

FORMATION BATIMENT DURABLE

ACOUSTIQUE : CONCEPTION
ET MISE EN OEUVRE

PRINTEMPS 2024

Réverbération et correction acoustique
Théorie, solutions pratiques et matériaux

Debby WUYTS



Intégrer le confort acoustique dans les bâtiments

- ▶ Approche acoustique globale dans un immeuble-type



Cinq thèmes à aborder

- ▶ Bruit des installations
- ▶ Isolation contre les bruits aériens
- ▶ Isolation acoustique de la façade
- ▶ Isolation contre les bruits d'impact
- ▶ **Contrôle de la réverbération**

Définition :

Une maîtrise de la réverbération réduit le **bruit** et améliore le **confort d'écoute** dans la pièce. En agissant sur la **conception et l'aménagement**, il est possible d'adapter l'expérience acoustique de la pièce à son utilisation.





- ▶ Maîtrise **des paramètres, des ordres de grandeur et des objectifs normatifs** pour adapter la qualité acoustique de la pièce à son utilisation
- ▶ Compréhension des différents **mécanismes d'absorption** des matériaux de finition qui permettent de traiter l'acoustique de la pièce sur **l'ensemble du domaine de fréquence**
- ▶ Interprétation correcte des **fiches techniques** des matériaux d'absorption acoustique et de leurs applications
- ▶ Estimation de l'influence sur le **temps de réverbération** dans une pièce sur base de ses matériaux de finition à l'aide de la formule de Sabine
- ▶ Compréhension de **règles empiriques et de directives** simples pour la conception acoustique de **salles de classe, de réfectoires et de bureaux paysagers**



MATÉRIAUX D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

- ▶ **Absorption / Isolation**
- ▶ **Coefficient d'absorption acoustique**
- ▶ **Mécanismes d'absorption**
- ▶ **Exemples d'application**

ABSORPTION ACOUSTIQUE DANS LA PIÈCE

- ▶ Absorption totale dans la pièce
- ▶ Temps de réverbération
- ▶ Expérience acoustique de la pièce

EXIGENCES DE PERFORMANCE DANS LES BÂTIMENTS

- ▶ Exigences normatives
- ▶ Exemples de calcul

DIRECTIVES POUR LA CONCEPTION ACOUSTIQUE DU LOCAL

- ▶ Salles de classe
- ▶ Réfectoires
- ▶ Bureaux paysagers



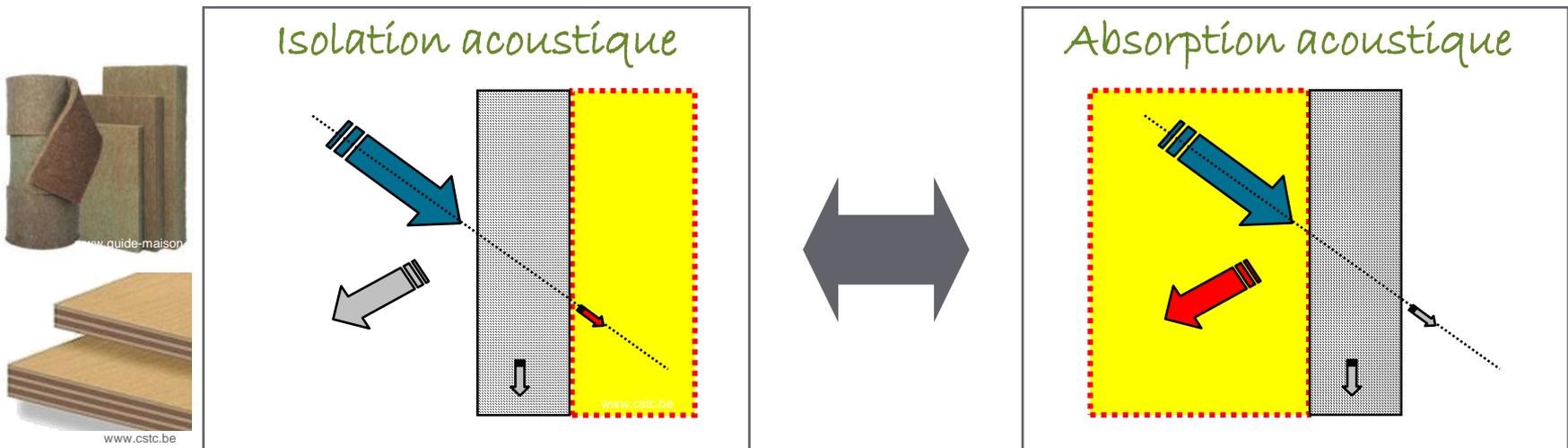
Laine de verre : très absorbant, peu isolant

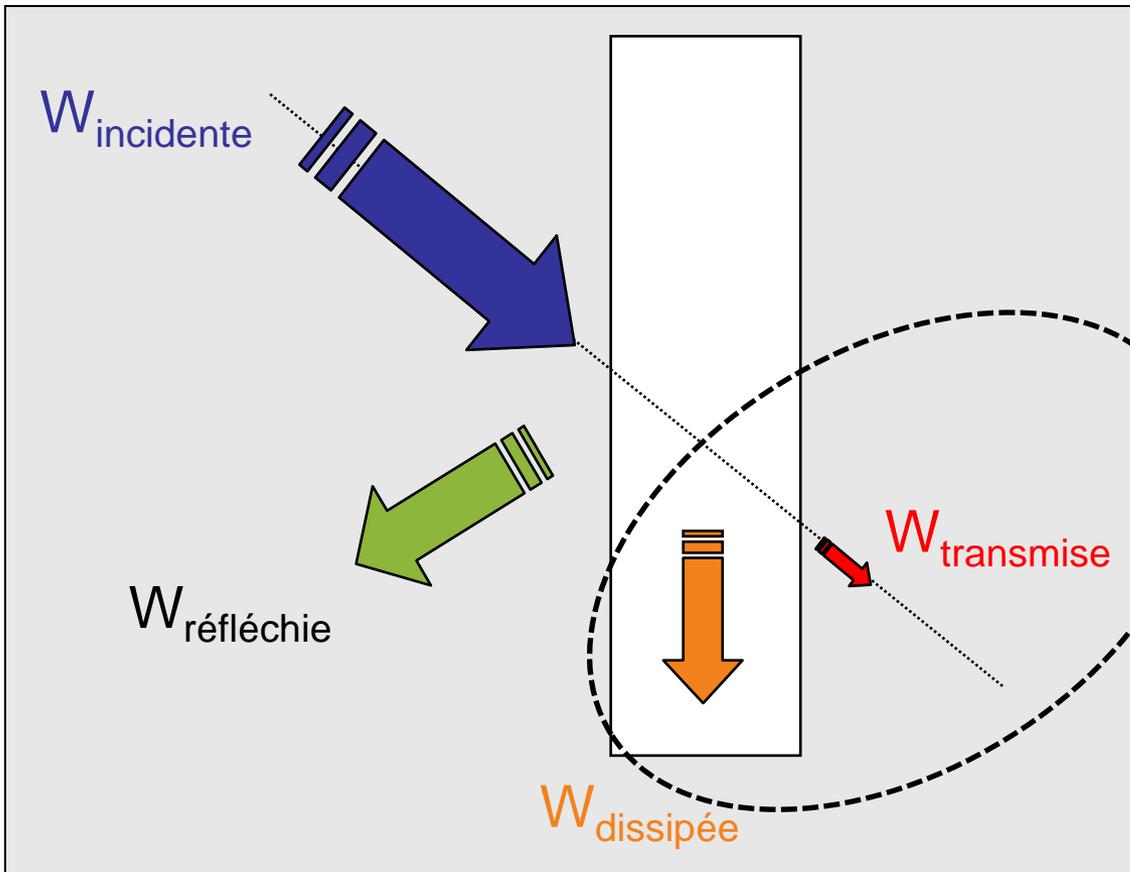
- ▶ Isolation : 5 dB
- ▶ Absorption : 0,65

Multiplex : peu absorbant, isolation moyenne

- ▶ Isolation : 29 dB
- ▶ Absorption : 0,2

Deux traitements acoustiques différents...



Caractéristique de matériau α [-]

$$\alpha = W_{\text{absorbée}} / W_{\text{incidente}}$$

$W_{\text{absorbée}}$

= **absorbée** puissance acoustique, due à la **transmission à travers** le matériau et à la **dissipation dans** le matériau

= **puissance non réfléchié**

$\alpha = 0,10 \rightarrow 10\%$ absorbée

$\alpha = 0,50 \rightarrow 50\%$ absorbée

$\alpha = 1,00 \rightarrow 100\%$ absorbée

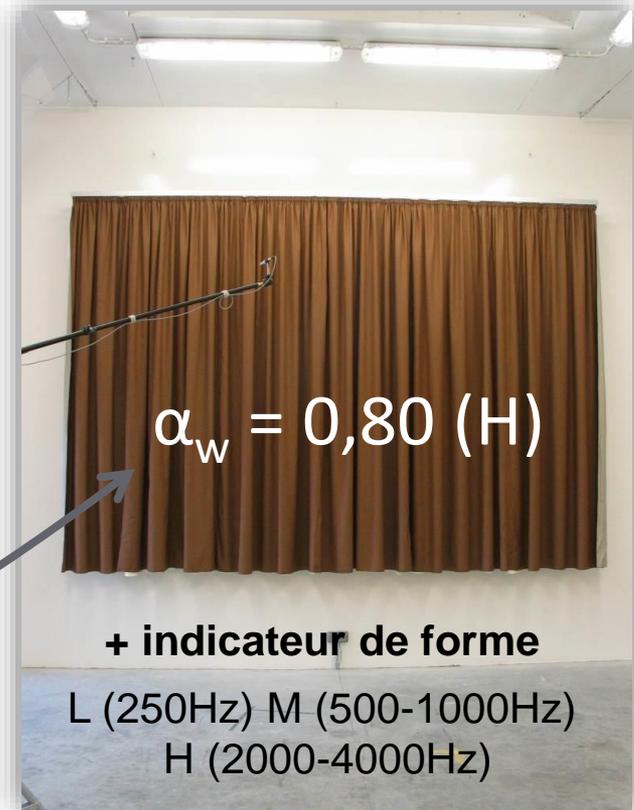
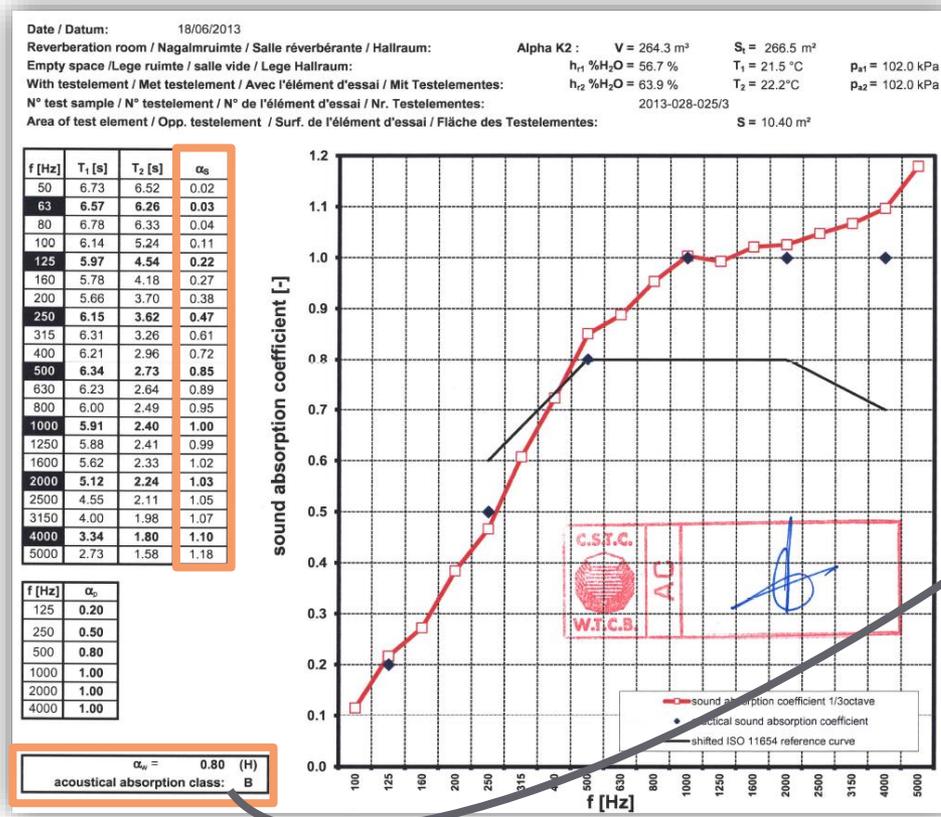
$$W_{\text{incidente}} = W_{\text{transmise}} + W_{\text{dissipée}} + W_{\text{réfléchié}}$$



COEFFICIENT D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

Valeur unique pondérée α_w

α_s « coefficient d'absorption acoustique » [50-5000 Hz] (mesuré selon ISO 354 en chambre réverbérante)



α_w « coefficient d'absorption acoustique pondéré » (valeur unique calculée selon ISO 11654)



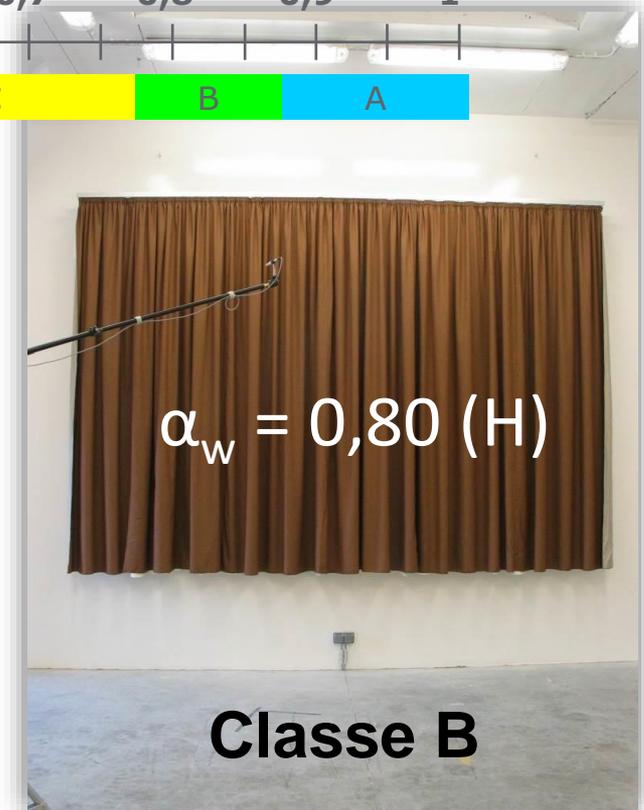
COEFFICIENT D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

Classe d'absorption acoustique



Classe d'absorption acoustique	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Non classé	0,10; 0,05; 0,00

Extrait ISO 11654 (1997), annexe informative B



FICHES TECHNIQUES

ACOUSTIC PANEL 1250 x 625 mm – directement sur support

f (Hz)	Class	NRC	α_w	125	250	500	1000	2000	4000
ap ACOUSTIC PANEL 60 mm	A	0.95	0.95	0.30	0.75	1.00	1.00	0.90	0.90

Testé suivant DIN EN ISO 354

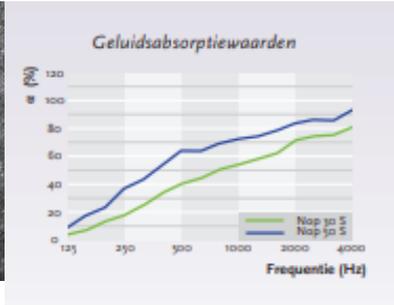
PRECISION

- Classe (A – E)
- α_w (0,05) valeur globale
- Indicateur de forme L, M, H
- α_p (0,05) par bande d'octave (125-4000 Hz)
- α_s (0,01) par tiers de bande

GELUIDSABSORPTIE

- 30 mm: NRC 0,45; α_w 0,45.
- 50 mm: NRC 0,60; α_w 0,65.

