absorption acoustique équivalente devient  $A = 2,26 + 2,77 = 5,03 \text{ m}^2$ , arrondie à  $A = 5,0 \text{ m}^2$ , et la durée de réverbération  $T = 0,16 \cdot 29,75 / (1 - 0,072) / 5,03 = 0,9 \text{ s}$ .

### Cas 3 : cas 1 avec un mur absorbant

Un long mur est revêtu sur 90 % de son aire d'un matériau absorbant présentant un coefficient d'absorption de  $a_s = 0,85$ . L'aire d'absorption acoustique équivalente devient donc :

$A = 12,39 \times 0,05 + 12,39 \times 0,02 + (1,09 \times 0,04 + 9,81 \times 0,85) + 10,90 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 + 6,55 \times 0,04 = 10,21 \text{ m}^2$ , arrondie à  $A = 10,2 \text{ m}^2$ .

Avec l'équation (5), la durée de réverbération résultante devient  $T = 0,16 \cdot 29,75/10,21 = 0,5 \text{ s}$ .

Puisque deux murs opposés diffèrent considérablement quant à l'absorption et qu'il n'y a pas d'objets diffusants, ce cas se situe en fait en dehors des limites d'application du modèle. Dans ce cas, une indication de la durée de réverbération pourrait être tirée de l'Annexe D. Selon D.2, les durées de réverbération pour les quatre champs acoustiques deviendraient alors, sans diffusion supplémentaire par les surfaces ou les objets : (équation D.3)  $A_x^* = 13,69 \text{ m}^2$  ;  $A_y^* = 2,04 \text{ m}^2$  ;  $A_z^* = 13,22 \text{ m}^2$  et  $A_d^* = 10,21 \text{ m}^2$ . Les durées de réverbération correspondantes (équation D.6) sont  $T_x = 0,35 \text{ s}$  ;  $T_y = 2,34 \text{ s}$  ;  $T_z = 0,36 \text{ s}$  et  $T_d = 0,47 \text{ s}$ , ce qui donne une durée de réverbération efficace  $T_{\text{eff}} = 0,9 \text{ s}$  (équation D.8).  $T_y$  étant près de cinq fois plus longue que la durée la plus courte, ceci représente probablement la meilleure estimation de la durée de réverbération réelle ( $T_{20}$ ) dans ce cas.

## Bibliographie

- [1] Delany, M.E. & E.N. Bazley, Acoustical properties of fibrous absorbent materials, *Applied Acoustics* **3** (1970), 105.
- [2] Dunn, I.P. & W.A. Davern, Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers, *Applied Acoustics* **19** (1986), 321.
- [3] EN 29053, *Acoustique — Matériaux pour applications acoustiques — Détermination de la résistance à l'écoulement de l'air* (ISO 9053:1991).
- [4] Mechel, F.P. *Schallabsorber band II*, S.Hirzel Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1995.
- [5] Nilsson, E., Decay process in rooms with non-diffuse sound fields, Report TVBA-1004, Lund Institute of Technology, May 1992.
- [6] Timmermans, N.S., Application of coupled interior space noise prediction to compact shipboard power plants, *Internoise '80*, Miami 1980.
- [7] EN ISO 11654, *Acoustique — Absorbants pour l'utilisation dans les bâtiments — Évaluation de l'absorption acoustique* (ISO 11654:1997).
- [8] EN ISO 140-4, *Acoustique — Mesurage de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction — Partie 4 : Mesurage in situ de l'isolement aux bruits aériens entre les pièces* (ISO 140-4:1998).
- [9] prEN 12354-5, *Acoustique du bâtiment — Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments — Partie 5 : Bruit émis par les installations et équipements techniques.*
- [10] prEN ISO 3382-2, *Acoustique — Mesurage de la durée de réverbération — Partie 2 : Salles ordinaires.*