

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ACOUSTIQUE : CONCEPTION
ET MISE EN ŒUVRE

PRINTEMPS 2022

Réverbération et absorption acoustique
Solutions pratiques et matériaux

Manuel VAN DAMME



Objectif(s) de la présentation

- Comprendre et appliquer correctement les différents types d'absorbants acoustiques



Plan de l'exposé

- Mécanismes de l'absorption acoustique,
- Absorbants poreux,
- Membranes,
- Résonateurs,
- Systèmes mixtes,
- Acoustique des salles.



Acoustique du Bâtiment – Correction acoustique des salles







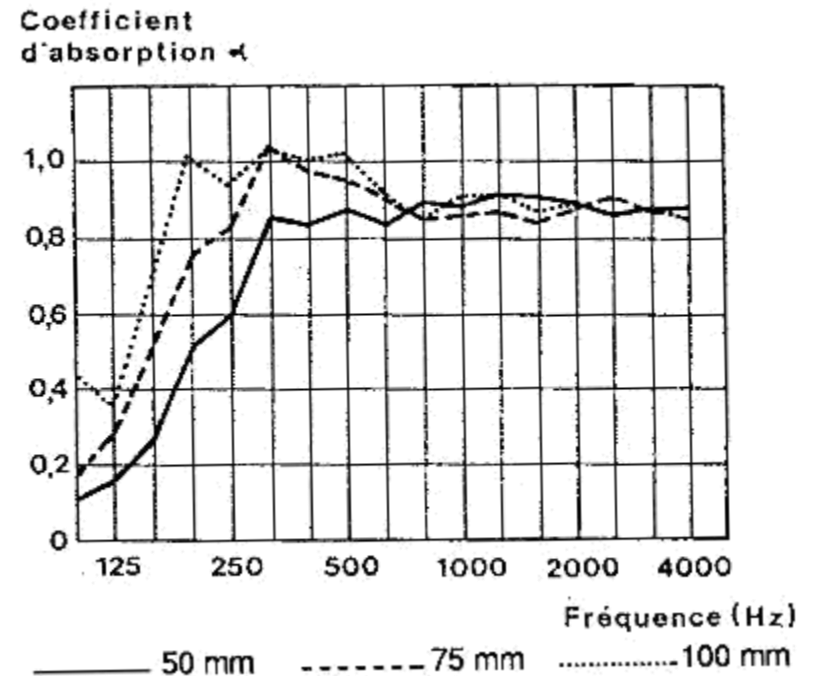
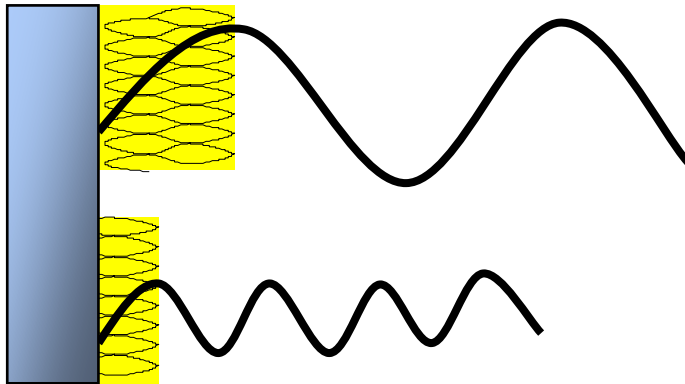
La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les absorbants poreux – principes de l'absorption**

Pour être efficace, la couche de matériau poreux doit être égale au moins à un quart de la longueur d'onde λ ($\lambda = 340/f$).

Très efficace pour les hautes fréquences.

Problème pour les basses fréquences : à 100 Hz il faudrait donc 85 cm d'épaisseur d'absorbant...



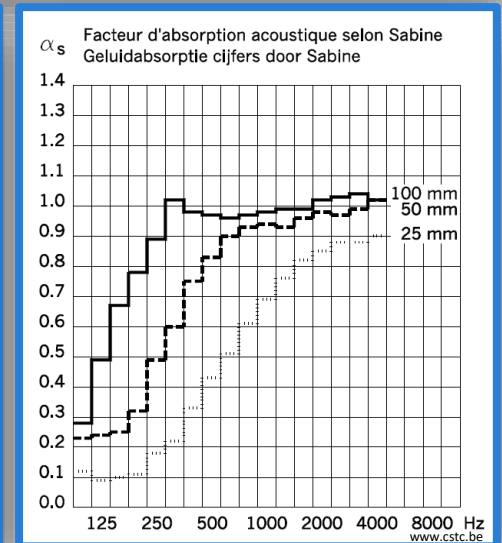
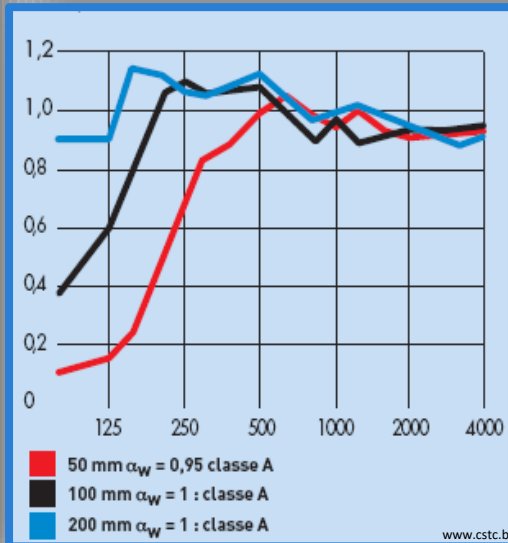
→ Plus le matériau sera épais, plus il sera efficace dans les basses fréquences

→ Au-delà de 5000 Hz : absorption possible par les revêtements de sol poreux (moquette, tapis...), les vêtements les tentures...



La pratique de la correction acoustique des salles

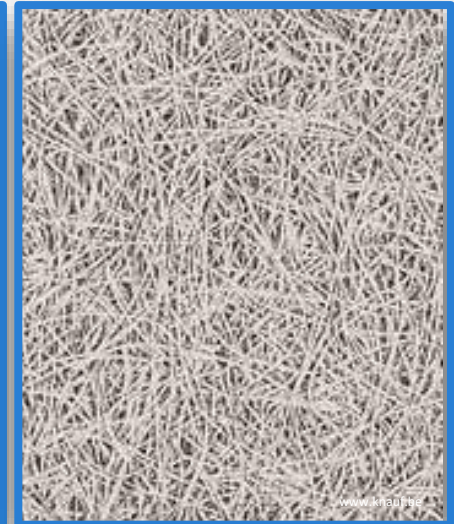
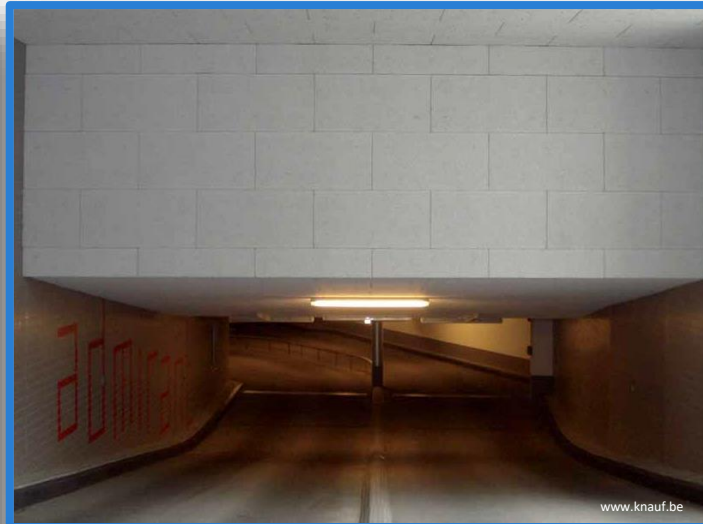
Matériaux pour la correction acoustique : **les absorbants poreux – les laines minérales**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les absorbants poreux – les laines de bois combinées**



Type de construction	Fréquence (hertz)							
	Rapport	125	250	500	1000	2000	4000	α_s moyen
béton, 25 mm de laine de bois Fine	A 192	0,07	0,12	0,28	0,57	0,82	0,61	0,41
béton, lame d'air de 20 mm, 25 mm de laine de bois Fine	MA 178-1	0,01	0,16	0,26	0,55	0,55	0,52	0,34
béton, lame d'air de 400 mm, 25 mm de laine de bois Fine	MA 178-1	0,13	0,38	0,30	0,40	0,50	0,71	0,40
béton, 50 mm de laine minérale / 25 mm de laine de bois Fine	A 192	0,42	0,79	1,13	0,76	0,73	0,88	0,79
béton, 50 mm de laine de bois Fine	A 192	0,13	0,25	0,70	0,87	0,75	0,86	0,59
béton, 100 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 659-2	0,55	0,65	0,80	0,92	0,94	0,81	0,78
béton, 50 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 1215-1	0,31	0,67	0,81	0,82	0,85	0,94	0,73
béton, lame d'air de 20 mm, 50 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 1251-1	0,37	0,64	0,81	0,82	0,86	0,94	0,74
béton, 125 mm de laine de bois Fine avec EPS	A 1350-3	0,10	0,30	0,24	0,29	0,52	0,78	0,37
béton, 70 mm de laine de bois Fine avec Resol	AA 345	0,06	0,15	0,34	0,43	0,80	0,80	0,43
Heraklith combi laine de roche 85 mm	PV.5408	0,62	0,89	0,97	0,94	0,78	0,76	0,85
Heraklith combi laine de roche 155 mm	PV.5409	0,76	0,71	0,89	0,98	0,84	0,79	0,90
Heraklith combi plus 95 mm	PV.5410	0,26	0,61	0,96	0,89	0,72	0,87	0,80
Heraklith combi plus 145 mm	PV.5411	0,30	0,67	0,96	0,88	0,72	0,87	0,80

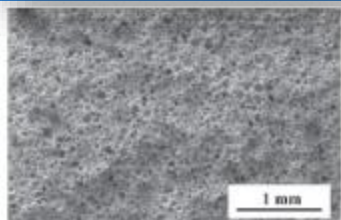


La pratique de la correction acoustique des salles

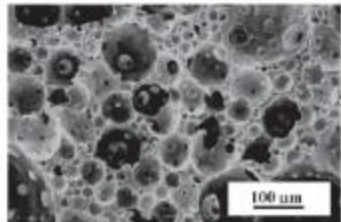
Matériaux pour la correction acoustique : **les absorbants poreux – mousses à cellules ouvertes**