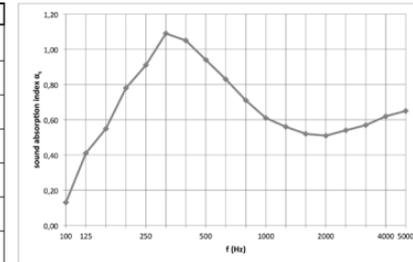
NRC en α_w -waarden van andere dikten op aanvraag. De geluidsabsorptie wordt weergegeven in de grafiek. De geluidsabsorptiewaarden zijn gemeten volgens EN 354: 2003.



TEST SETUP IN LAB: WALLS

TOTAL THICKNESS 88 mm

f(Hz)	T1 (s)	T2 (s)	α_s
50			
63			
80			
100	7,36	5,14	0,13
125	8,98	3,79	0,41
160	9,81	3,21	0,55
200	10,03	2,54	0,78
250	8,57	2,17	0,91
315	7,84	1,85	1,09
400	7,01	1,85	1,05
500	6,74	1,99	0,94
630	6,76	2,16	0,83
800	6,71	2,39	0,71
1000	7,01	2,68	0,61
1250	6,89	2,80	0,56
1600	6,09	2,76	0,52
2000	5,47	2,66	0,51
2500	4,76	2,42	0,56
3150	3,93	2,12	0,57
4000	3,15	1,81	0,62
5000	2,47	1,54	0,65



f(Hz)	α_s
125	0,35
250	0,95
500	0,95
1000	0,65
2000	0,50
4000	0,60

$\alpha_w = 0,60$ (LM) C
acoustical absorption class : C

Type S 6.8 % 13.2/2.8 mm

Mounted on a wooden frame with a thickness of 70 mm, filled with 50 mm of Rockfit 431 adapt 40 kg/m³.



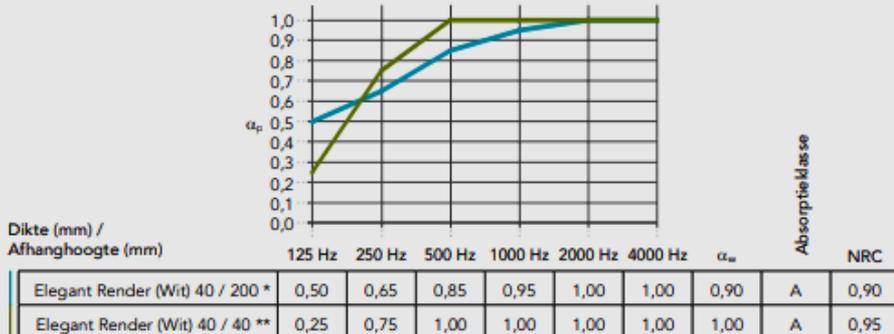
Prestaties

Geluidsabsorptie
 α_w : tot 1,00 (Klasse A)

Directe geluidsisolatie
 $R_w = 22$ dB

* Rockfon Mono Acoustic panelen
** Rockfon Mono Acoustic Direct panelen

Dikte (mm) / Afhanghoogte (mm)



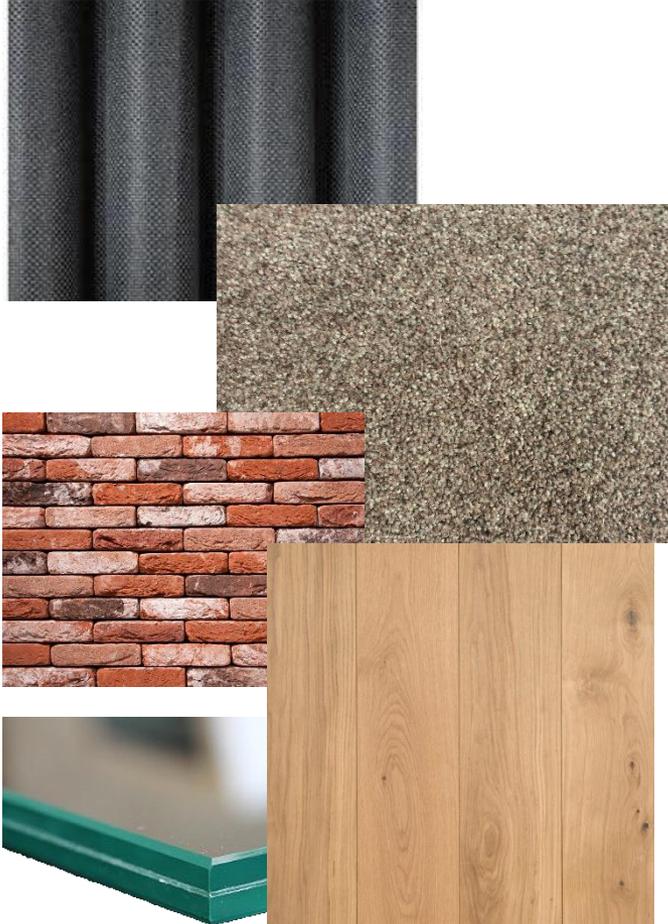
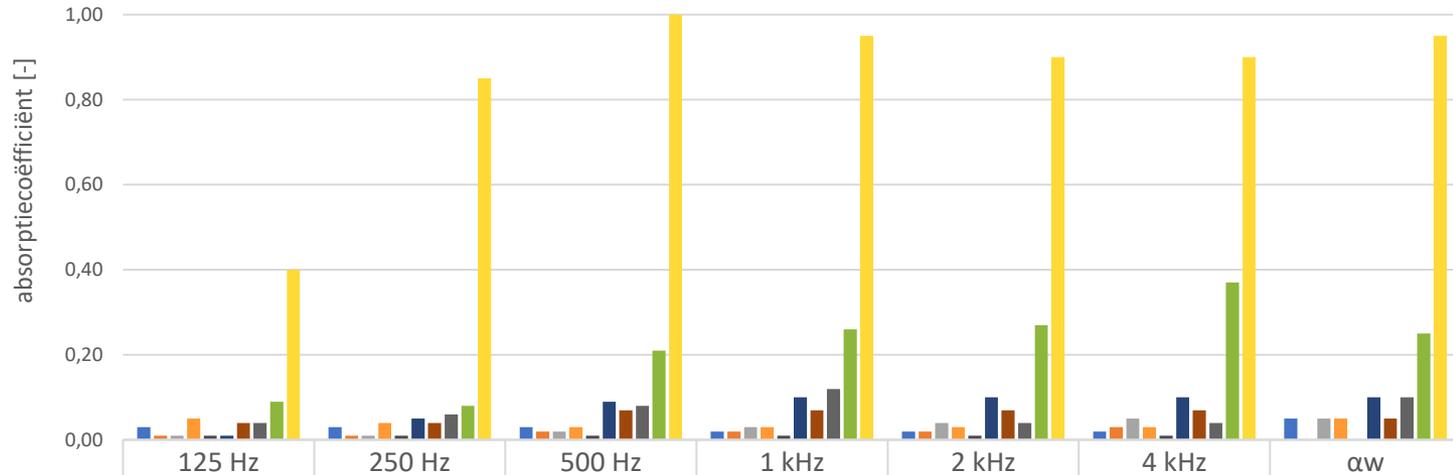


Tableau B.1 — Valeurs type pour le coefficient d'absorption

Matériau	Coefficient d'absorption acoustique α_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 ; ≤ 5 mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
revêtements de sol souples sur plancher lourd ; ≥ 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 ^a	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
rideau, < 0,2 kg/m ² ; de 0 mm à 200 mm devant une surface dure ; minimum type ^a	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
rideau, matériau tissé ≈ 0,4 kg/m ² ; 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.					
^a	Devant une fenêtre, les valeurs de la combinaison peuvent augmenter jusqu'à atteindre des valeurs de fenêtre nue.					



Matériaux de finition courants



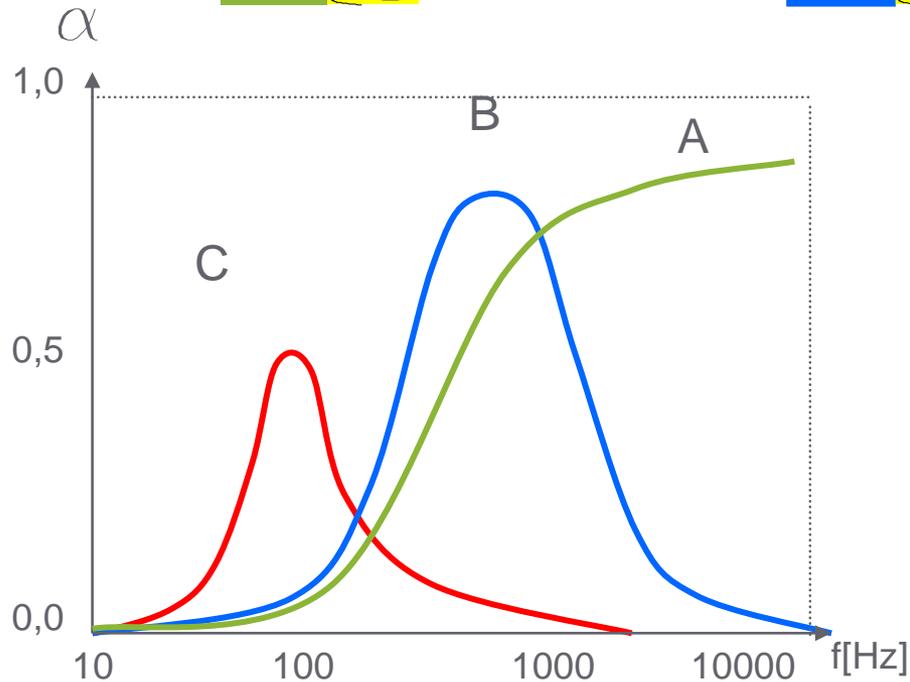
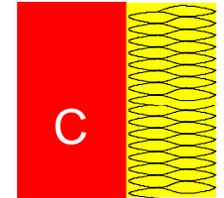
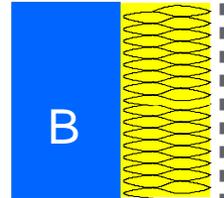
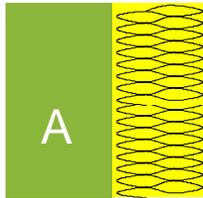
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Ramen	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05
Niet-geverfd gietbeton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0
Kalkpleister	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Gelakt hout (bv. deur)	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
Marmer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0
Tegelvloer	0,01	0,05	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1
Parketvloer	0,04	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05
Linoleum	0,04	0,06	0,08	0,12	0,04	0,04	0,1
Vasttapijt	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37	0,25
Minerale wol 5 cm	0,4	0,85	1	0,95	0,9	0,9	0,95

≈ 0



Absorption en fonction de la fréquence

Voir aussi : Dispositifs d'absorption acoustique | Guide Bâtiment Durable



A. Absorption poreuse

Matériau poreux non couvert

→ Principalement pour les hautes fréquences : ≥ 1400 Hz

B. Résonateur de Helmholtz

Matériau poreux recouvert d'une plaque perforée

→ Principalement pour les moyennes fréquences : 300 Hz – 1500 Hz

C. Résonateur diaphragme

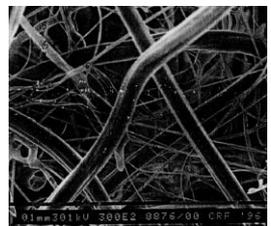
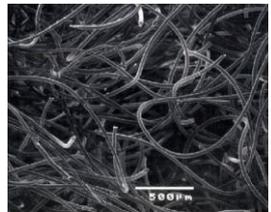
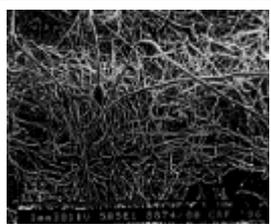
Matériau poreux recouvert de panneaux pleins

→ Principalement à basses fréquences : ≤ 300 Hz



Matériaux fibreux

fibres minérales comprimées ou tissées, fibres de coton, fibres de bois, fibres de laine, fibres synthétiques...



Matériaux à cellules ouvertes

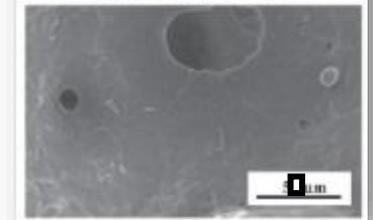
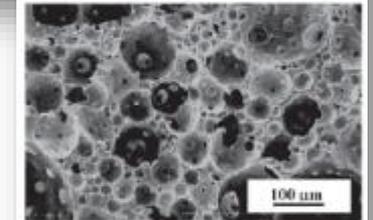
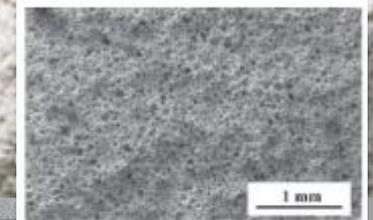
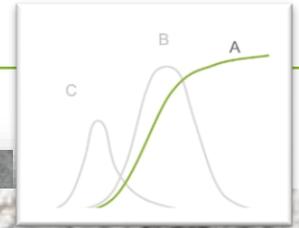
mousse d'argile expansée, mousse PU à alvéoles ouvertes, granulés de liège pulvérisés, enduits pulvérisés, mousse de mélamine...

Matériaux à structure labyrinthique ouverte à l'air

Dissipation de l'énergie mécanique (ondes de pression)

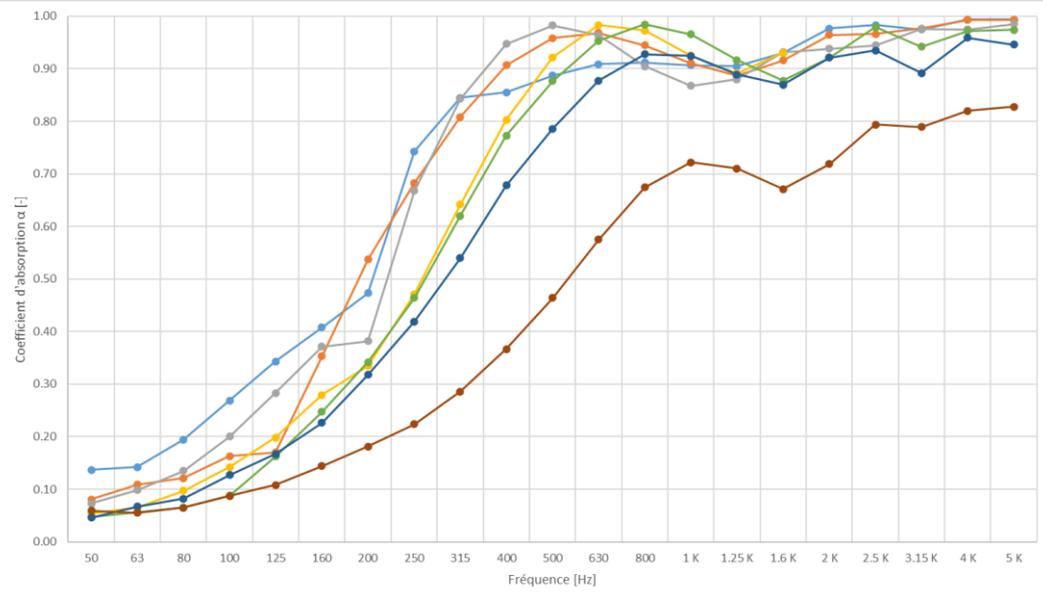
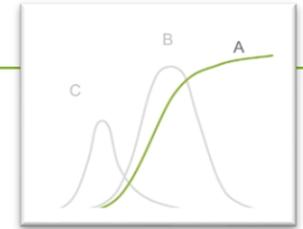
- Effets visqueux
- Effets thermiques (friction)
- Atténuation structurelle

Principalement **absorption dans les hautes fréquences**



MATÉRIAUX D'ABSORPTION POREUX

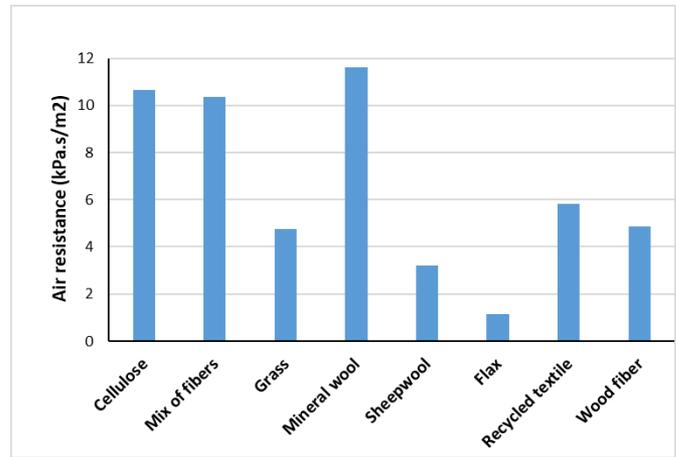
Matériaux biosourcés versus matériaux traditionnels

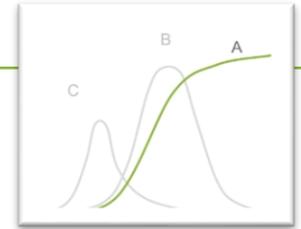


Vs.

Performances comparables pour une résistance au flux d'air correspondante (densité)

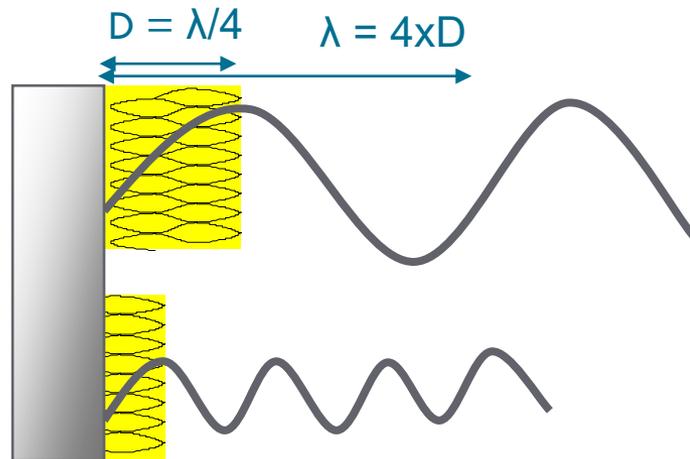
- 1 - Laine de roche
- 2 - Fibres de chanvre, coton et laine
- 3 - Fibres de chanvre et ouate de cellulose
- 4 - Fibres d'herbes
- 5 - Laine de coton
- 6 - Laine de mouton
- 7 - Laine de lin





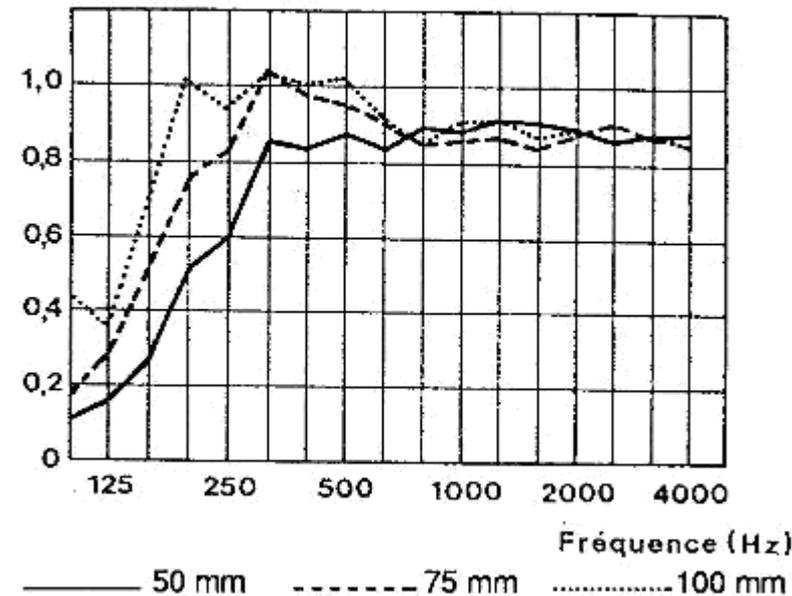
Influence de l'épaisseur du matériau (Longueur d'onde $\lambda = 340 / \text{fréquence } f$)

Pour absorber le bruit d'une longueur d'onde λ , une **épaisseur minimale $D \geq \lambda / 4$** est nécessaire.



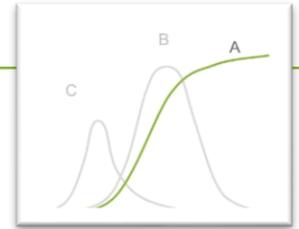
(100 Hz \rightarrow couche épaisse > 85 cm nécessaire !)

Coefficient d'absorption α



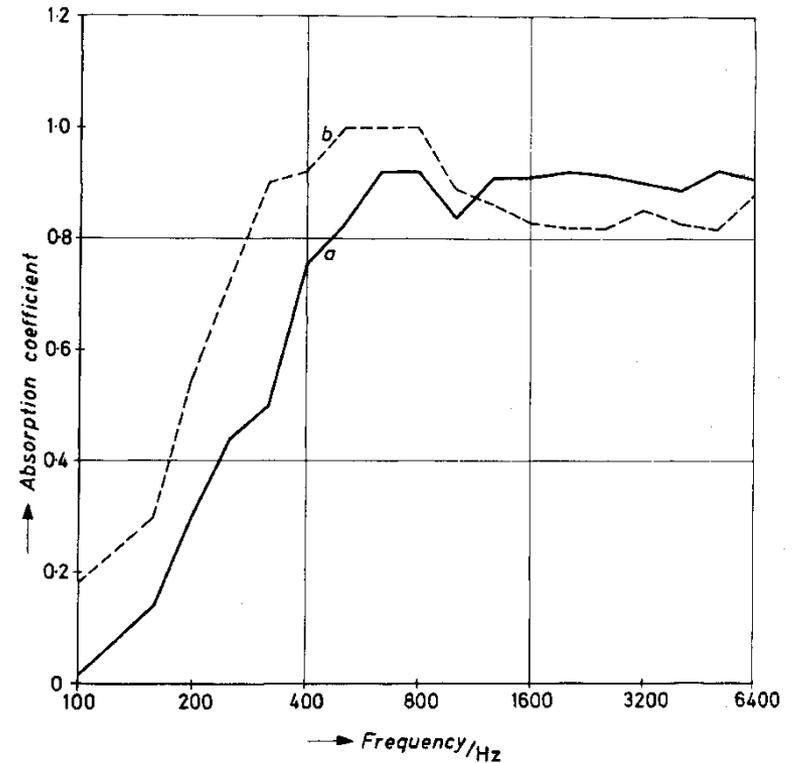
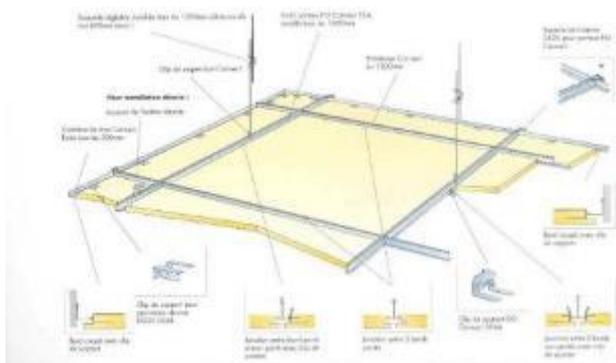
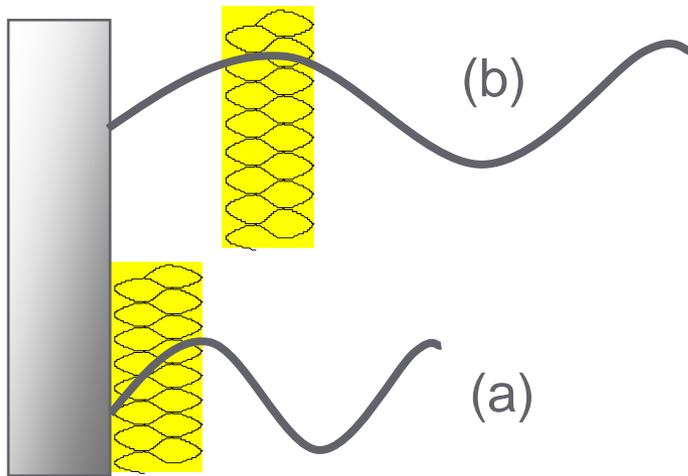
- ▶ Plus la couche est épaisse, plus grande est l'absorption à basses fréquences
- ▶ Au-dessus de 5000 Hz, il y a déjà une absorption suffisante en raison de la présence de tapis, vêtements, rideaux...