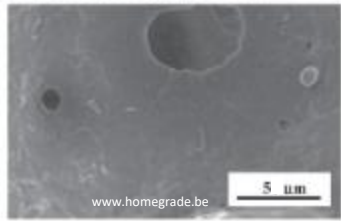
www.homegrade.be



1 mm

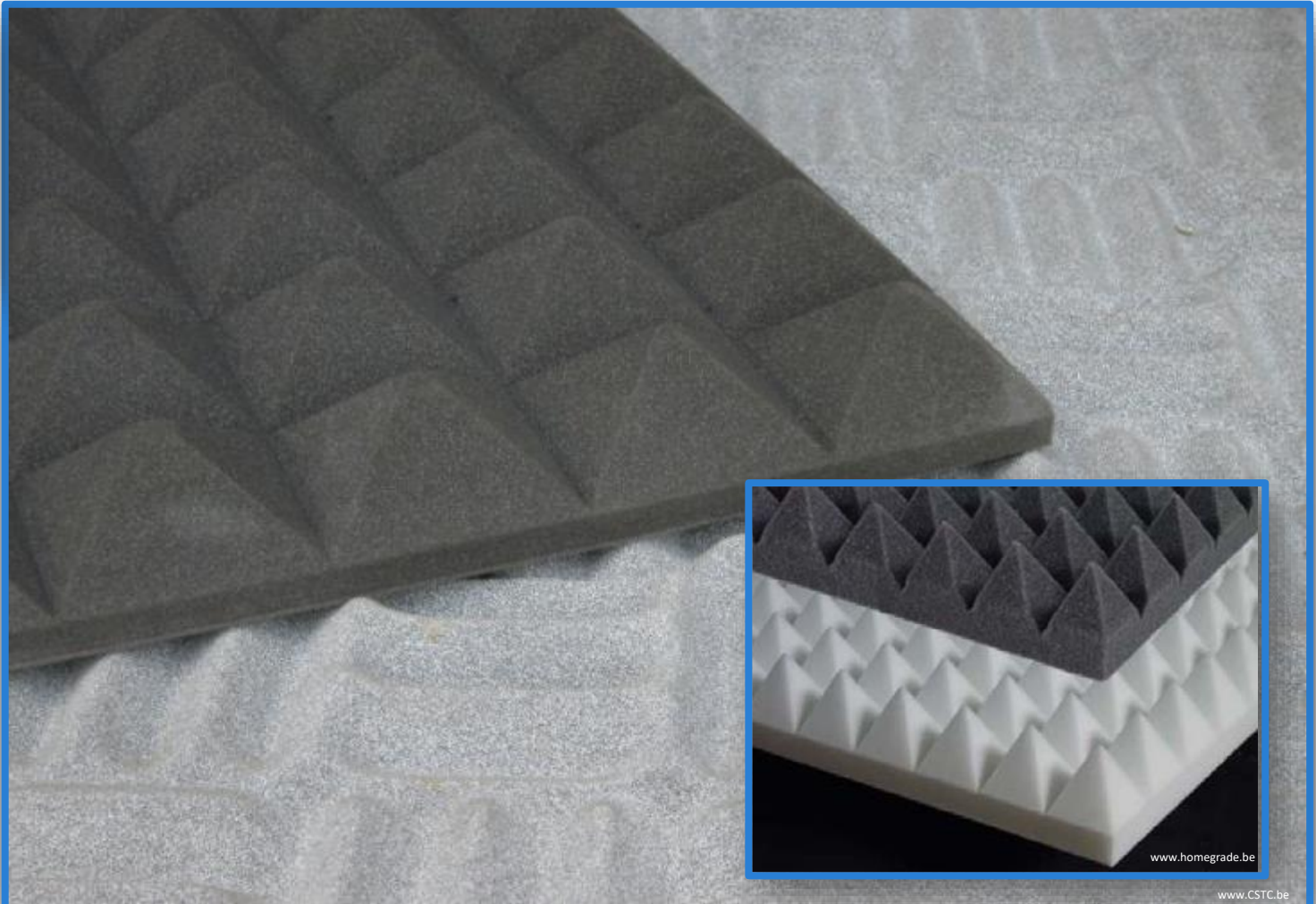


100 µm



www.homegrade.be

5 µm



www.homegrade.be

www.CSTC.be



La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les absorbants poreux – mousses à cellules ouvertes**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : les absorbants poreux – alternatives écologiques

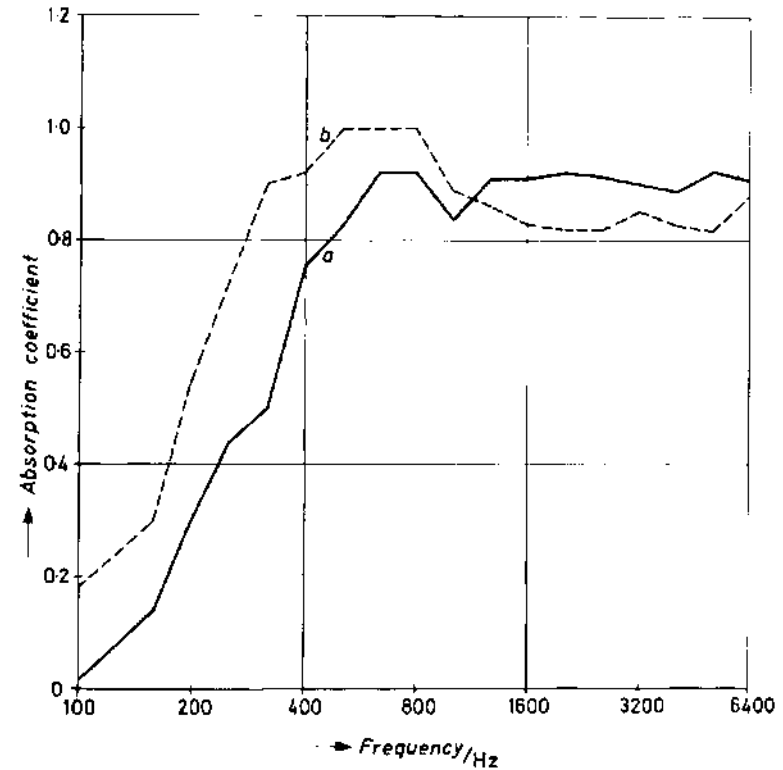
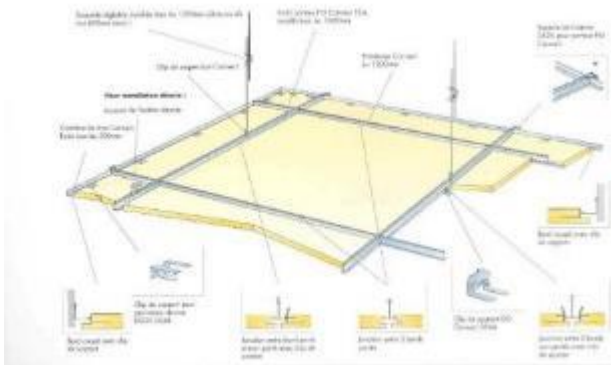
Le panneau d'herbe, le chanvre, le kenaf, le lin, la laine de mouton, la cellulose, le lin, la fibre de bois, le duvet...





Matériaux pour la correction acoustique :

Lattage bois devant un absorbant poreux ($S_{\min} = 20\%$ d'ouverture)



Faux-plafonds en matériaux poreux : intérêt d'avoir un plenum derrière ceux-ci pour permettre une meilleure absorption des basses fréquences.



La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les faux-plafonds absorbants en laine minérale revêtue**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les faux-plafonds absorbants en laine minérale revêtue**

PRODUITS	Épaisseurs Panneaux (en mm)	Détails de Bord, Perforations	α_w	Classe	Fréquence Hz						Hauteur de plénum (mm)
					125	250	500	1000	2000	4000	
Économique											
Minerval®	12	Bord A	0,80	B	-	-	-	-	-	-	200
	15	Bord A	0,90	A	0,25	0,66	0,87	0,79	0,90	0,96	200
		Bord E	0,90	A	0,65	0,80	0,90	0,85	0,95	1	200

Plus performant tout simplement

Produits	Page	Bords	Dimensions*	Surface	Classe d'absorption	α_w
MONOLITHIC						
Mono Acoustic TE	40	Mono TE	1200 - 1200	Structurée	A	0,80 - 0,90
DESIGN WHITE						
<i>Finition lisse</i>						
Fibral Blanc	40	A	600 - 2400	Lisse	A	1,00
Krios	44	A, D, Dnzl/A, E, X	300 - 2400	Lisse	A	1,00
Krios Bas	48	A	600 - 1200	Lisse	E	0,25
Krios O2	50	A	600 - 1200	Lisse	A	1,00
Krios dB 35	56	A, E	600 - 1800	Lisse	B	0,80
Krios dB 40	58	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
Krios dB 42	60	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
Krios dB 44	62	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
<i>Finition structurée</i>						
Sonar	64	A, D, Dzn/A, E, G, M, X	300 - 2400	Structurée	A	1,00**
Sonar Activity	68	B	600 - 1200	Structurée	A	0,95
Sonar Bas	70	A	600 - 1200	Structurée	E	0,20
Sonar dB 35	74	A, E	600 - 1800	Structurée	B	0,80
Sonar dB 40	76	A, D, Dzn/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
Sonar dB 42	78	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
Sonar dB 44	80	A, D, Dzn/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
DESIGN DECO						
Rockfon Color-all	82	A, D, E, X	600 - 2400	Lisse	A	1,00
Ligna	88	A, E	600 - 1200	Lisse	B	0,85



La pratique de la correction acoustique des salles

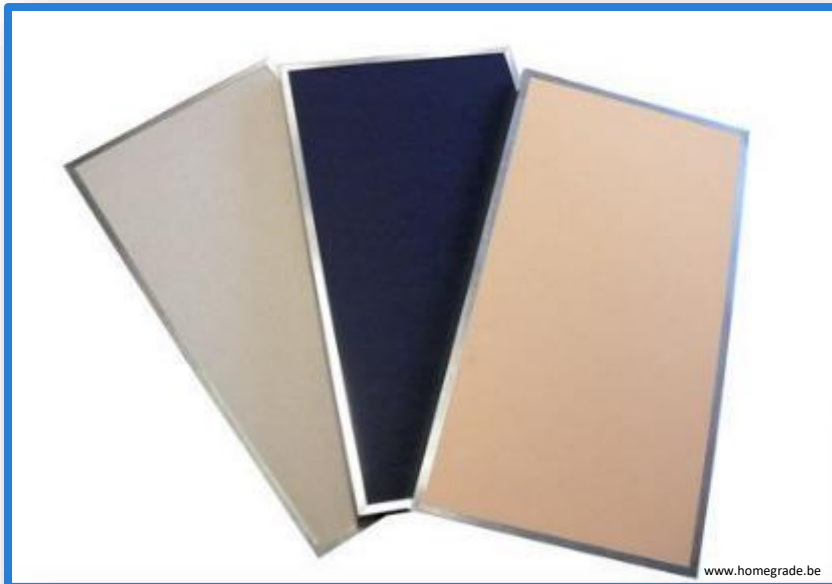
Matériaux pour la correction acoustique : **les faux-plafonds absorbants en laine minérale revêtue + LM plenum**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les baffles absorbants**



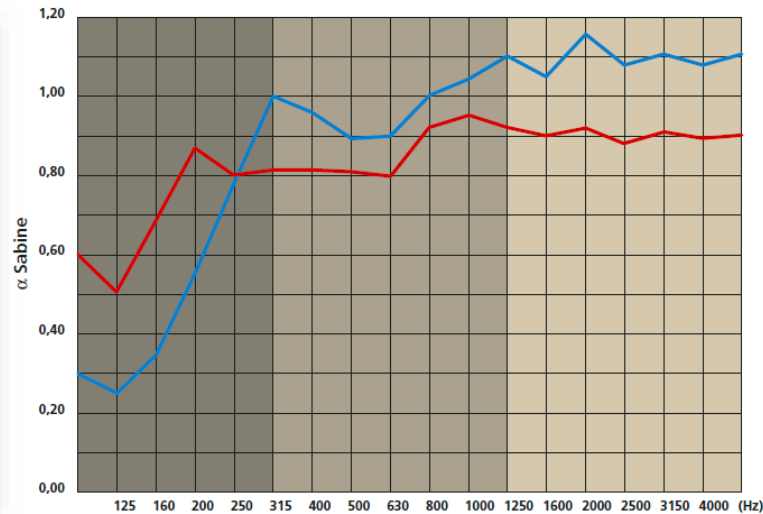
Rij-afstand tussen Baffles 587	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
450 mm	0,33	0,42	0,77	0,93	0,88	0,84
600 mm	0,25	0,44	0,71	0,91	0,85	0,81
900 mm	0,31	0,38	0,69	0,83	0,81	0,74





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les ciels acoustiques**



nappe flottante
(plénum 300 mm ouvert)

nappe encastrée
(plénum 300 mm fermé)

Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w
nappe flottante	0.26	0.77	0.88	1.04	1.15	1.08	1
nappe encastrée	0.48	0.81	0.82	0.96	0.92	0.89	0.9