Influence de la distance à la structure

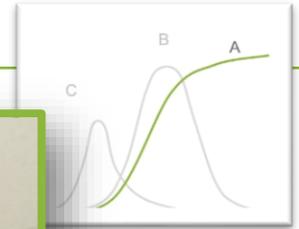
Augmentation de l'absorption en basses fréquences grâce à la lame d'air



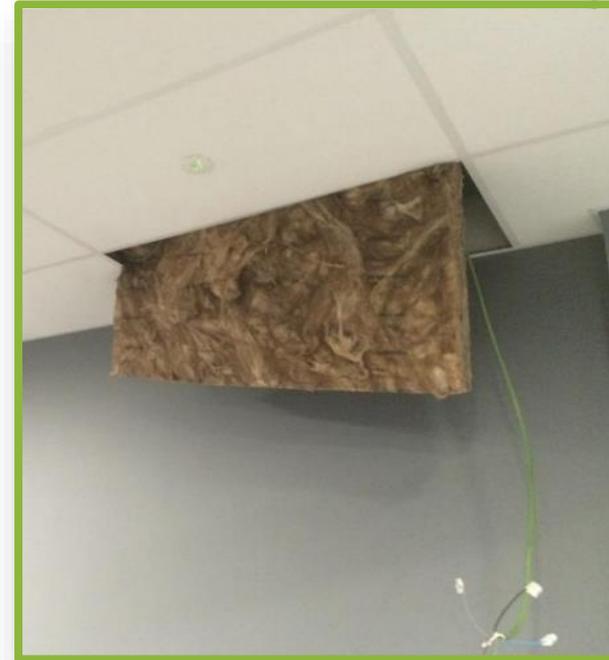
Exemple : faux-plafond absorbant



MATÉRIAUX D'ABSORPTION POREUX



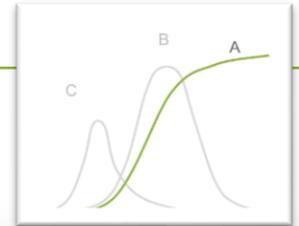
Application pour les plafonds



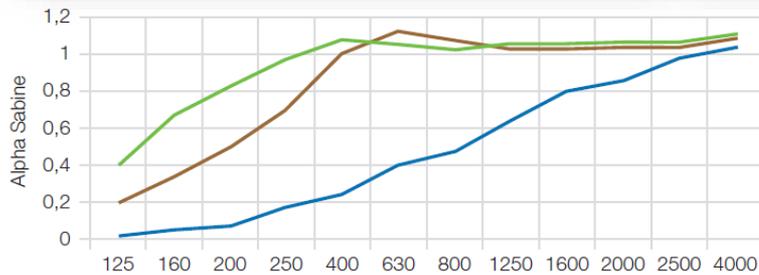
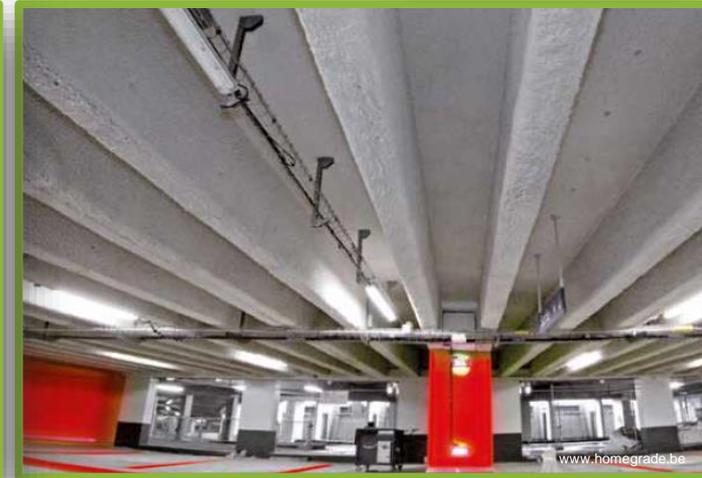


Applications murales





Applications par projection

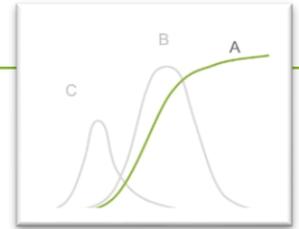


- Épaisseur 12,5 mm
α_w = 0,35(MH) Classe D
- Épaisseur 45 mm
α_w = 1,00 Classe A
- Épaisseur 80 mm
α_w = 1,00 Classe A

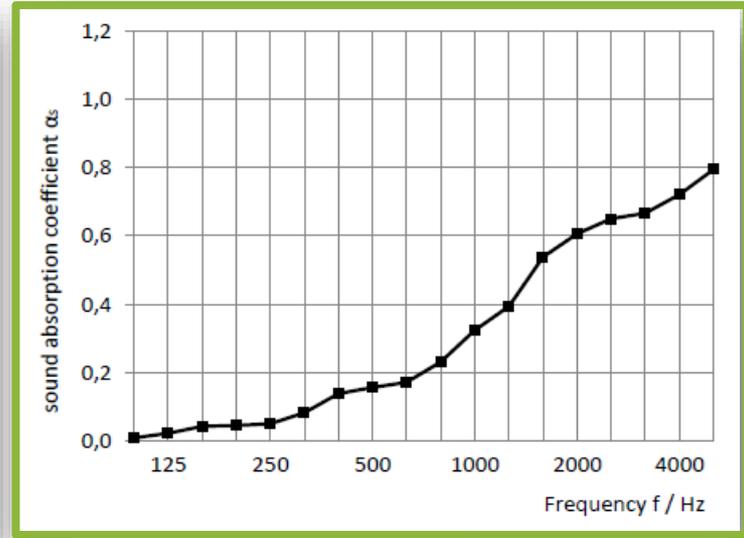
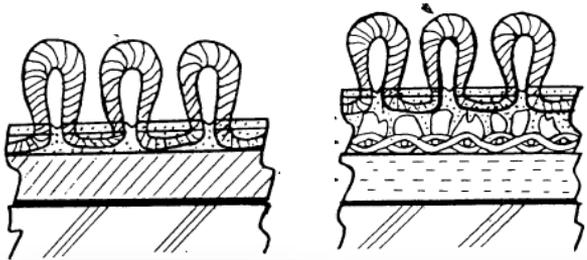
Épaisseur PROMASPRAY® P300	Support	Fréquence en hertz						NRC	α _w
		125	250	500	1000	2000	4000		
		Coefficient d'absorption α _p							
15 mm	Solide	0,05	0,20	0,45	0,70	0,75	0,40	0,53	0,45 (M, H)
25 mm		0,10	0,40	0,80	0,90	0,90	0,90	0,75	0,70 (H)



MATÉRIAUX D'ABSORPTION POREUX



Revêtements de sol



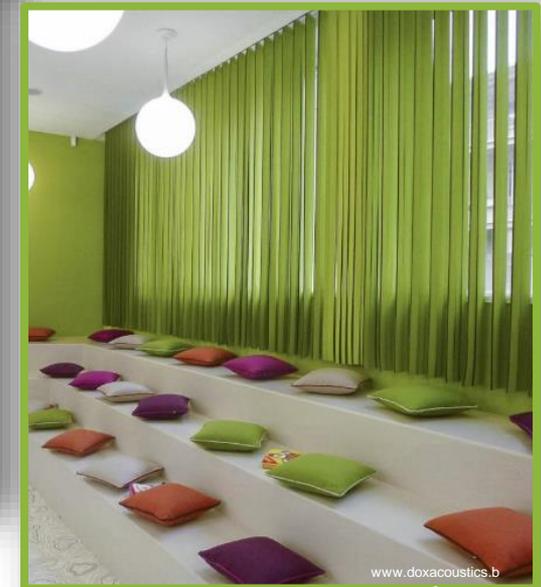
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Laine min. 20 kg/m ³ - 100 mm	0,38	0,76	0,96	0,93	0,96	1,04	0,85
Moquette – valeurs courantes	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37	0,25



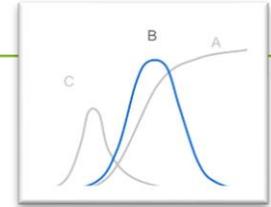
MATÉRIAUX D'ABSORPTION POREUX



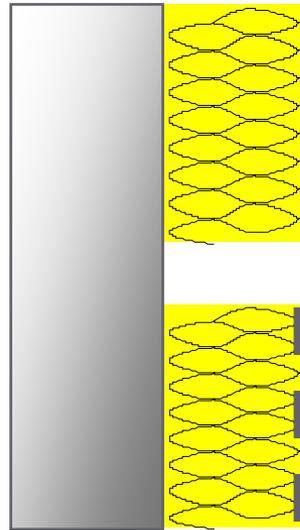
Mobilier



RÉSONATEURS DE HELMHOLTZ

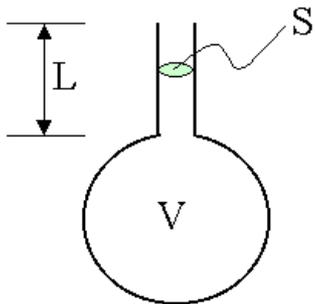
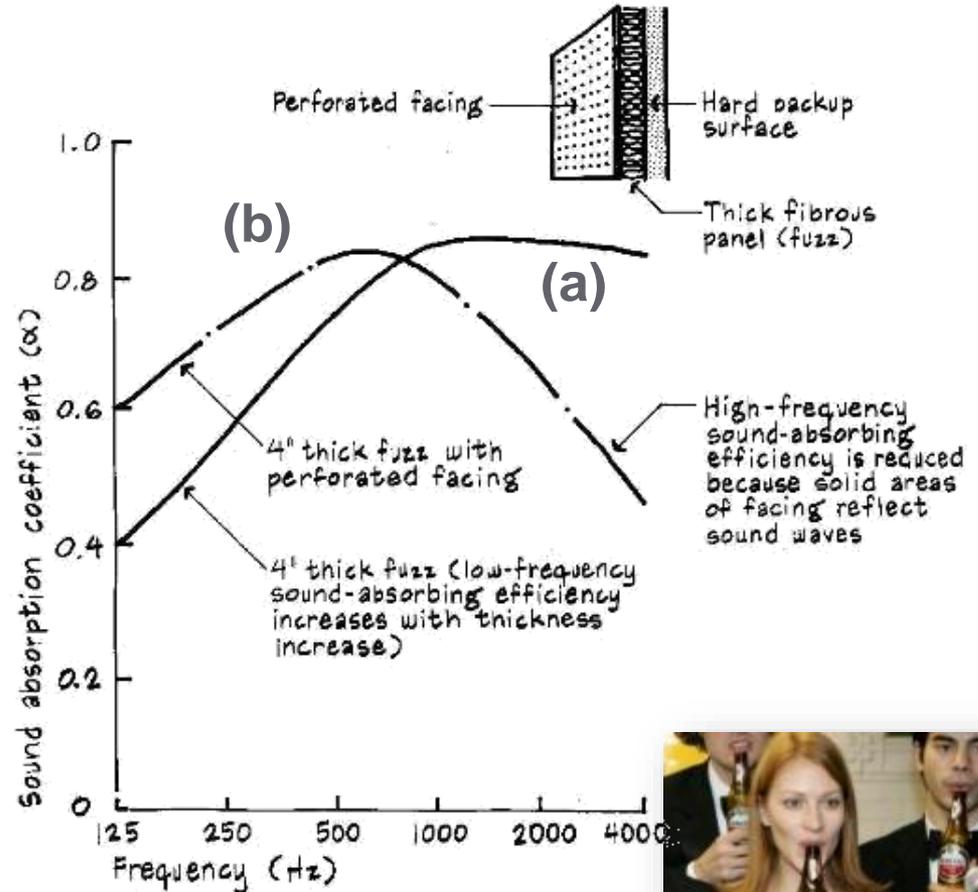


Matériau poreux recouvert d'une plaque perforée



(a)

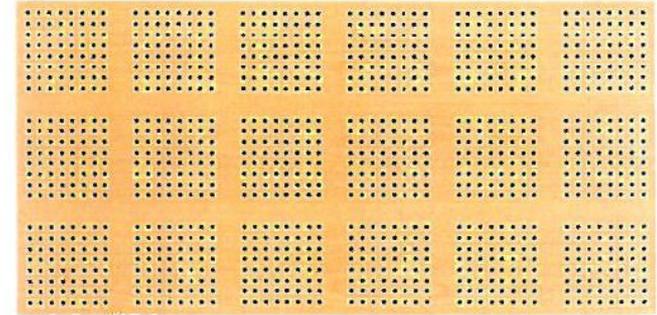
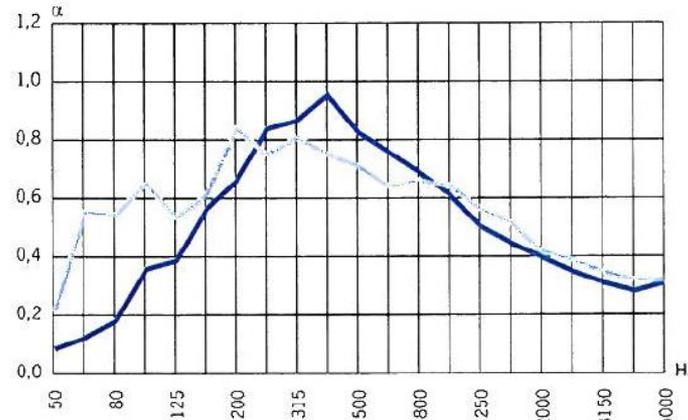
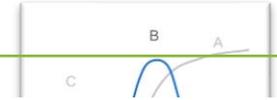
(b)



$$f_{res} \cong 55 \sqrt{\frac{S}{L'V}}$$



RÉSONATEURS DE HELMHOLTZ



A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm, E = 20 mm,
 Ø = 8 mm. Module measurement 200 x 200 mm.
 www.CSTC.be
 Absorption class D. Open area 8%.



www.laudescher.com



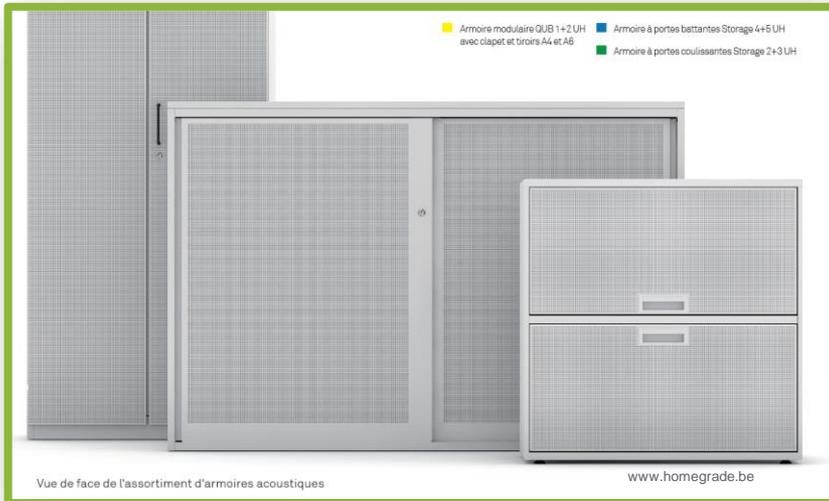
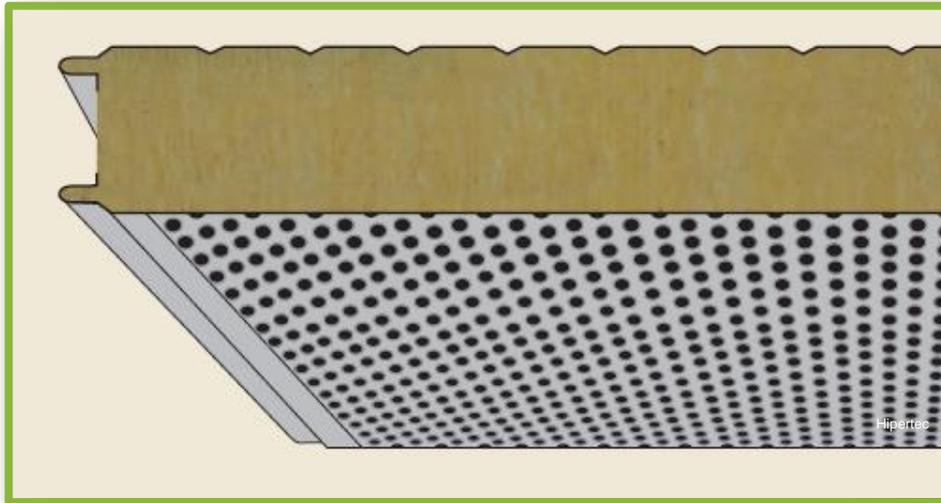
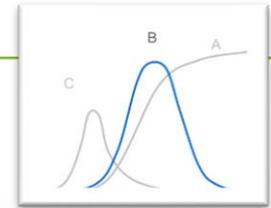
www.buildsilence.be