La pratique de la correction acoustique des salles

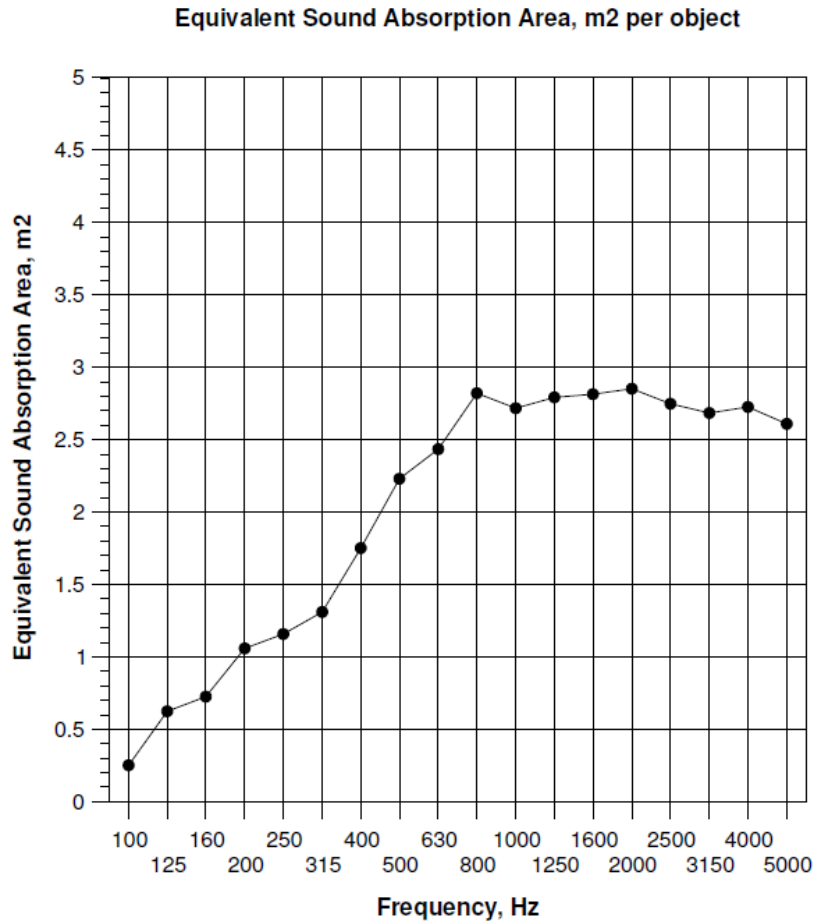
Matériaux pour la correction acoustique : **les ilots acoustiques**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les ilots acoustiques**



Test object	Equivalent sound absorption area in octave bands, (A_{obj} m ²)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Master Solo S 1200x1200 - 200 Single panel	0,5	1,1	1,9	2,2	2,2	1,9
Master Solo S 1200x1200 - 600 Single panel	0,5	0,8	1,7	2,6	2,7	2,5
Master Solo S 2400x1200 - 200 Single panel	0,9	2,4	3,4	4,0	4,1	3,8
Master Solo S 2400x1200 - 600 Single panel	1,1	1,9	3,5	4,9	5,1	4,9
Master Solo S 1800x1000 - 200 Single panel	0,7	1,3	2,2	2,8	2,9	2,5



La pratique de la correction acoustique des salles

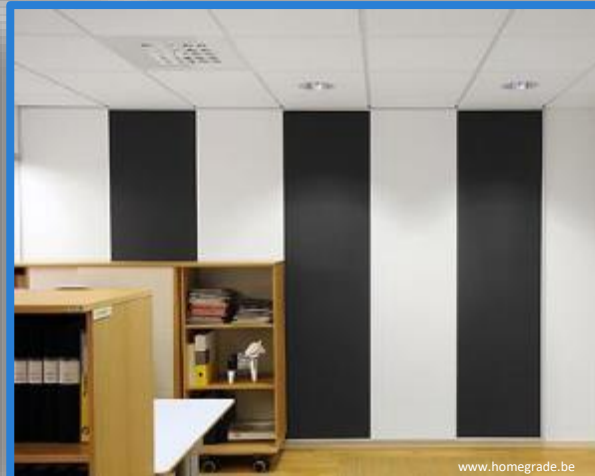
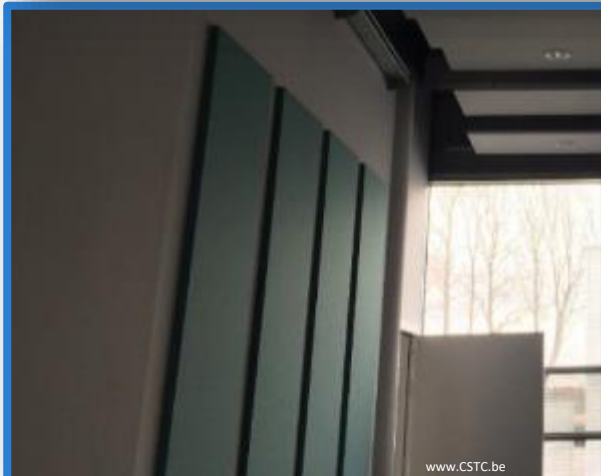
Matériaux pour la correction acoustique : **les ilots acoustiques**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les capteurs acoustiques muraux**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les capteurs acoustiques muraux**









La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les stores et éléments de mobilier absorbants**



Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	α_{w}	Class
lames 133 mm ouvertes	0.13	0.15	0.22	0.21	0.27	0.43	0.25	D (H)
lames 133 mm fermées	0.02	0.08	0.18	0.31	0.27	0.41	0.30	D

PV essais disponibles sur demande.
Les performances sont proches entre stores ouverts et fermés.







La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les stores et éléments de mobilier absorbants**

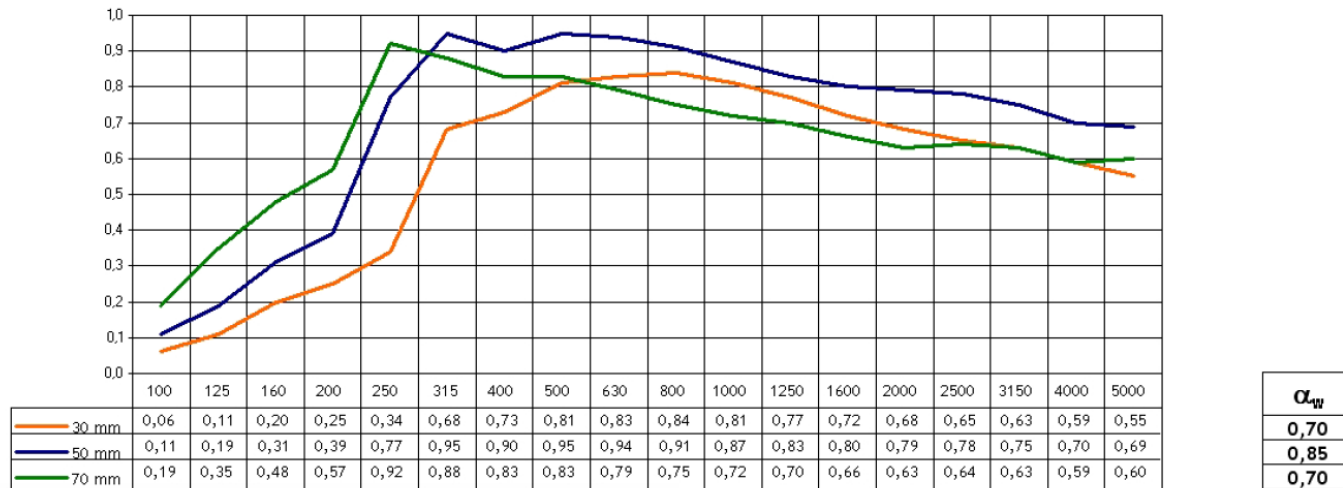






La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **absorbants poreux revêtus d'un enduit acoustique**





La pratique de la correction acoustique des salles

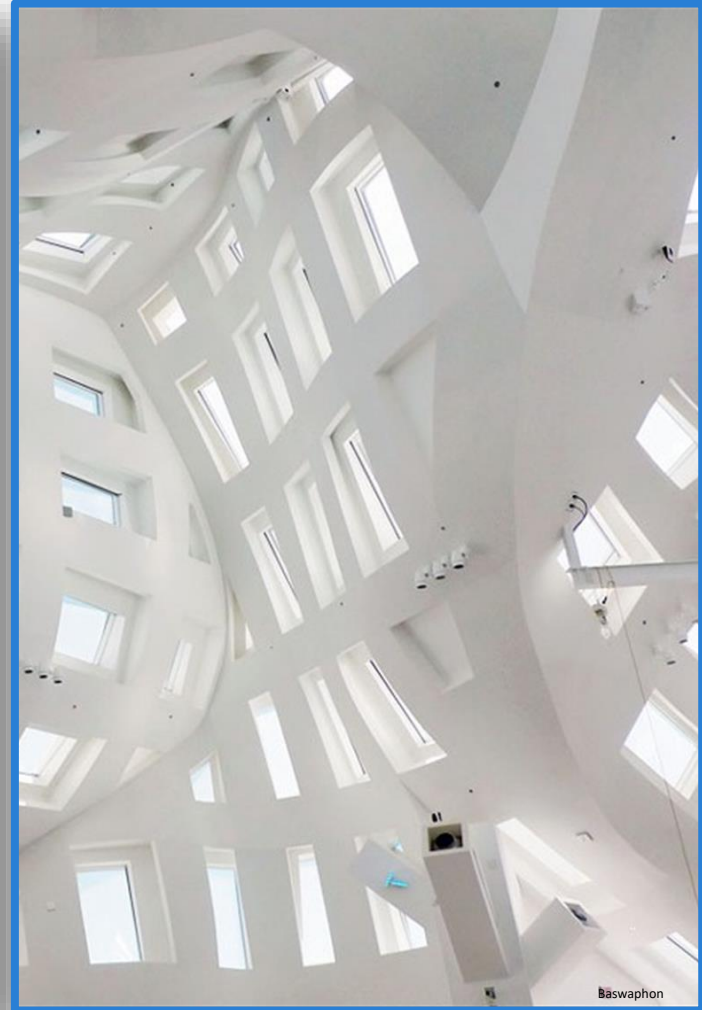
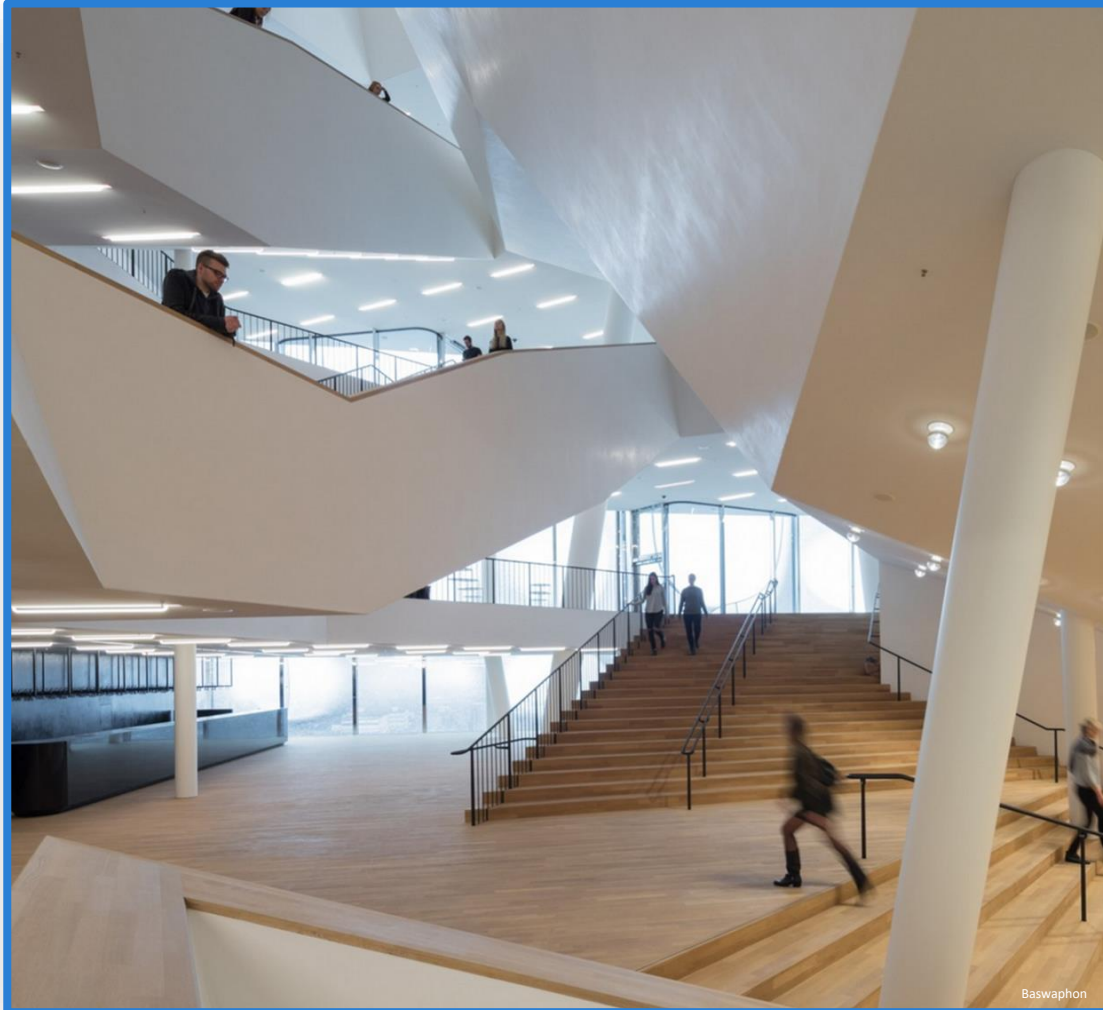
Matériaux pour la correction acoustique : **absorbants poreux revêtus d'un enduit acoustique**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **absorbants poreux revêtus d'un enduit acoustique**





La pratique de la correction acoustique des salles

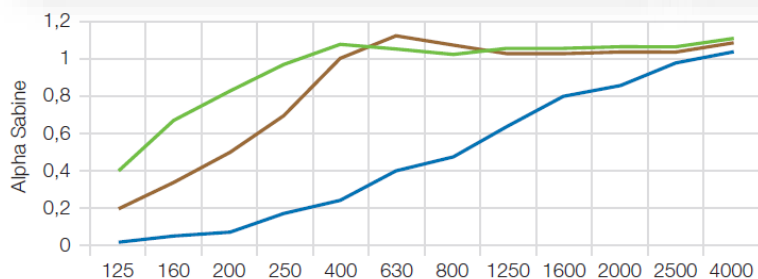
Matériaux pour la correction acoustique : **absorbants poreux revêtus d'un enduit acoustique**





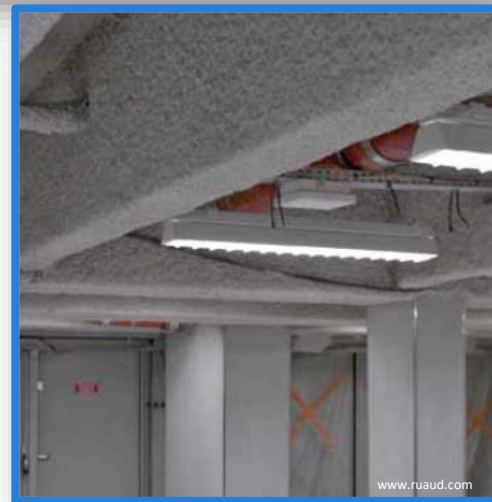
La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **projections absorbantes**



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

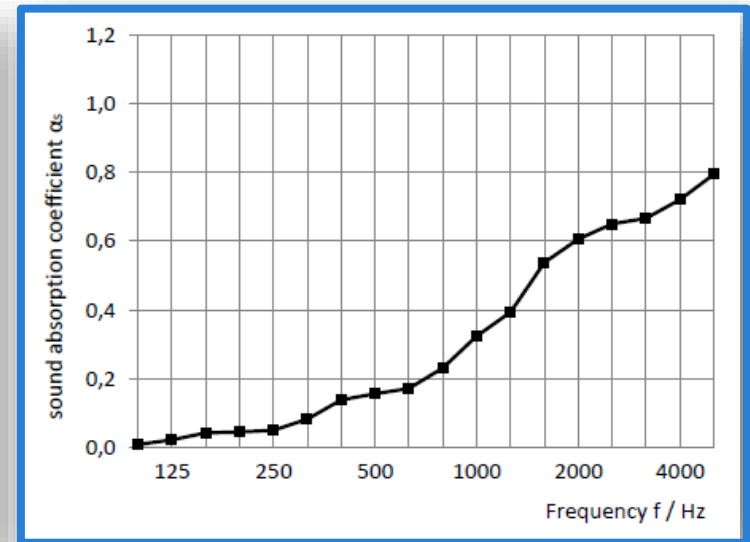
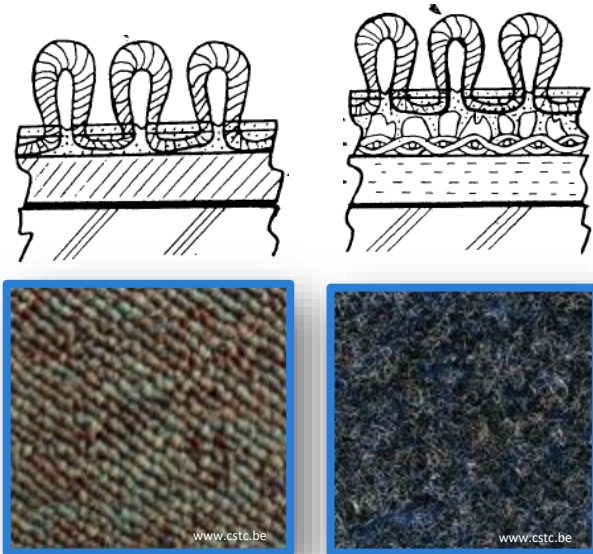




La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **absorbants poreux – les moquettes et tapis**

Plus le tapis sera épais, à longs poils, plus l'absorption sera élevée (mais limitée : α_w 0,15 à 0,35).



	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





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les résonateurs de Helmholtz**

Résonateur **de Helmholtz** = élément formé d'un goulot et d'une cavité (exemple : bouteille)

Vibrations sonores → vibration à la fréquence propre → deux conséquences :

- Amplification à courte distance,
- Atténuation à une distance plus éloignée.



Principe : il “prend” de l'énergie dans la salle pour réaliser l'amplification à proximité du goulot. Bilan énergétique total de la salle : moins d'énergie à cette fréquence dans le reste de la salle.

On peut le combiner à un absorbant poreux.

→ Domaine d'action : FREQUENCE PROPRE DU SYSTEME :

Avec :

S : surface du goulot,

l : longueur du goulot,

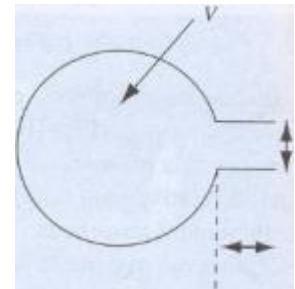
P_0 : pression atmosphérique statique (101 325 Pa),

V : volume de la cavité (hors goulot),

ρ_0 : masse volumique de l'air (1.2 kg/m³ à 20°C),

γ : constante thermodynamique = 1.4.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma P_0 S}{\rho_0 l V}}$$



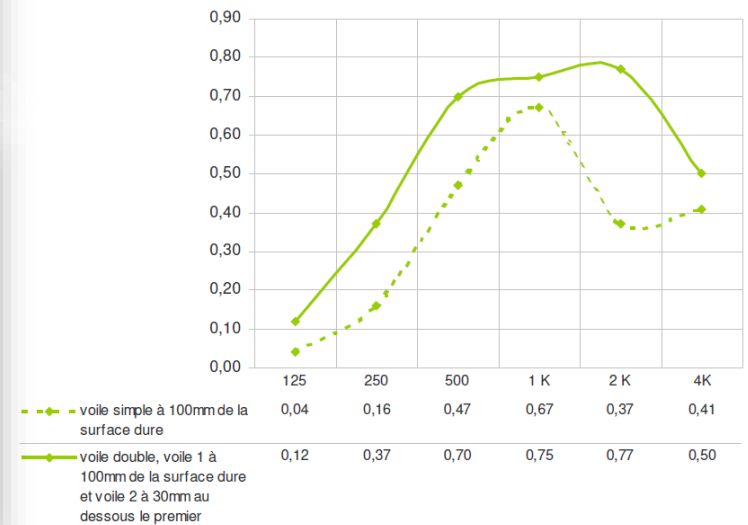


La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les résonateurs de Helmholtz**



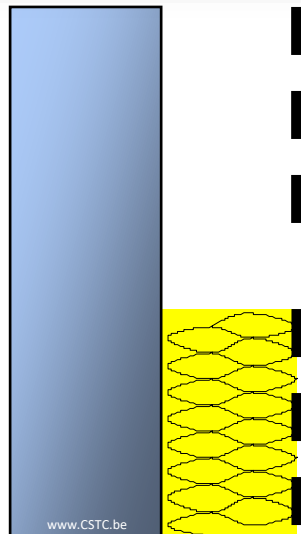
■ coefficient d'absorption α_s





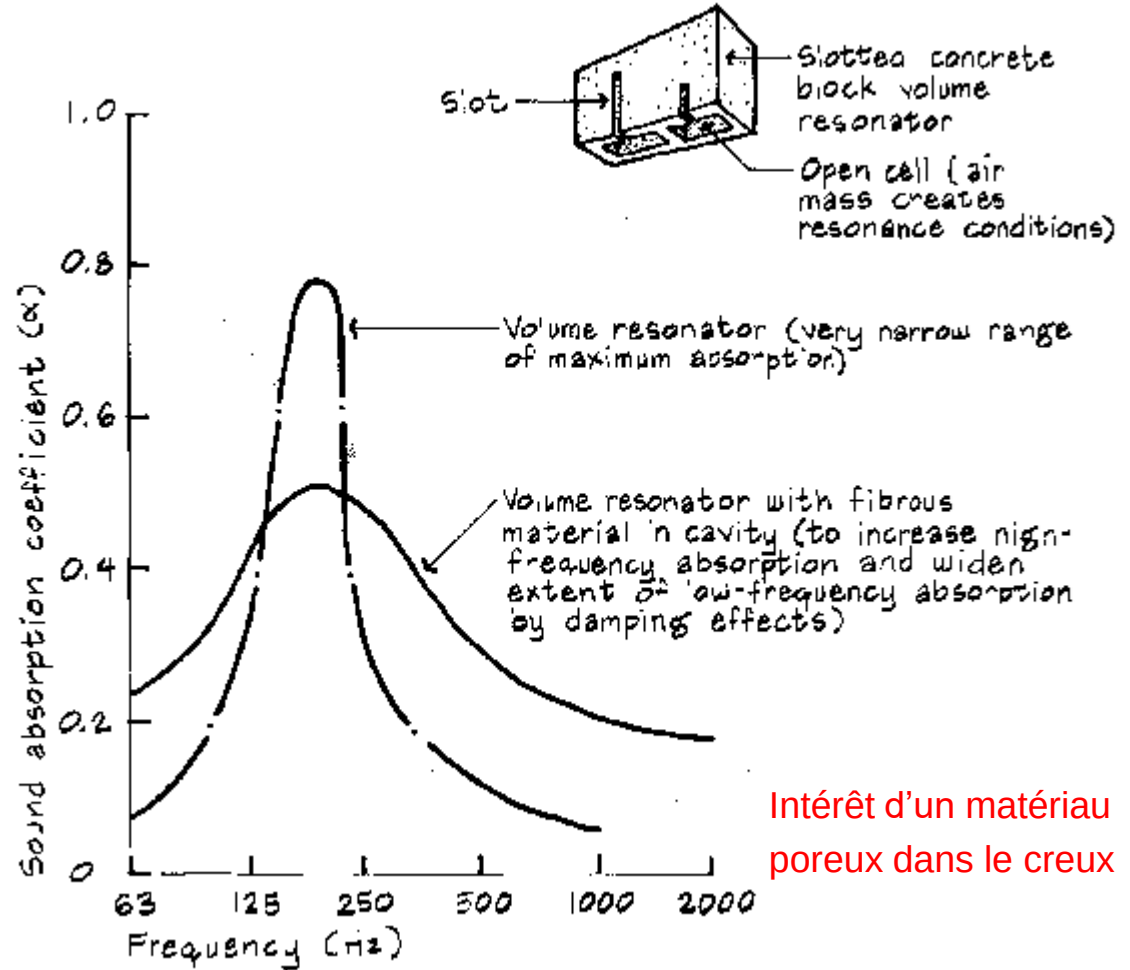
La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : les résonateurs combinés à des matériaux poreux



(a)

(b)