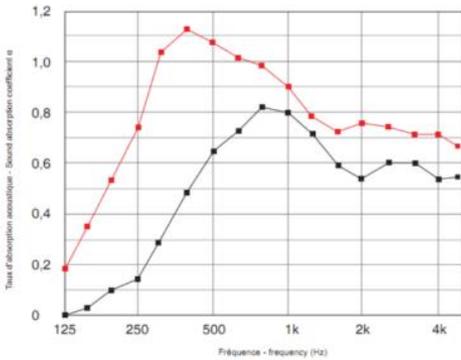
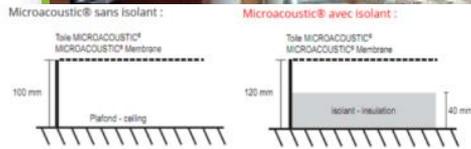
Bruxelles Environnement



RÉSONATEURS DE HELMHOLTZ



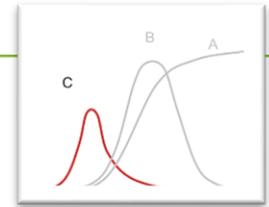
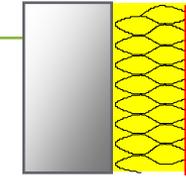
Systèmes avec microperforations



Indices d'absorption acoustique	Sans isolant	Avec isolant
Moyenne d'absorption selon ASTM C423 - 01	SAA = 0.54	SAA = 0.86
Coefficient de réduction du bruit selon ASTM C423 - 01	NRC = 0.50	NRC = 0.90
Coefficient d'absorption acoustique mesuré selon DIN EN 11654	alpha_w=0,50 (M)	alpha_w=0,80
Classe d'absorption acoustique selon DIN EN 11654	D	B



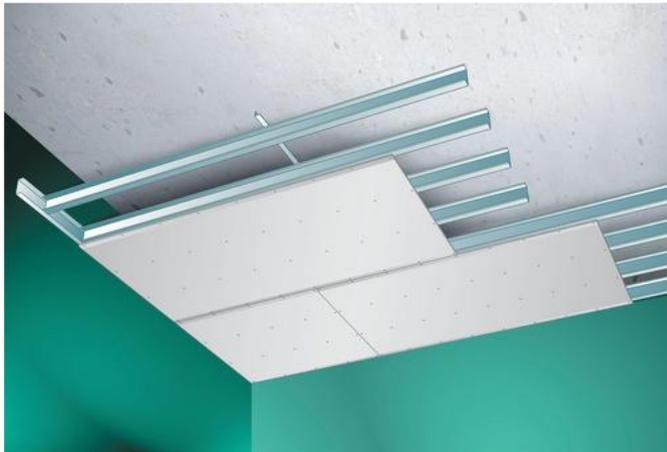
Applications



Faux plafonds

Planchers surélevés

Contre-cloisons



*Pas d'influence de la
couche de peinture, du
papier peint, du vernis...*



Généralement **combiné à d'autres mécanismes d'absorption**

Ex. recouvert d'un matériau poreux **pour ajouter une absorption à hautes fréquences**



MATÉRIAUX D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

- ▶ Absorption / Isolation
- ▶ Coefficient d'absorption acoustique
- ▶ Mécanismes d'absorption
- ▶ Exemples d'application

ABSORPTION ACOUSTIQUE DANS LA PIÈCE

- ▶ **Absorption totale dans la pièce**
- ▶ **Temps de réverbération**
- ▶ **Expérience acoustique de la pièce**

EXIGENCES DE PERFORMANCE DANS LES BÂTIMENTS

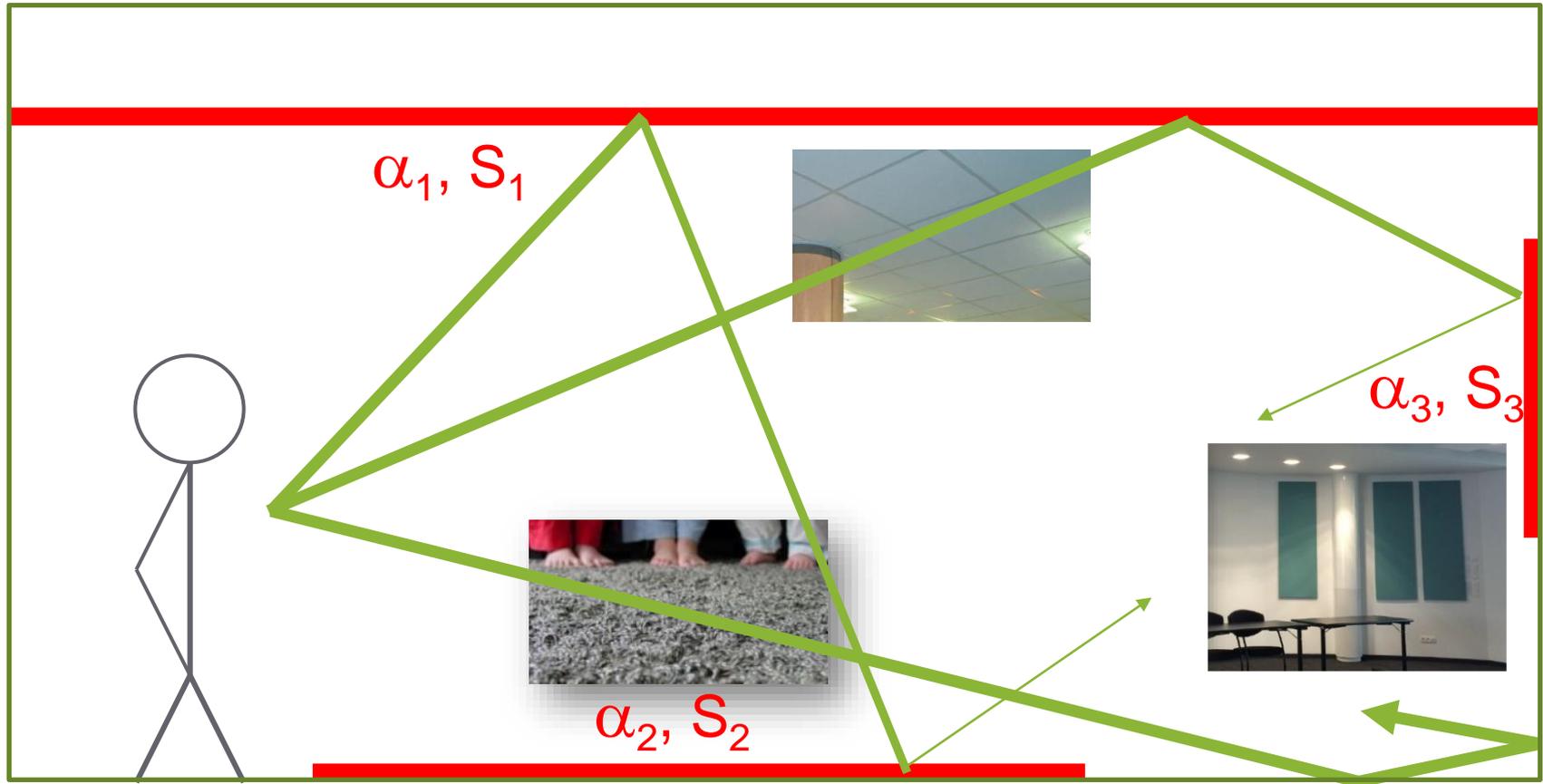
- ▶ Exigences normatives
- ▶ Exemples de calcul

DIRECTIVES POUR LA CONCEPTION ACOUSTIQUE DU LOCAL

- ▶ Salles de classe
- ▶ Réfectoires
- ▶ Bureaux paysagers



ABSORPTION TOTALE DANS LA PIÈCE



$$Absorption = A \approx \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots \text{ [m}^2\text{]}$$

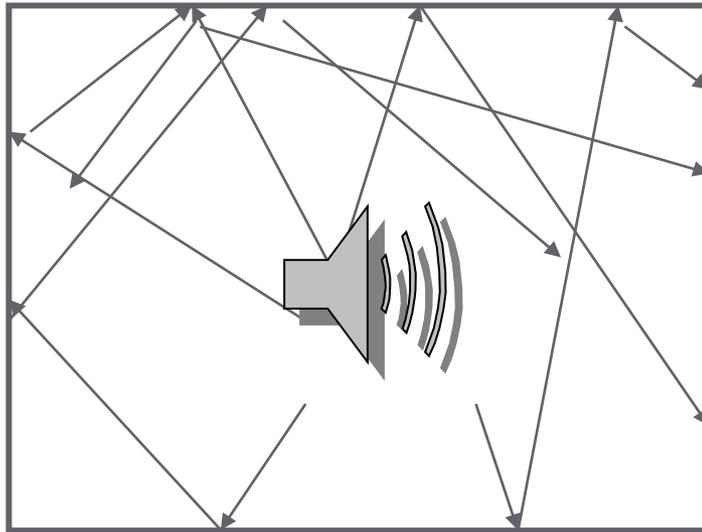
α = coefficient d'absorption = caractéristique du produit



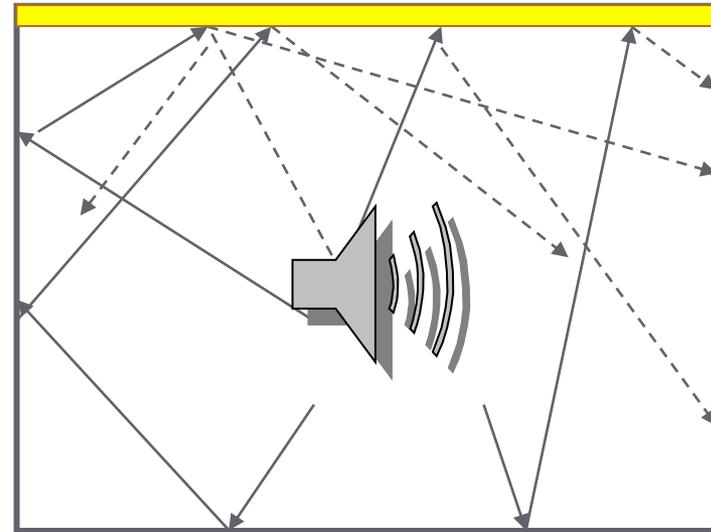
L'ABSORPTION TOTALE DANS LA PIÈCE

Influence sur le NIVEAU REVERBE

- ▶ Efficacité limitée
- ▶ Règle générale : Le **doublment** de la quantité totale d'**absorption A** dans la pièce mène à une **diminution de 3 dB** du niveau réverbéré L_p



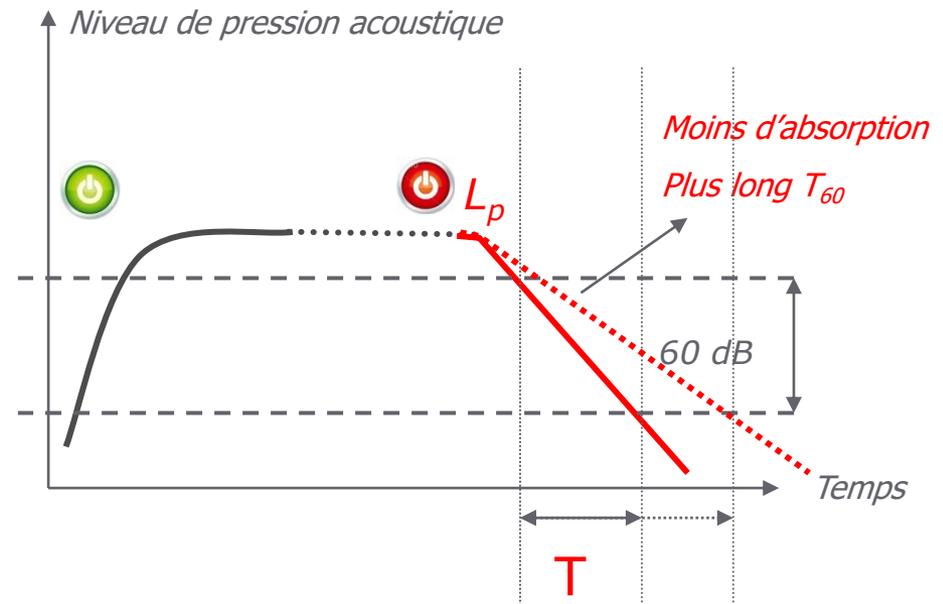
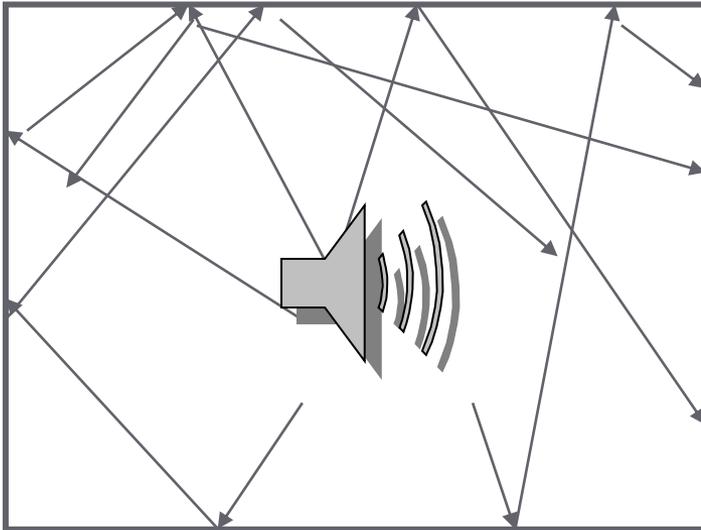
$$A = X \text{ m}^2$$
$$L_p = Y \text{ dB}$$



$$A = 2.X \text{ m}^2$$
$$L_p = Y - 3 \text{ dB}$$



Influence sur le TEMPS DE REVERBERATION



Temps de réverbération T = temps nécessaire pour qu'un niveau de pression acoustique de **60 dB diminue** après l'arrêt d'une source de bruit fixe

Le temps de réverbération est déterminé par le **volume** de la pièce et la répartition et la quantité de l'**absorption** présente.