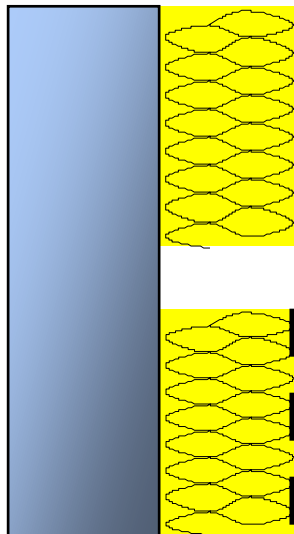
Intérêt d'un matériau poreux dans le creux





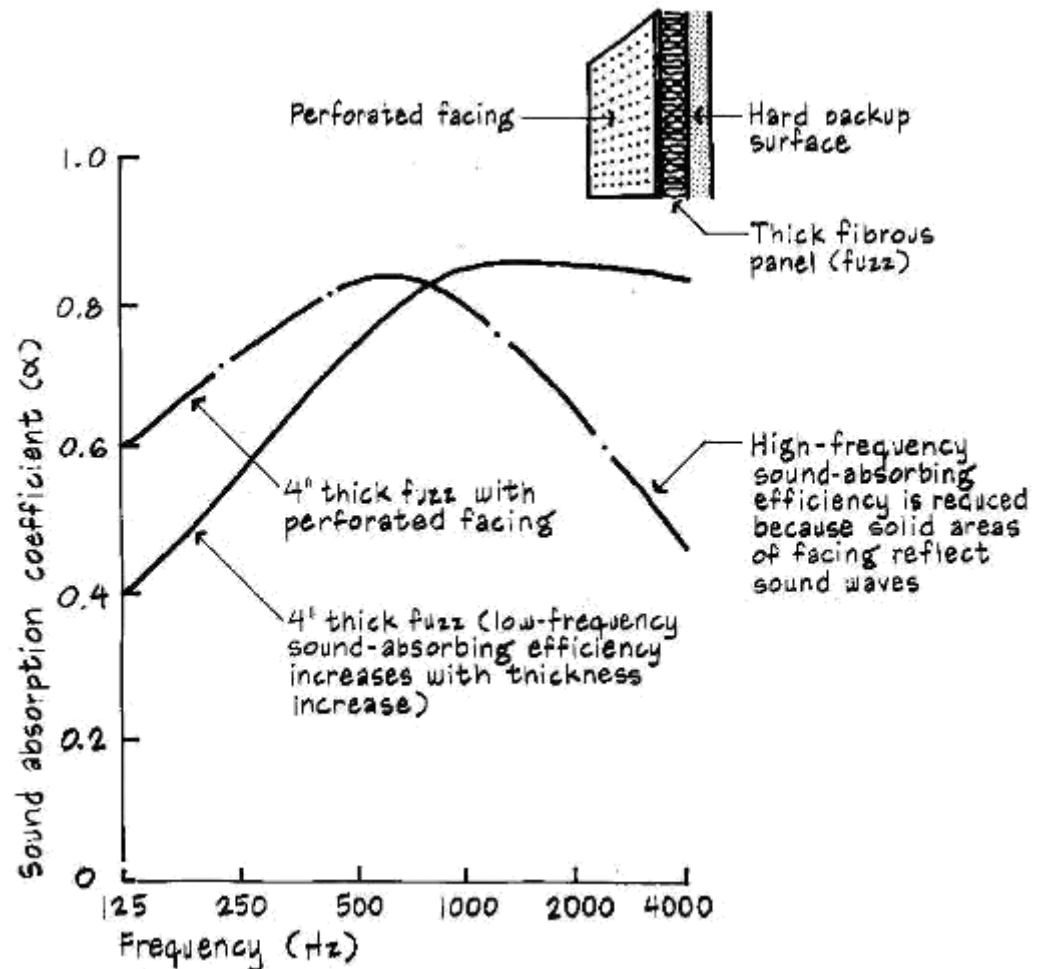
La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les résonateurs combinés à des matériaux poreux**



(a)

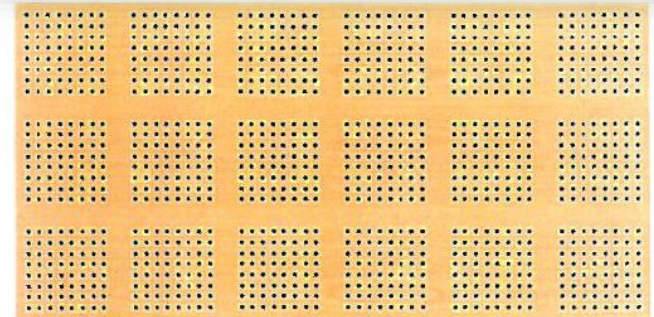
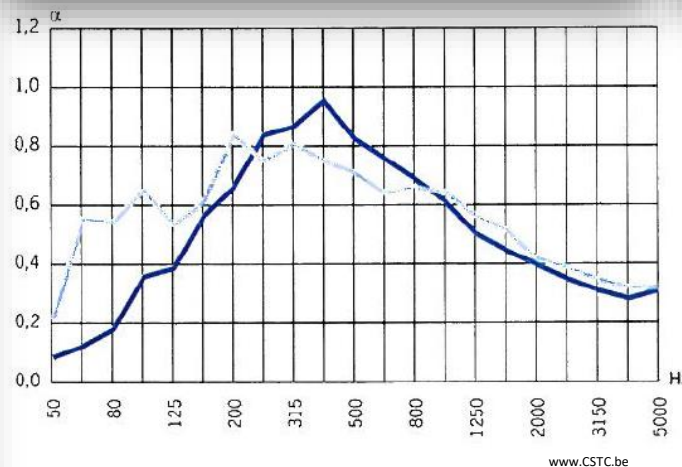
(b)





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les panneaux de bois perforés (sans/avec un absorbant poreux)**



A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm, E = 20 mm,
 $\varnothing$ = 8 mm. Module measurement 200 x 200 mm.
 Absorption class D. Open area 8%.



La pratique de la correction acoustique des salles

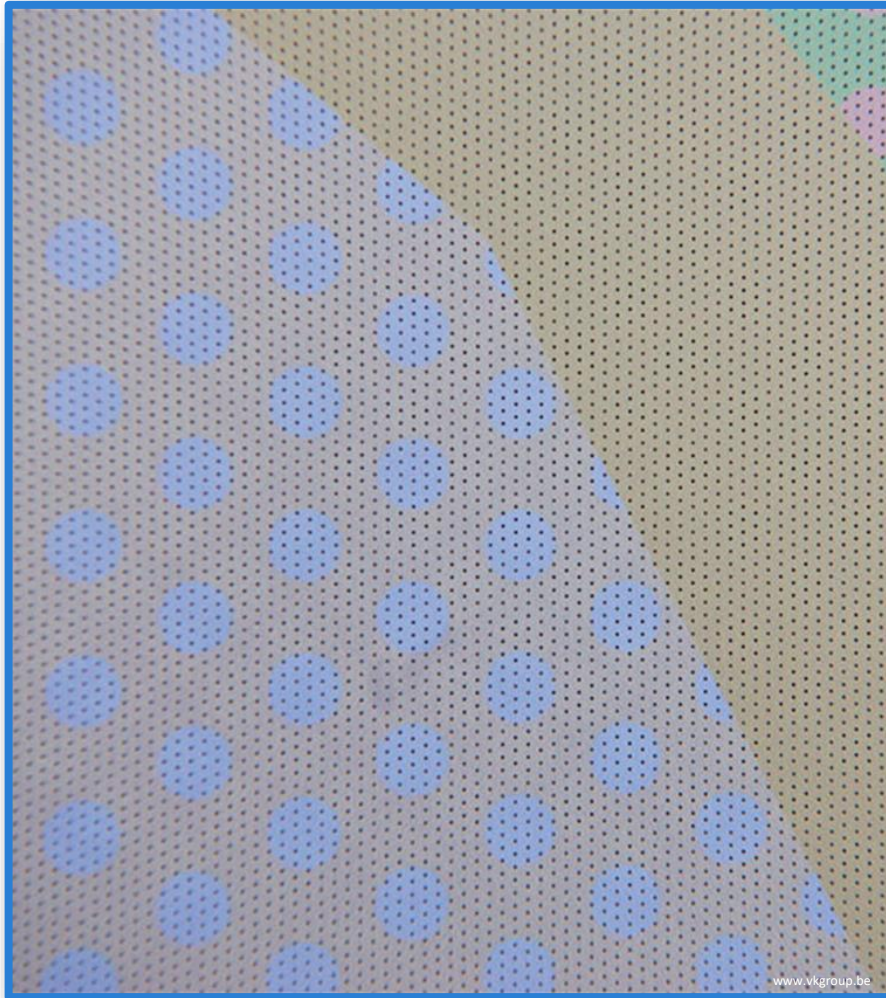
Matériaux pour la correction acoustique : **les panneaux de bois micoperforés**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les panneaux de bois micoperforés imprimés**



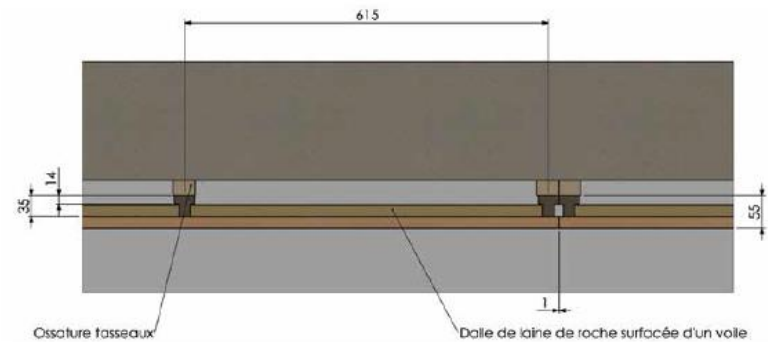


La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **matériaux poreux derrière lattage bois**



Mise en oeuvre vue de coupe

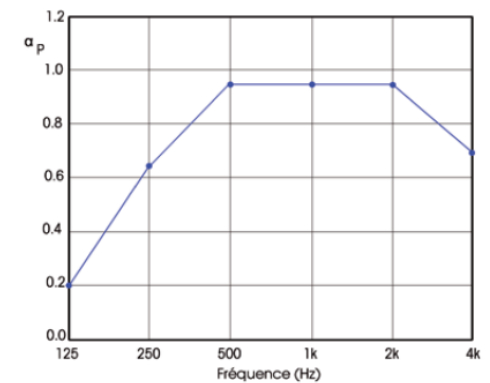


Lauder LINEA mur 4.2.4
+ LR 20 MM sur plénum
E50 mm

F(Hz)	α_p
125	0.20
250	0.65
500	0.95
1000	0.95
2000	0.95
4000	0.70

Indice pondéré :

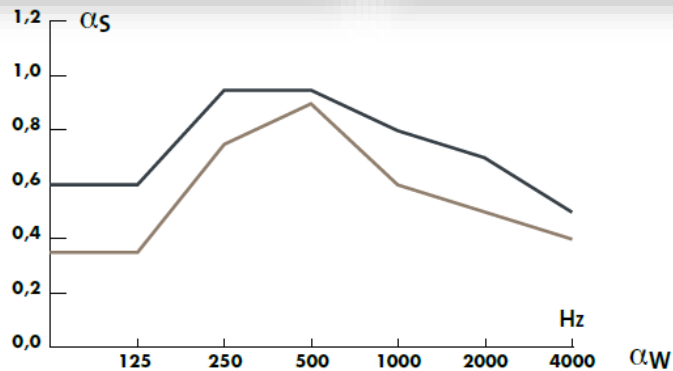
$$\alpha_w = 0,85$$





La pratique de la correction acoustique des salles

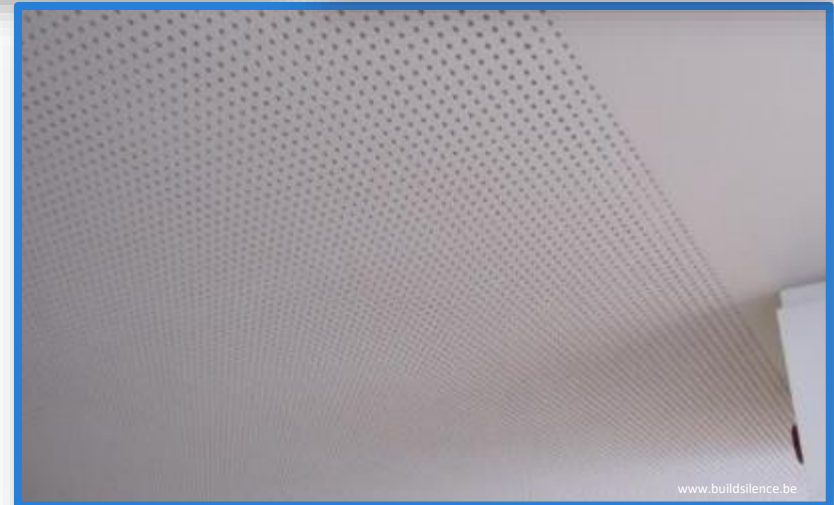
Matériaux pour la correction acoustique : **les plaques de plâtre perforées (sans/avec un absorbant poreux)**