Loi de Sabine



1868 - 1919

$$T = 0.16 V/A \text{ [s]}$$

(in lucht, 20° C)

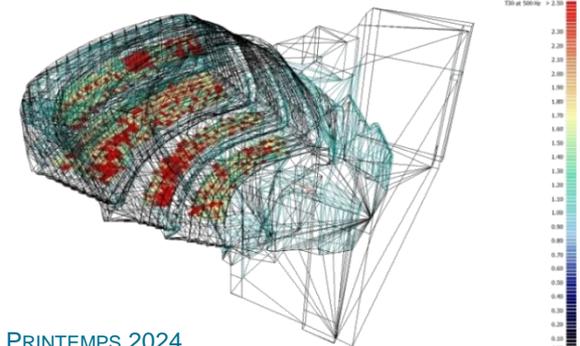
- Espaces « cubiques »
- Absorption limitée
- Répartition uniforme de l'absorption
- Pas trop d'objets

“Temps de réverbération T”

- Augmente avec le **volume** de la pièce, **V [m³]**
- Diminue avec la quantité **d'absorption** dans la pièce, **A [m²]**

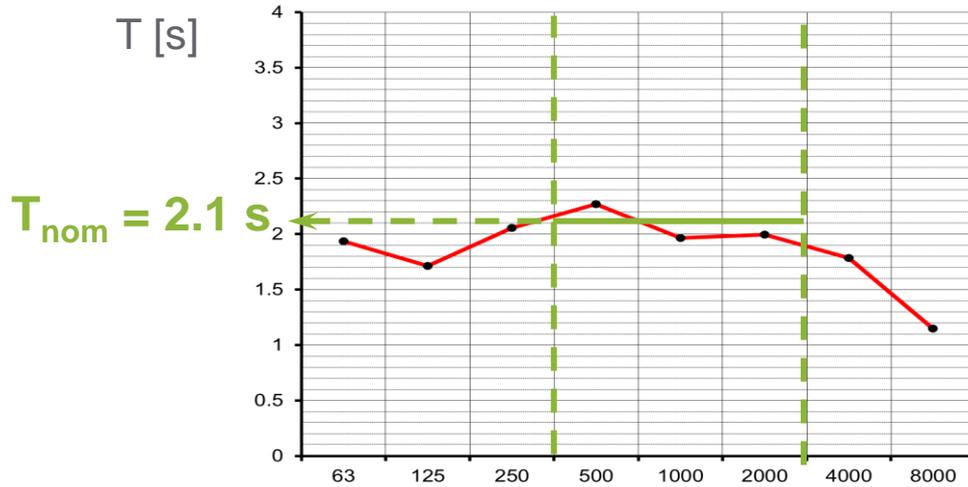
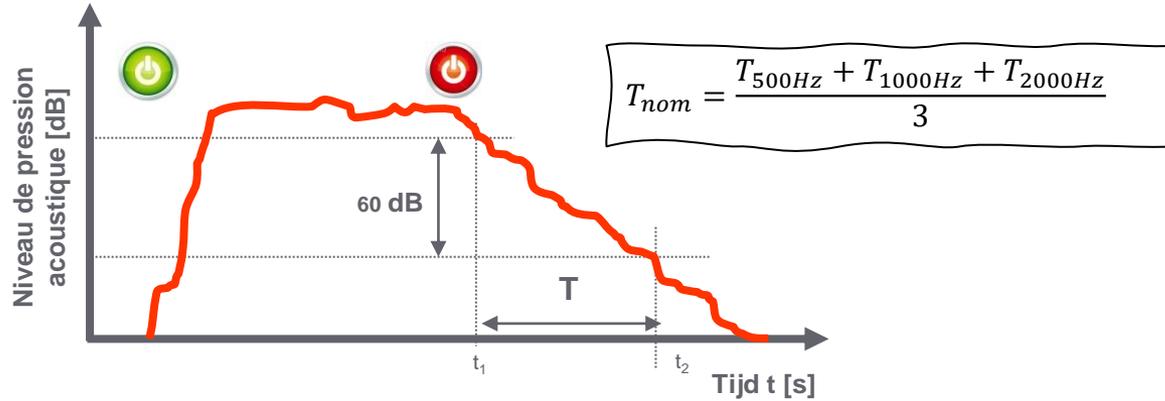
Modèles plus détaillés (champs sonores non-diffus)

- EN 12354-6
- simulations informatiques



TEMPS DE RÉVERBÉRATION

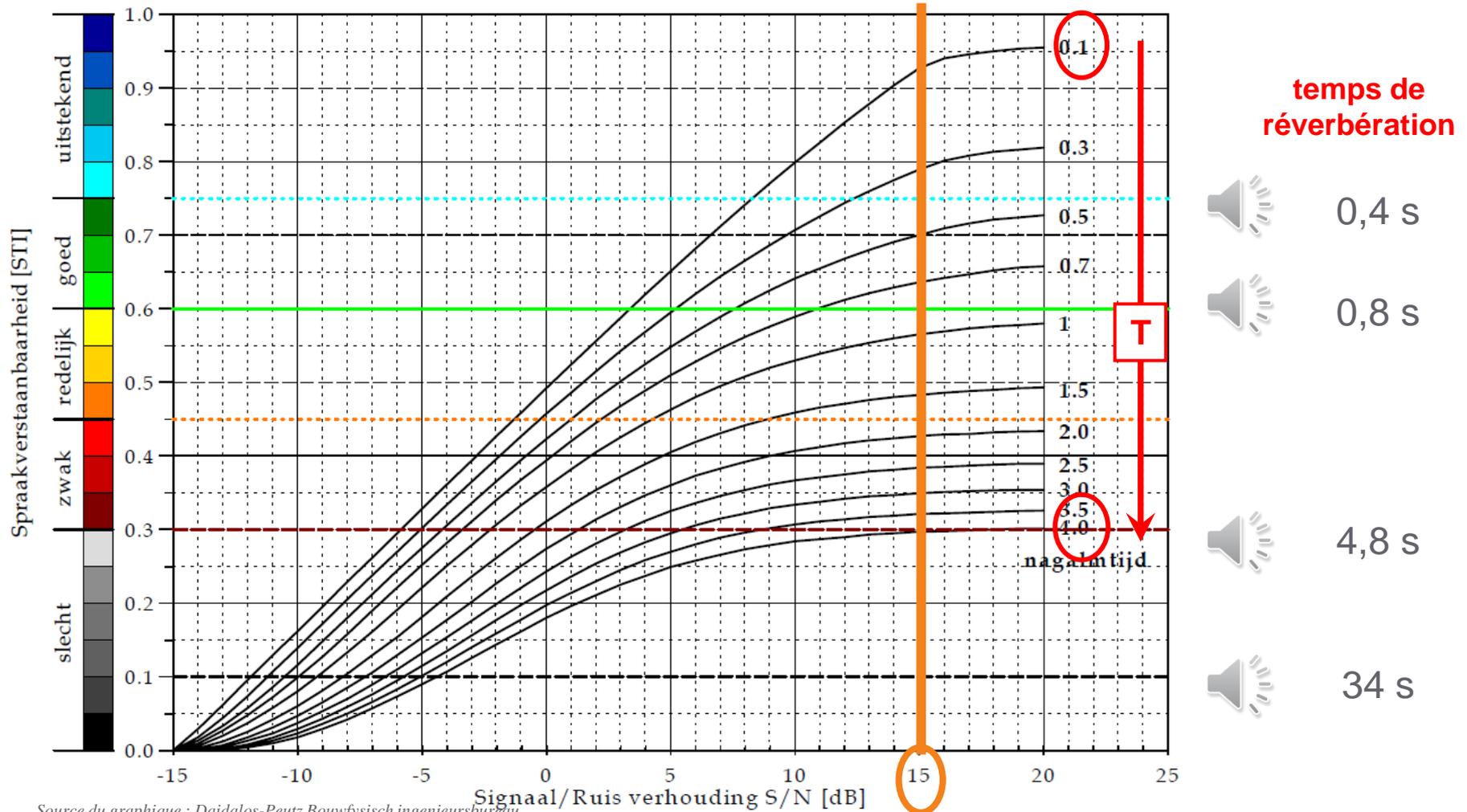
Temps de réverbération nominal



Pour les applications vocales : $T = 0.5$ à 1 s

→ plus de m^2 d'absorption pour des grands volumes

Temps de réverbération



Source du graphique : Daidalos-Peutz Bouwfysisch ingenieursbureau



MATÉRIAUX D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

- ▶ Absorption / Isolation
- ▶ Coefficient d'absorption acoustique
- ▶ Mécanismes d'absorption
- ▶ Exemples d'application

ABSORPTION ACOUSTIQUE DANS LA PIÈCE

- ▶ Absorption totale dans la pièce
- ▶ Temps de réverbération
- ▶ Expérience acoustique de la pièce

EXIGENCES DE PERFORMANCE DANS LES BÂTIMENTS

- ▶ **Exigences normatives**
- ▶ **Exemples de calcul**

DIRECTIVES POUR LA CONCEPTION ACOUSTIQUE DU LOCAL

- ▶ Salles de classe
- ▶ Réfectoires
- ▶ Bureaux paysagers



Absorption minimale / temps de réverbération maximal

→ contrôle par des calculs / mesures



Bâtiments non-résidentiels :

NBN S 01-400 (1977) & NBN S 01-401 (1987)

- Pas d'exigences

prNBN S 01-400-3 (202x)

- Pièces sensibles au bruit



Bâtiments résidentiels : NBN S 01-400-1 (2022)

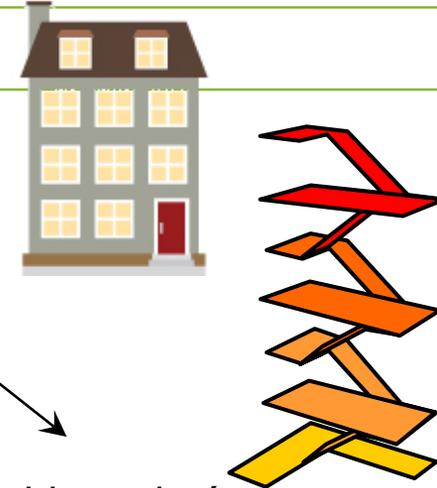
- Zones de circulation communes



Bâtiments scolaires : NBN S 01-400-2 (2012)

- Pièces sensibles au bruit





Couloirs, halls d'entrée, cages d'escalier



contrôle par des calculs

$$A_w \geq 0,3 S_H$$

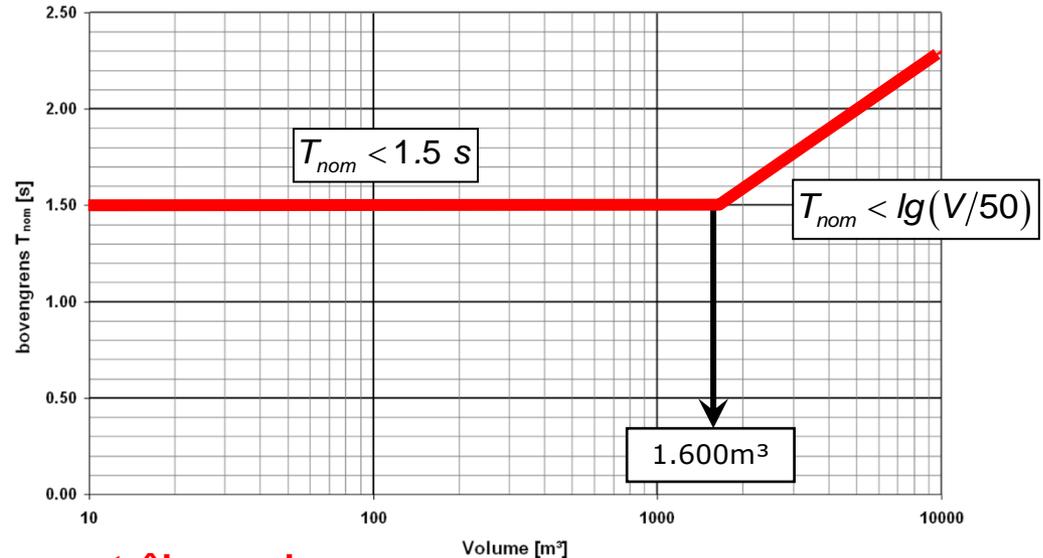
$$\sum_i \alpha_{w,i} S_i$$

zone circulaire projetée horizontalement

Atrium



$$T_{nom} = (T_{500} + T_{1000} + T_{2000}) / 3$$



contrôle par des mesures



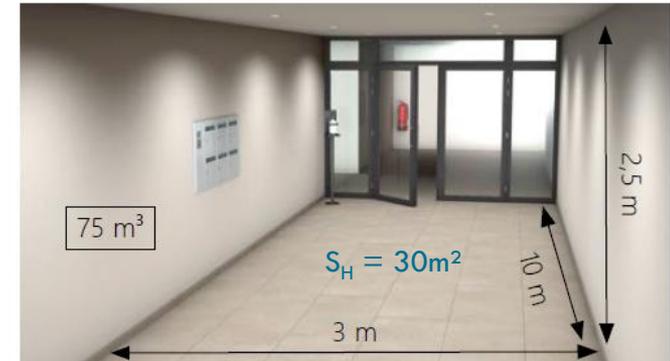
Hall d'entrée

Exigence A_w

$$\geq 0,3 S_H$$

$$\geq 0,3 \times 30\text{m}^2$$

$$\geq 9 \text{ m}^2$$



	matériau	α_w [-]	S [m ²]	A_w [m ²]
Sol	Carrelage	0,1	30	3,0
	Enduit de chaux			
Murs	Enduit de chaux	0,05	57,5	2,9
Mur de verre	verre	0,05	7,5	0,4
	Enduit de chaux			
Plafond	Enduit de chaux	0,05	30	1,5
				7,8

	matériau	α_w [-]	S [m ²]	A_w [m ²]
Sol	Carrelage	0,1	30	3,0
	Enduit de chaux			
Murs	Enduit de chaux	0,05	57,5	2,9
Mur de verre	verre	0,05	7,5	0,4
	Enduit de chaux			
Plafond	Enduit pulvérisé	0,7	30	21,0
				27,3

< 9 m²

Ou : plafond absorbant avec $\alpha_w \geq 0.3$

Conclusion : l'exigence pour les halls d'entrée n'est pas très élevée...





Exigences de conception (absorption minimale)

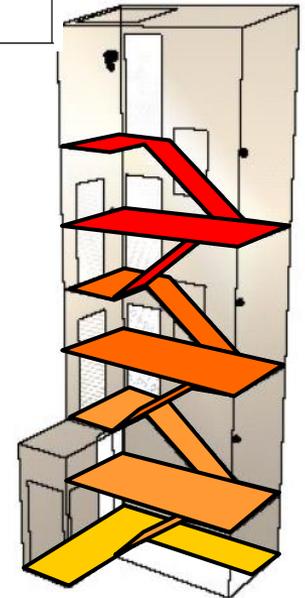
“coefficient d’absorption acoustique pondéré (à la surface)” :
$$\overline{\alpha}_W = \frac{\sum \alpha_{W,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_W}{S_{tot}}$$

	Exigences normales	Exigences supérieures
salle de cours salle de sports, salle de gymnastique, zone de récréation intérieure atrium réfectoire	$\overline{\alpha}_W \geq 0,2$	$\overline{\alpha}_W \geq 0,25$
couloir, cage d’escalier, hall (d’entrée), espace de rencontre	$A_W \geq 0,4 \times S_H (*)$	$A_W \geq 0,5 \times S_H (*)$

contrôle par des calculs

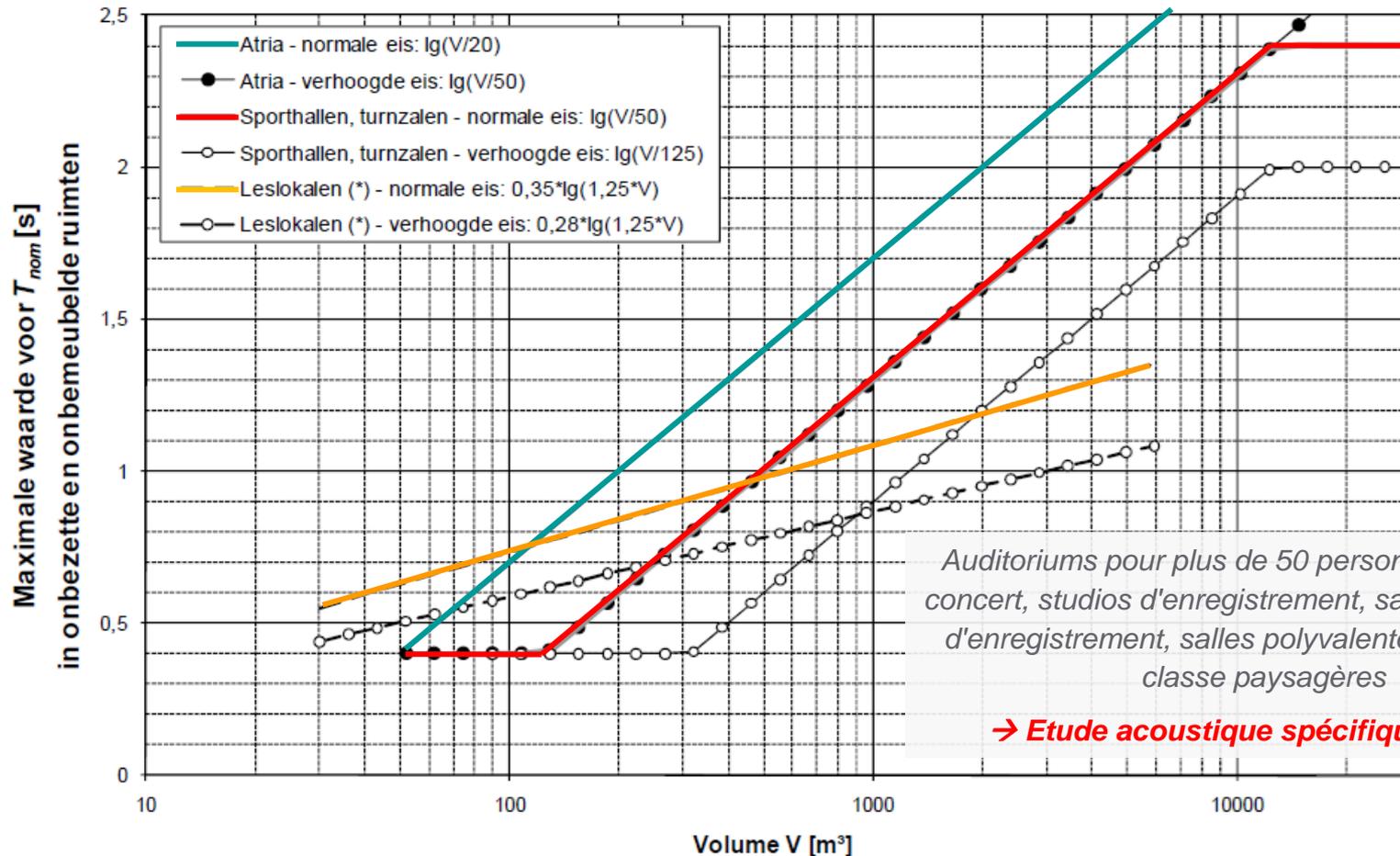


- Autres espaces : aucune exigence de conception
- Exigence supérieure : + 25%





Exigences à la réception (T maximal)



(*) uitgezonderd landschapsleslokalen, kleuterschool spelruimten en kleuterschool rustige ruimten



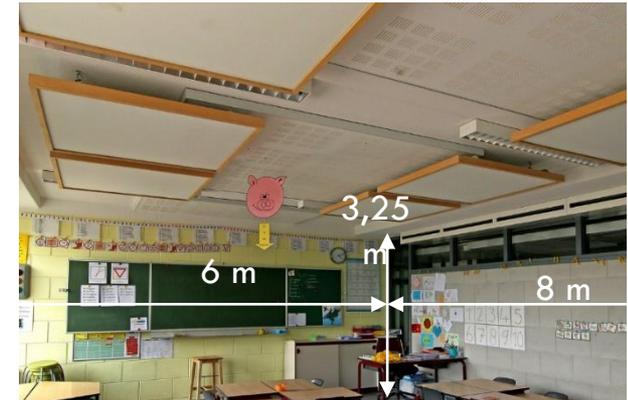
EXEMPLE DE CALCUL

Salle de classe

- ▶ V = 8 m x 6 m x 3,25 m
- ▶ Exigence de conception :

$$\overline{\alpha_w} = \frac{\sum \alpha_{w,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_w}{S_{tot}} \geq 0,2 \rightarrow A_w \geq 37,4 \text{ m}^2$$

$S_{tot} = 187 \text{ m}^2$



	matériau	α_w [-]	S [m ²]	A _w [m ²]
Sol	Carrelage	0,1	48	4,8
	Enduit de chaux			
Murs	Enduit de chaux	0,05	65	3,3
Mur de verre	verre	0,05	26	1,3
Plafond	Enduit de chaux	0,05	48	2,4
			187	11,8

< 37,4 m²

	matériau	α_w [-]	S [m ²]	A _w [m ²]
Sol	Carrelage	0,1	48	4,8
	Enduit de chaux			
Murs	Enduit de chaux	0,05	65	3,3
Mur de verre	verre	0,05	26	1,3
Plafond	Enduit pulvérisé	0,7	48	33,6
			187	43,0

> 37,4 m²

- ▶ Temps de réverbération minimal : $T_{nom} \leq 0,35 \times \lg(1,25 \times V) = 0,8 \text{ s}$

Données spectrales

	matériau	α_{500} [-]	α_{1000} [-]	α_{2000} [-]	S [m ²]	A ₅₀₀ [m ²]	A ₁₀₀₀ [m ²]	A ₂₀₀₀ [m ²]
Sol	Carrelage	0,09	0,1	0,1	48	4,3	4,8	4,8
	Enduit de chaux							
Murs	Enduit de chaux	0,02	0,03	0,04	65	1,3	2,0	2,6
Mur de verre	verre	0,03	0,02	0,02	26	0,8	0,5	0,5
	Enduit pulvérisé							
Plafond	Enduit pulvérisé	0,8	0,9	0,9	48	38,4	34,6	31,1
					187	44,8	41,8	39,0

mesure de contrôle dans un bâtiment fini

< 0,8 s

$$T_{nom} = (T_{500} + T_{1000} + T_{2000}) / 3 = 0,6 \text{ s}$$

$T = 0,16 \text{ V/A (Sabine)}$
Avec $V = 156 \text{ m}^3$

T ₅₀₀ [s]	T ₁₀₀₀ [s]	T ₂₀₀₀ [s]
0,6	0,6	0,6



MATÉRIAUX D'ABSORPTION ACOUSTIQUE

- ▶ Absorption / Isolation
- ▶ Coefficient d'absorption acoustique
- ▶ Mécanismes d'absorption
- ▶ Exemples d'application

ABSORPTION ACOUSTIQUE DANS LA PIÈCE

- ▶ Absorption totale dans la pièce
- ▶ Temps de réverbération
- ▶ Expérience acoustique de la pièce

EXIGENCES DE PERFORMANCE DANS LES BÂTIMENTS

- ▶ Exigences normatives
- ▶ Exemples de calcul

DIRECTIVES POUR LA CONCEPTION ACOUSTIQUE DU LOCAL

- ▶ **Salles de classe**
- ▶ **Réfectoires**
- ▶ **Bureaux paysagers**





Kielen School Paviljoen: Ademend akoestisch plafond (doxacoustics.eu)



Speelruimte akoestische elementen in kinderdagverblijf Dommel (doxacoustics.eu)



Projet: Kleuterschool Nieuwerkerken - COUST



Vibrasto GORDIJNEN - Meubilair (doxacoustics.eu)



Acoustic improvement of classrooms at SCVO Encora (doxacoustics.eu)



Etude de cas : http://www.acousticbulletin.com/EN/Essex_Final%20report%20V4_28_05_12.pdf



Amélioration du confort d'écoute et de parole

- ▶ Limitation du **bruit de fond** (bruits extérieurs, installations) : max. 25 à 30 dB
- ▶ **Matériau absorbant** en suffisance : $\overline{\alpha}_w \geq 0,2$ (critère de conception)



V	$T_{nom} \leq$
100 m ³	0,7 s
200 m ³	0,8 s
300 m ³	0,9 s
400 m ³	0,9 s
500 m ³	1,0 s

Importance de l'absorption à :
500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz
 (T_{nom})

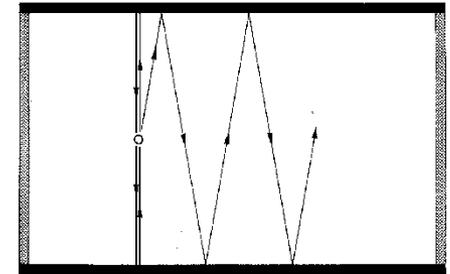
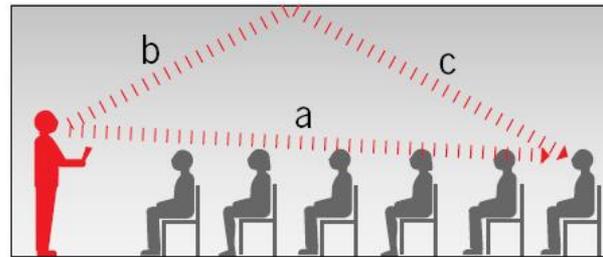
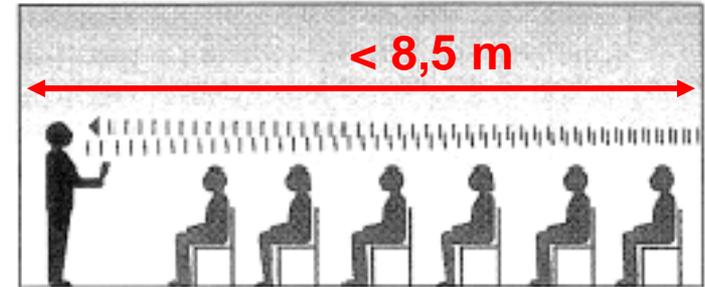
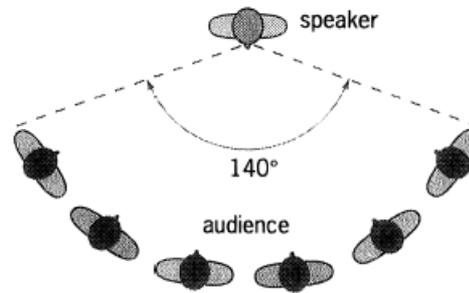
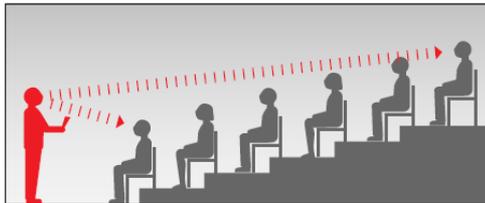
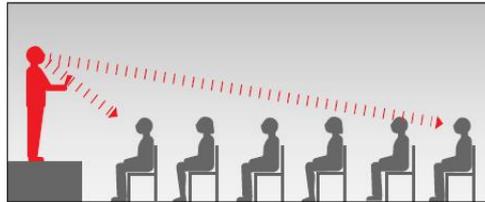
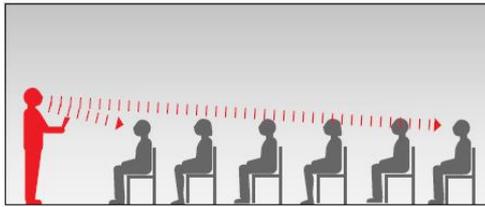


+ absorption recommandée à :
125 Hz, 250 Hz
 ($T_{125} < 1.4 T_{nom}$, $T_{250} < 1.2 T_{nom}$)



Amélioration du confort d'écoute et de parole

- ▶ **Aménagements** : bancs décalés, demi-cercle, podium ... (lignes de vue !)
- ▶ **Réflexions proches** de l'enseignant ou des élèves (plafond/murs latéraux)
- ▶ **Éviter** des réflexions éloignés (mur arrière $> 8,5$ m)



Quelle finition et où ?