Plénum 200 mm / laine 50 mm	0,60	0,95	0,95	0,80	0,70	0,50	0,70 (LM)
Plénum 200 mm / sans laine	0,35	0,75	0,90	0,60	0,50	0,40	0,55 (LM)

PV Accon GmbH n° ACB-0399-1845/3 - PV Accon GmbH n° ACB-0399-1845/2

www.knauf.be

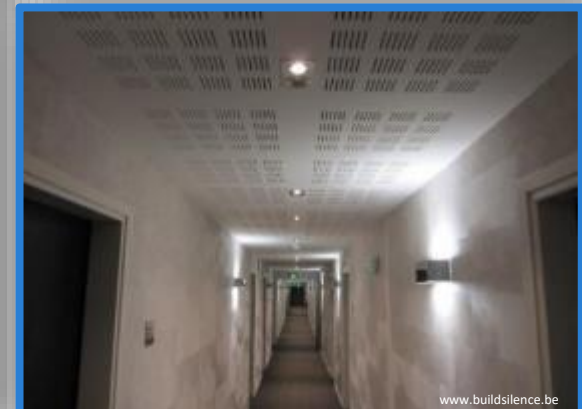




La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les plaques de plâtre perforées (sans/avec un absorbant poreux)**

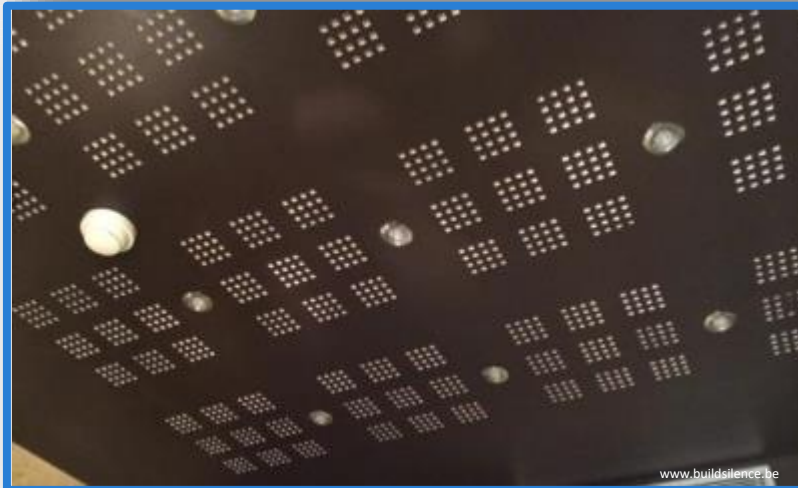
L'absorbant utilisé avec ces panneaux est habituellement une laine minérale mais placé derrière les perforations, **un absorbant écologique** (tel que décrit ci-avant) devrait permettre d'obtenir un résultat pratiquement identique à celui obtenu avec de la laine minérale.





La pratique de la correction acoustique des salles

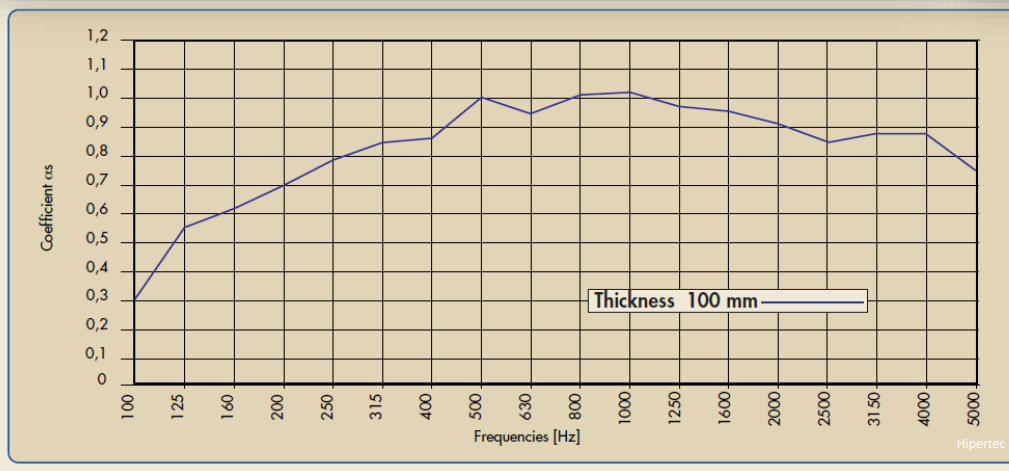
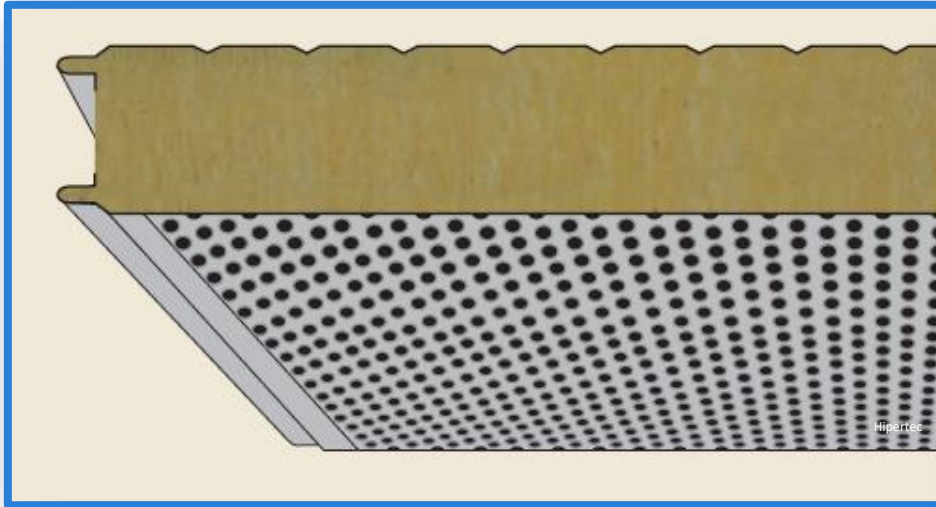
Matériaux pour la correction acoustique : **les plaques de plâtre perforées (sans/avec un absorbant poreux)**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **bardages et cassettes métalliques perforées**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **bardages et cassettes métalliques perforées**

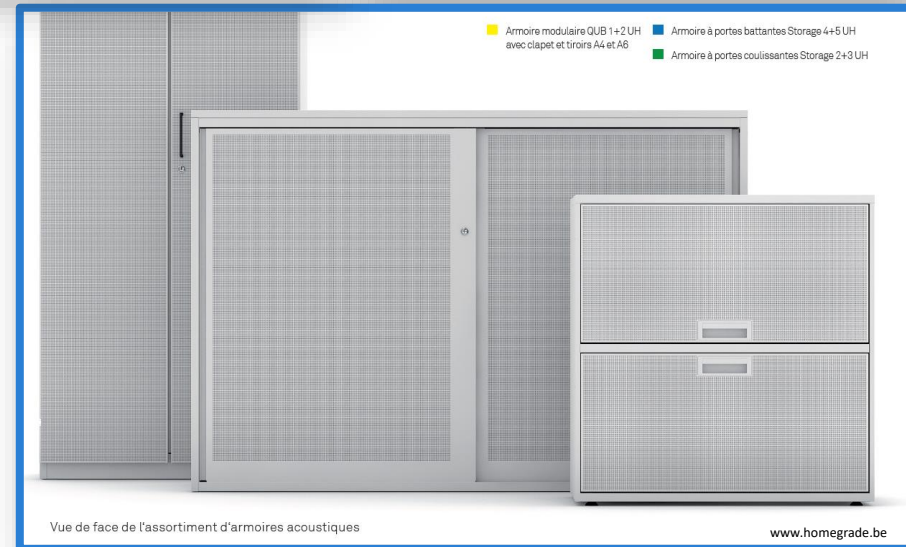
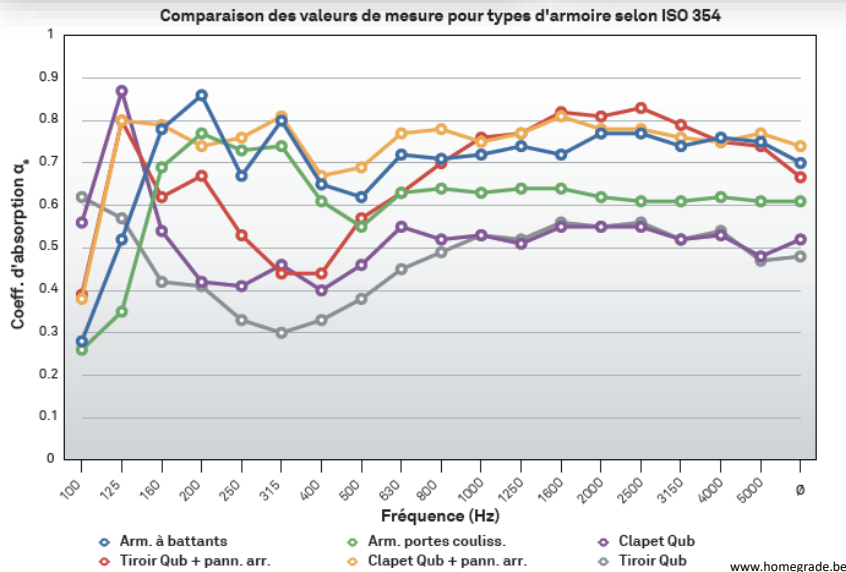
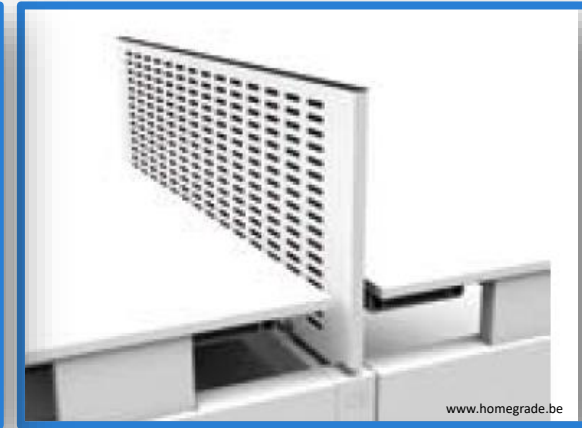






La pratique de la correction acoustique des salles

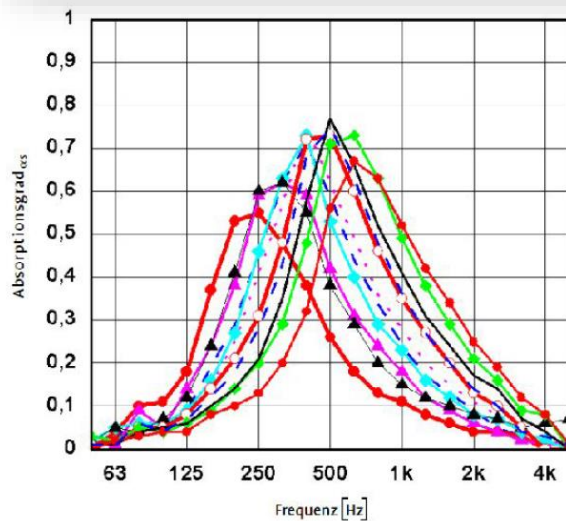
Matériaux pour la correction acoustique : **meublier absorbant - résonateurs**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les résonateurs de Helmholtz**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les diaphragmes - absorbants à membrane – principes de l'absorption**

Diaphragmes ou panneaux acoustiques = panneaux placés à une distance d d'un mur.

Vibrations sonores → vibration du panneau + de la lame d'air → masse lourde, vibre en basses fréquences.

→ Domaine d'absorption : BASSES FREQUENCES, surtout à la fréquence propre du panneau :

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$$

Avec : d : distance par rapport au mur (m),

ρ_s : masse par unité de surface du panneau (kg/m^2).

Exemple :

Soit un panneau MDF revêtu ($\rho_s = 5 \text{ kg/m}^2$), à 8 cm du mur

→ sa fréquence propre = 95 Hz.

Si on place un matériau absorbant entre le panneau et le mur

→ absorption sur une zone fréquentielle plus large.





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les diaphragmes - absorbants à membrane – principes de l'absorption**

Diaphragmes ou panneaux acoustiques = panneaux placés à une distance d d'un mur.

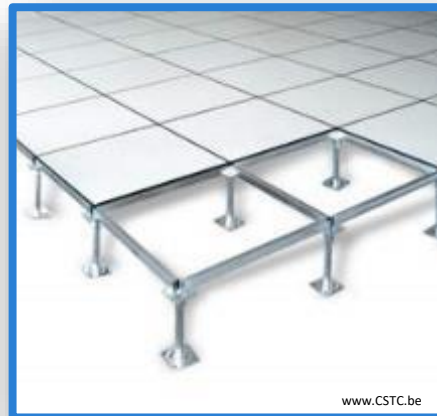
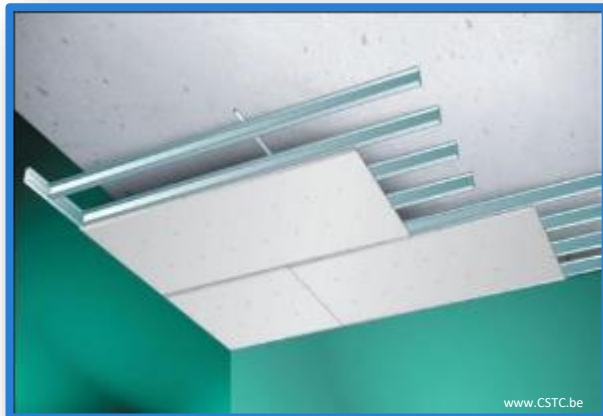
Vibrations sonores → vibration du panneau + de la lame d'air → masse lourde, vibre en basses fréquences.

→ Domaine d'absorption : BASSES FREQUENCES, surtout à la fréquence propre du panneau :

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$$

Avec : d : distance par rapport au mur (m),

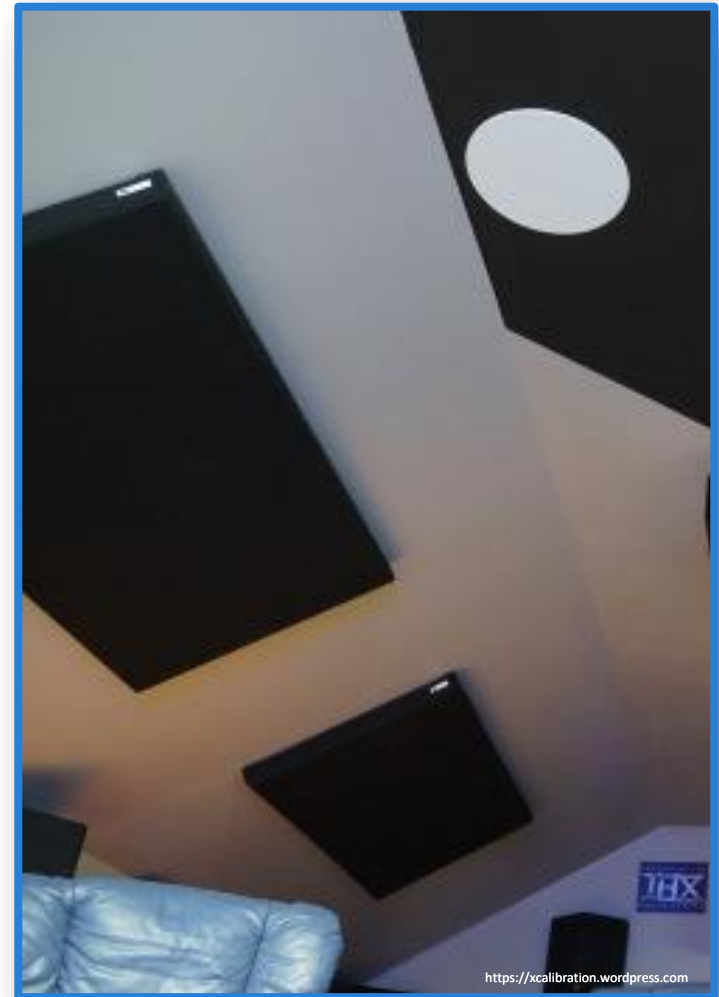
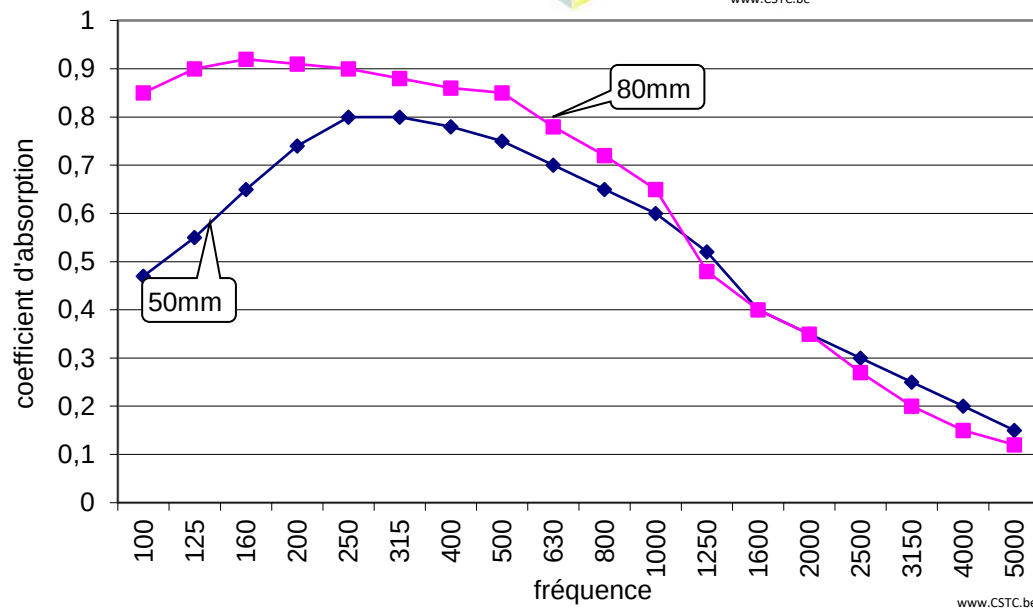
ρ_s : masse par unité de surface du panneau (kg/m²).





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les diaphragmes - absorbants à membrane**





La pratique de la correction acoustique des salles

Matériaux pour la correction acoustique : **les diaphragmes - absorbants à membrane**



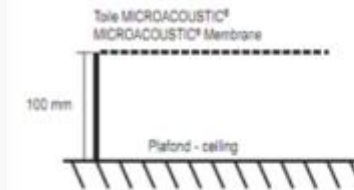


La pratique de la correction acoustique des salles

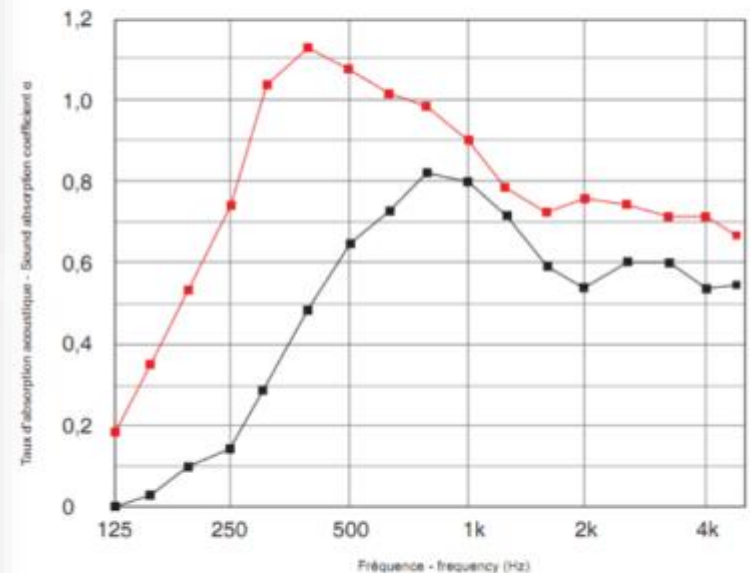
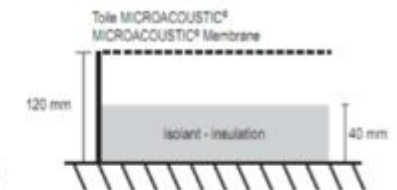
Matériaux pour la correction acoustique : **les toiles tendues**



Microacoustic® sans isolant :



Microacoustic® avec isolant :



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





La pratique de la correction acoustique des salles

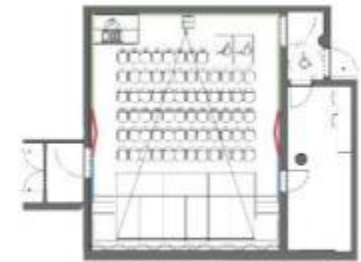
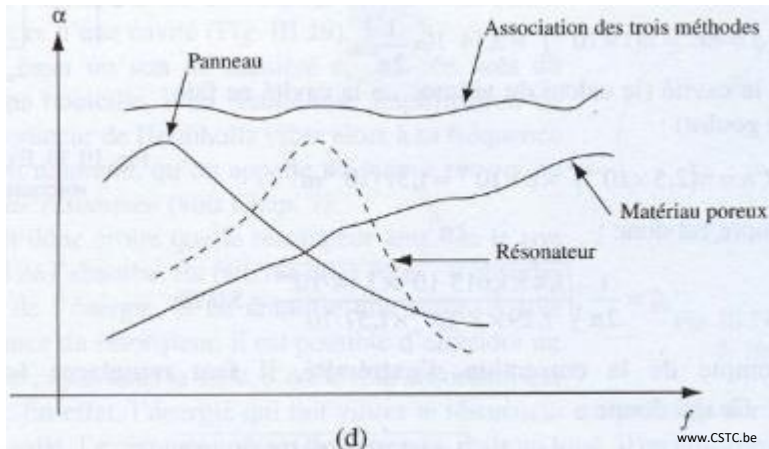
Matériaux pour la correction acoustique : **les panneaux diffusants**





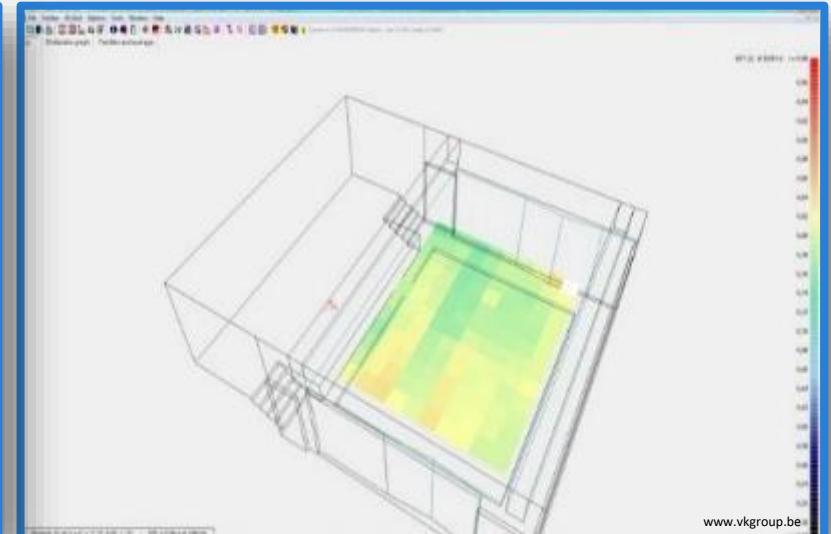
La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : **association de différents dispositifs d'absorption couvrant l'ensemble du spectre**