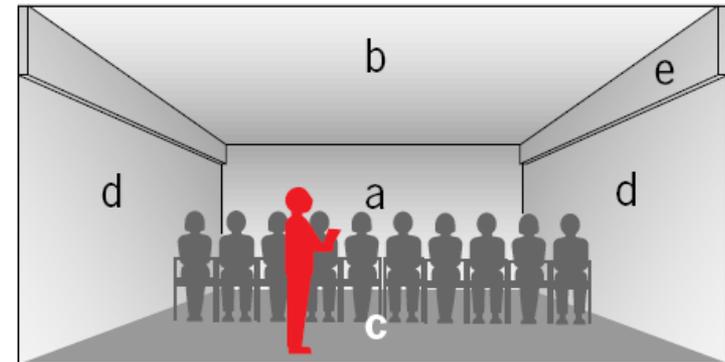
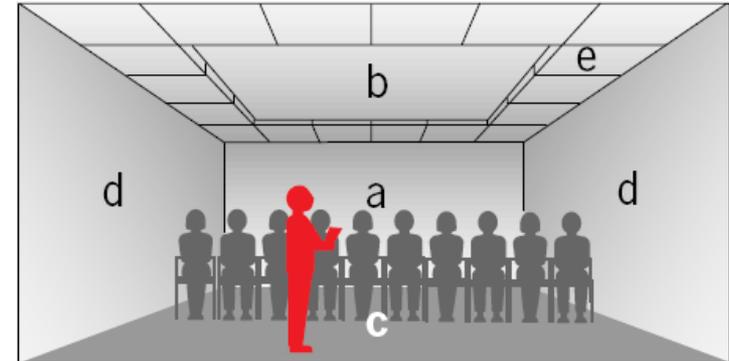
RÉFLÉCHISSANTE :

- Mur avant
- Plafond (b) & murs latéraux (d)

Réflexions utiles !
Absorption suffisante !

ABSORBANTE :

- Mur arrière (a)
- Sol (c) (*)
- Bordures de plafond/murs latéraux (e)



Building Bulletin 93, « Acoustic design of schools: A design guide »

(*) Dans la pratique : souvent, un plafond absorbant → diminution de l'intelligibilité à l'arrière

[Voir aussi : Acoustique des salles de réunion et auditories | Guide Bâtiment Durable](#)



Éviter « l'effet cocktail »

Mauvaise intelligibilité dans les grandes pièces fortement peuplées



Étienne Lombard
(1869-1920)

« Capacité acoustique d'une espace »

$$N_{\max} = \frac{V}{20T_{\text{mid}}}$$

Nombre de personnes ≤ Volume [m³]	Temps de réverbération [s]			
	0,5	1	1,5	2
300	30	15	10	8
400	40	20	13	10
500	50	25	17	13
600	60	30	20	15
700	70	35	23	18
800	80	40	27	20
900	90	45	30	23
1000	100	50	33	25



→ nombre de personne maximal en fonction du temps de réverbération et du volume

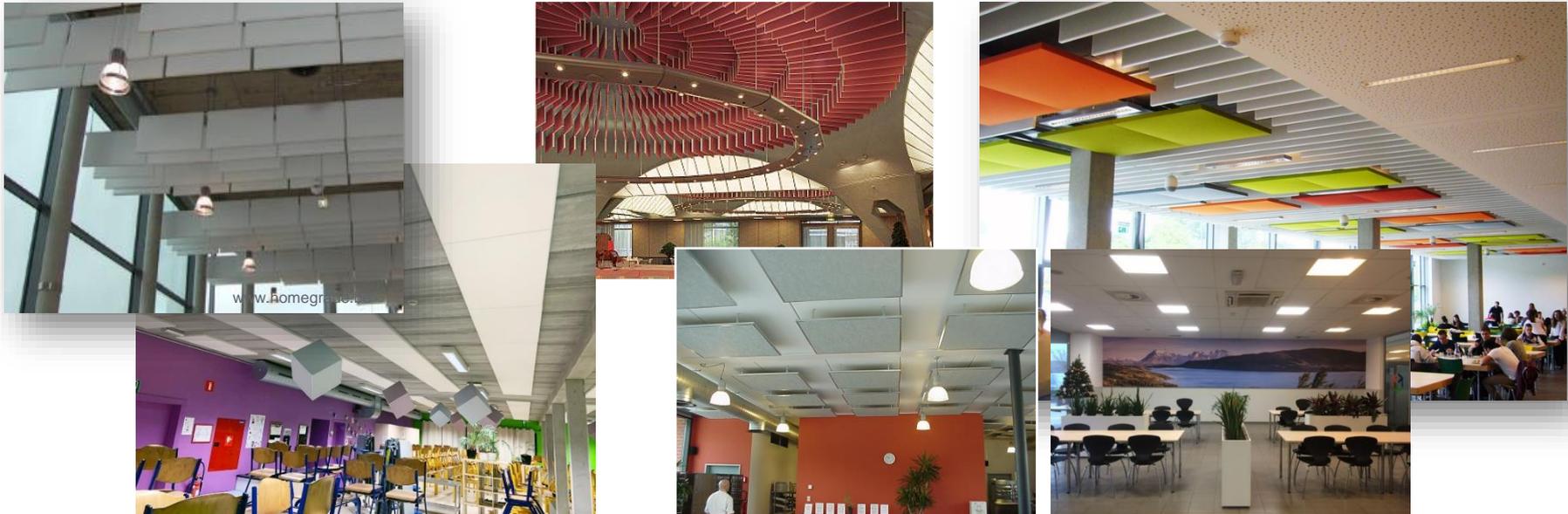


Directives générales

$$T_{\text{nom}} \leq 1\text{s}$$

max 1,2 s (réfectoires > 5000 m²)

- ▶ Matériau le plus absorbant possible : $A_{\text{min}}/\text{personne} = 1,5 \text{ m}^2$ (idéal : 7 m²)
- ▶ Utilisation de **baffles** ou **d'îlots de plafond** dans les pièces hautes
- ▶ + éviter les nuisances sonores dues à la cuisine, au déplacement de chaises...



www.homegrace.com
Acoustic correction in gym & refectory in Ter Berken primary school (doxacoustics.eu)

Project: Refect Sadaci - COUST

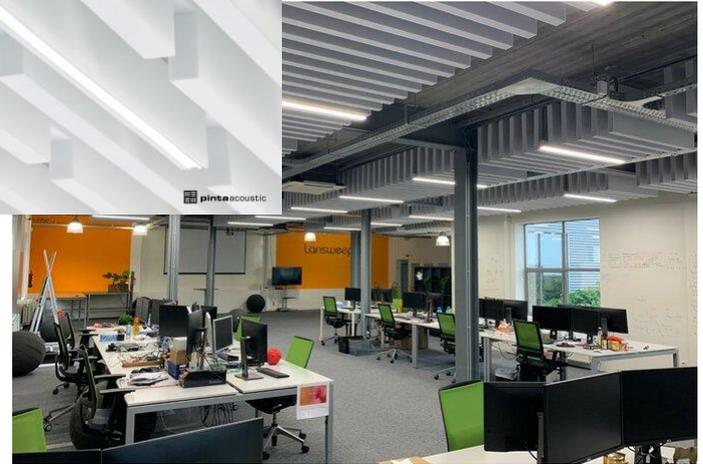
Voir aussi : Acoustique des réfectoires et restaurants | Guide Bâtiment Durable



BUREAUX PAYSAGERS



[Print Acoustics](#)



[Absorber PLANO POLAR - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



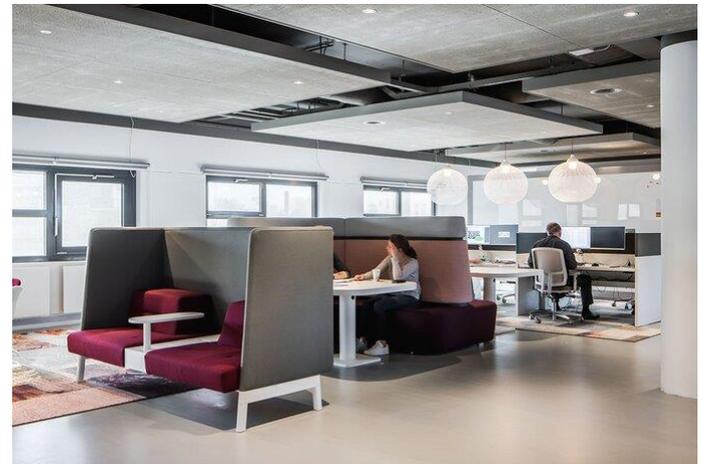
[Balance POLAR - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



[Stereo - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



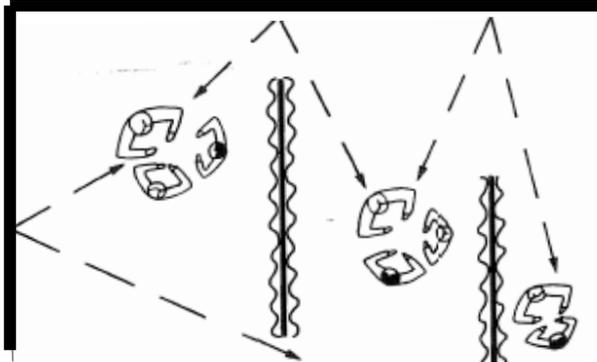
[D-SCREEN - Screens \(doxacoustics.eu\)](#)



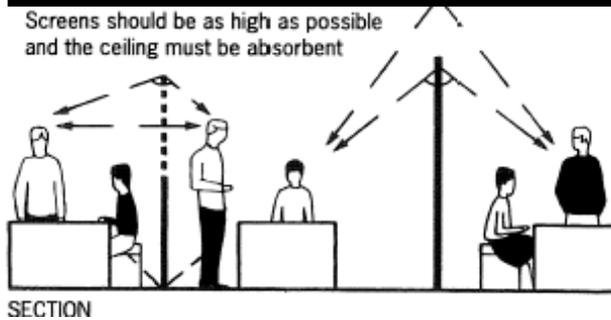
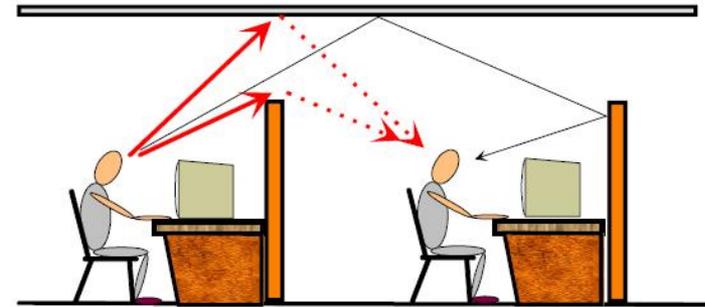
www.doxacoustics.eu



Limitation de la transmission vocale



Source : Building Bulletin 93, « Acoustic design of schools: A design guide »



Éviter la transmission directe + réflexions précoces gênantes !



Limitation de la transmission vocale

$$T_{\text{nom}} \leq 0,6 \text{ s}$$

- ▶ Absorption suffisante : $A_w \geq S_H$ (critère de conception) → plafond, murs latéraux, coins
- ▶ **Plafond absorbant** $\alpha_{500, 1000, 2000} \approx 1$, plafond suffisamment bas ou îlots de plafond
- ▶ **Distance** suffisante entre les postes de travail, **espaces tampons**
- ▶ **Écrans** suffisamment hauts (absorption + isolation), $h \geq 1,7 \text{ m}$
- ▶ Éviter les réflexions latérales : **absorption locale sur les murs/façades/coins**
- ▶ Bruit de fond (> 10 personnes) : 40 à 45 dB(A) → éventuellement masquage artificiel



[Voir aussi : Acoustique des bureaux paysagers | Guide Bâtiment Durable](#)





- ▶ Le **temps de réverbération** est un bon indicateur pour le **bruit** et la **transmission vocale** dans la pièce.
- ▶ Le temps de réverbération peut être estimée à l'aide de la **formule de Sabine** sur base des **données d'absorption** des matériaux de finition et du **volume** de la pièce.
- ▶ En fonction de la nature du matériau, son pouvoir absorbant sera principalement **en basses, moyennes ou hautes fréquences**.
- ▶ Pour des applications vocales, le temps de réverbération nominal est d'importance, et donc aussi le **nombre de m² d'absorption à 500 Hz, 1000 Hz et 2000 Hz**.
- ▶ En plus du choix de matériau, l'**aménagement** de la pièce (quel matériau et où, aménagement, forme, tampons...) et la maîtrise du **bruit de fond** (isolation de façade, installations...) sont importants.
- ▶ Les **exigences NBN** formulent aussi bien des **exigences de conception** (absorption minimale) que des exigences en rapport avec le **temps de réverbération** (nominal) maximal. Le contrôle de ce dernier peut se faire par des **mesures** dans l'espace fini et non meublé.





Guide Bâtiment Durable

- ▶ [Dispositifs d'absorption acoustique | Guide Bâtiment Durable](#)
- ▶ [Acoustique des salles de réunion et auditorios | Guide Bâtiment Durable](#)
- ▶ [Acoustique des bureaux paysagers | Guide Bâtiment Durable](#)
- ▶ [Acoustique des réfectoires et restaurants | Guide Bâtiment Durable](#)



Sites internet

- ▶ [Améliorer la qualité sonore d'un local à l'aide d'un enduit acoustique. \(buildwise.be\)](#)
- ▶ www.normes.be/acoustique
- ▶ http://www.acousticbulletin.com/EN/Essex_Final%20report%20V4_28_05_12.pdf



Articles/normes

- ▶ NBN S 01-400-1 : Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation
- ▶ NBN S 01-400-2 : Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires.
- ▶ NBN EN ISO 345 : 2003 Acoustique - Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante
- ▶ NBN EN 11654 : 1997 Acoustique - Absorbants pour l'utilisation dans les bâtiments - Évaluation de l'absorption acoustique
- ▶ NBN EN 12354-6 : 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
- ▶ Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)
- ▶ Zaalakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, D. De Vries, 2003



Debby WUYTS

Testing & Standardisation Unit

Buildwise Limelette

 + 32 2 655 77 10

 debby.wuyts@buildwise.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