HAUTES / MOYENNES FRÉQUENCES
PANNEAUX DIFFUSANTS
BASSES FRÉQUENCES

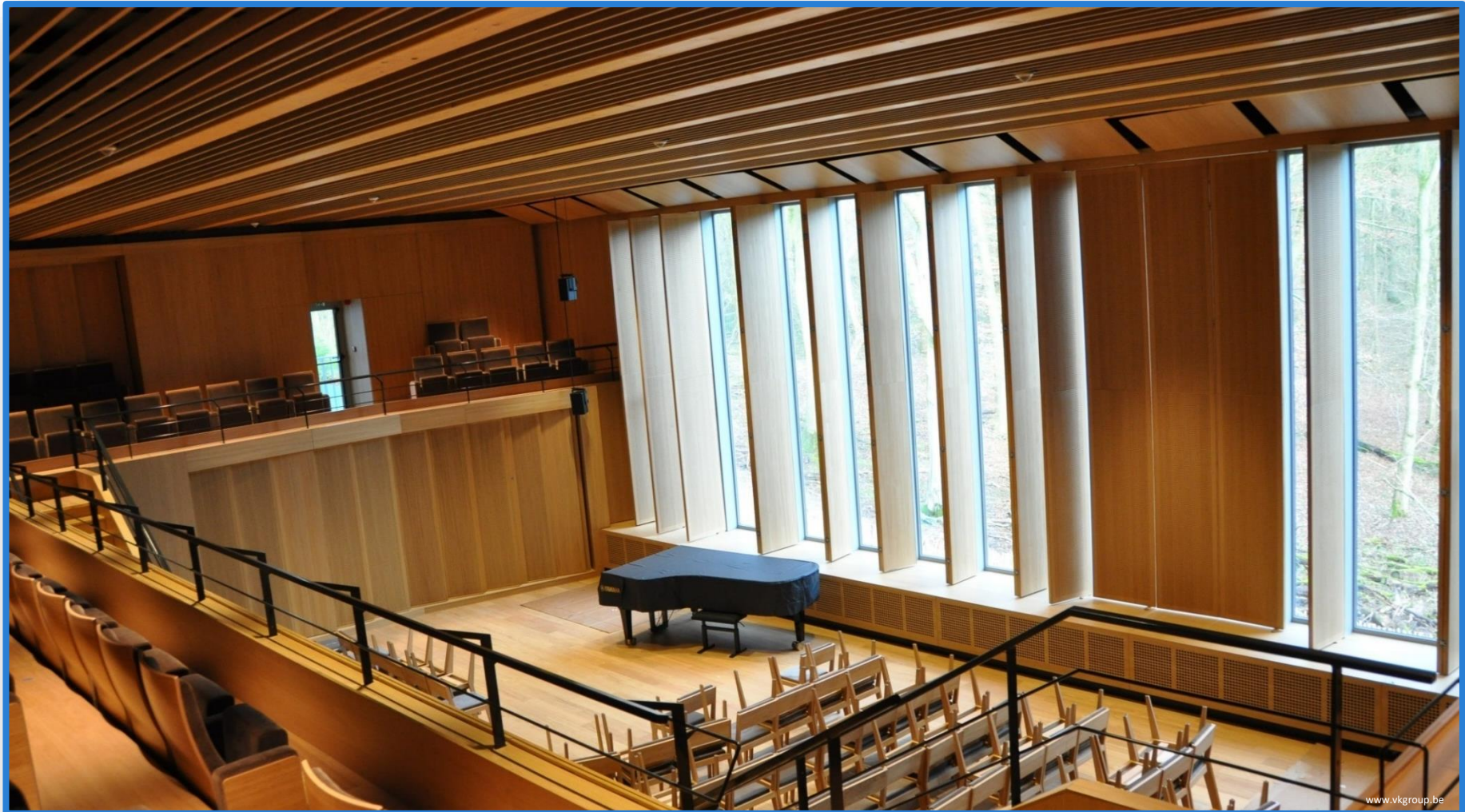
www.vkgroup.be





La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : les salles avec temps de réverbération variable





La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : les salles avec temps de réverbération variable

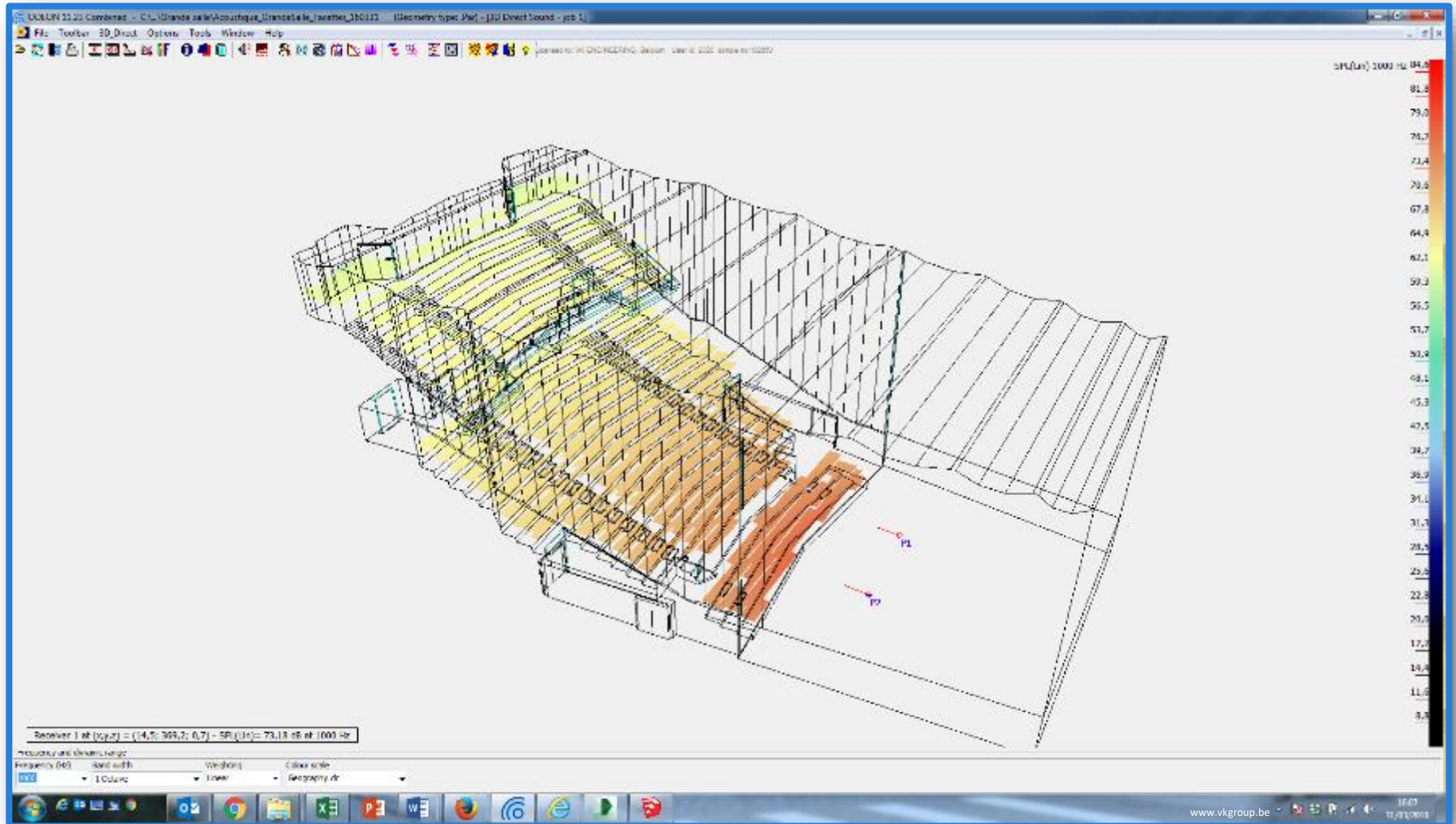


www.vkgroup.be



La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : logiciels de simulation acoustique (tirs de rayons)





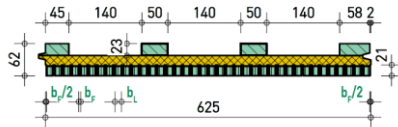
La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : **association de différents dispositifs d'absorption couvrant l'ensemble du spectre**

Variante d'absorbeur A50G

Env. 50 % de part d'absorbeur dans la couche transversale, absorbeur : fibres de bois souples

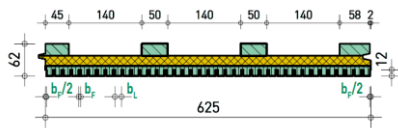
Coupe transversale :



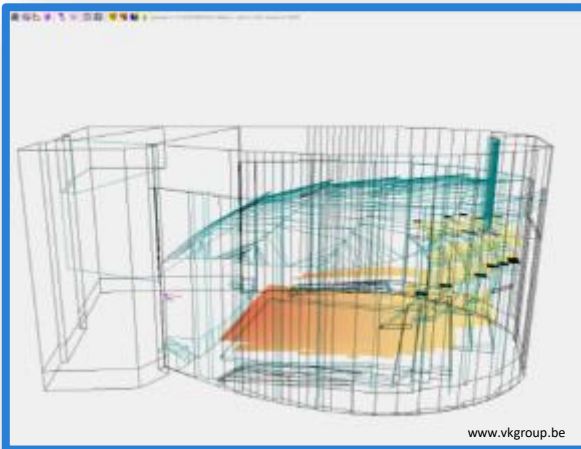
Variante d'absorbeur R0 (« réfléchissant »)

Les rainures sont moins profondes et n'atteignent pas la couche d'absorbeur.

Coupe transversale



www.vkgroup.be



www.vkgroup.be



www.vkgroup.be



La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : optimisation acoustique des salles “polyvalentes”





La pratique de la correction acoustique des salles

Acoustique des salles : les meilleures salles au monde : le Boston Symphony Hall



Informations sur les produits absorbants (liste non exhaustive)

<http://www.ruaud.com/>

<http://www.doxacoustics.com/>

<http://www.bruynzeelmultipanel.com/>

<http://www.abbarrisol.com/>

<http://www.sto.at/>

<http://www.rockfon.be>

<http://www.decoustics.com>

www.ecophon.com

www.doxacoustics.be

www.caldic.be

<http://www.texaa.com>



Outils, sites internet, etc... intéressants :

- **Guide Bâtiment Durable**



➤ [Page d'accueil](#)



➤ Dossier | [Assurer le confort acoustique](#)

- Dispositif | [Acoustique d'une paroi massive simple](#)
- Dispositif | [Acoustique d'une paroi légère en plaques de plâtre](#)
- Dispositif | [Acoustique d'un plancher porteur massif](#)
- Dispositif | [Matériaux d'isolation pour les bruits d'impact](#)
- [Vue d'ensemble des dispositifs](#)



➤ Dossier | [Minimiser la contribution acoustique du bâtiment au quartier](#)



Outils, sites internet, etc... intéressants :

- ACOUSTIQUE PRATIQUE – J. Desmons – EDIPA, Paris – 2004.
- L'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT PAR L'EXEMPLE – M. Meisser – Le Moniteur, Paris – 1994.
- ACOUSTIQUE PRATIQUE – J. Desmons – EDIPA, Paris – 2004.
- BOUWAKOESTIEK – G. Vermeir – Faculteit Toegepaste Wetenschappen, K.U. Leuven – 2003.
- CORRECTION ET ISOLATION ACOUSTIQUE – J. Boeckstael / M. Van Damme – Institut Supérieur Industriel de la Communauté Française, Mons – 1999.
- LA PRATIQUE DE L'ISOLATION ACOUSTIQUE DES BÂTIMENTS – J. Pujolle – Editions du Moniteur, Paris – 1978.
- ZAALAKOESTIEK – D. De Vries – Hogere Cursus Akoestiek, Antwerpen – 2002.
- Articles et conférences du CSTC 2001-2014 – www.cstc.be – www.normes.be



Contact

Manuel VAN DAMME

Acoustical Expert @ Build Silence

www.buildsilence.be

mvd@buildsilence.be

+32 (0)478/98.98.42

