

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ACOUSTIQUE : CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

PRINTEMPS 2022



SUSTAINABLE BUILDING INNOVATION

UN SERVICE DU



EN COLLABORATION AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE



Réverbération et absorption acoustique

Debby WUYTS
CSTC





Votre partenaire
en innovation, la
construction 4.0 et la
construction durable

Public cible

→ professionnels de la construction travaillant
à la **Région Bruxelles-Capitale**



Entrepreneurs

Mais aussi...



MO publics



Architectes



Ingénieurs



Fabricants





Cherchant ...



support technique



informations fiables et neutres sur le marché



possibilités de **financement** et de **subsidés**



sessions d'information concernant les nouvelles technologies

... pour développer et réaliser une idée innovante ?





Thématiques



- **L'énergie**
- Utilisation durable de **matériaux** et l'économie **circulaire**
- La **restauration**, rénovation et maintenance des bâtiments et façades
- La construction durable: **bois, biomatériaux**, façades et toitures **vertes**
- Le confort **acoustique**
- **IAQ & Santé**
- **Digital** construction



Votre partenaire
en innovation, la
construction 4.0 et la
construction durable

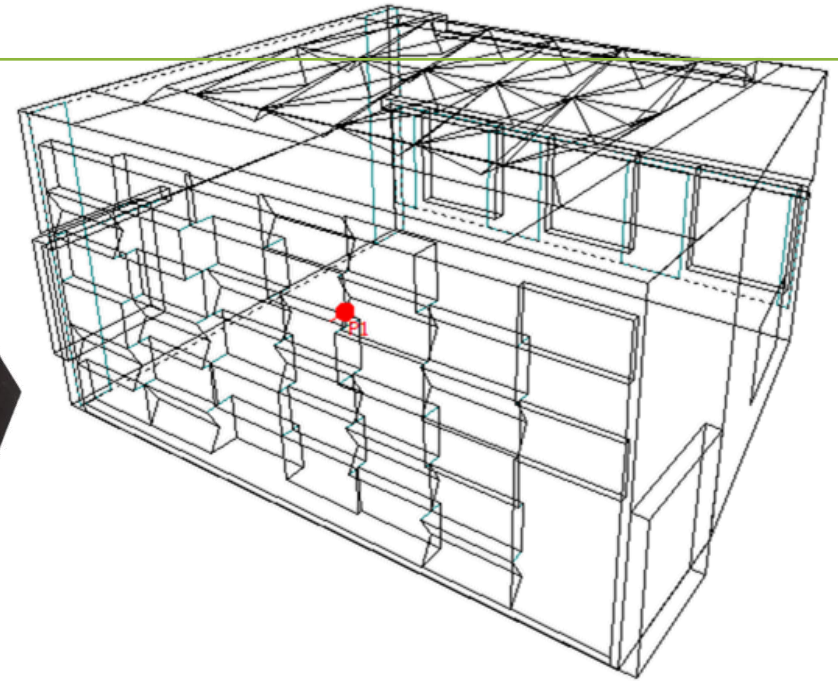
Contactez-nous via c-tech.brussels@bbri.be





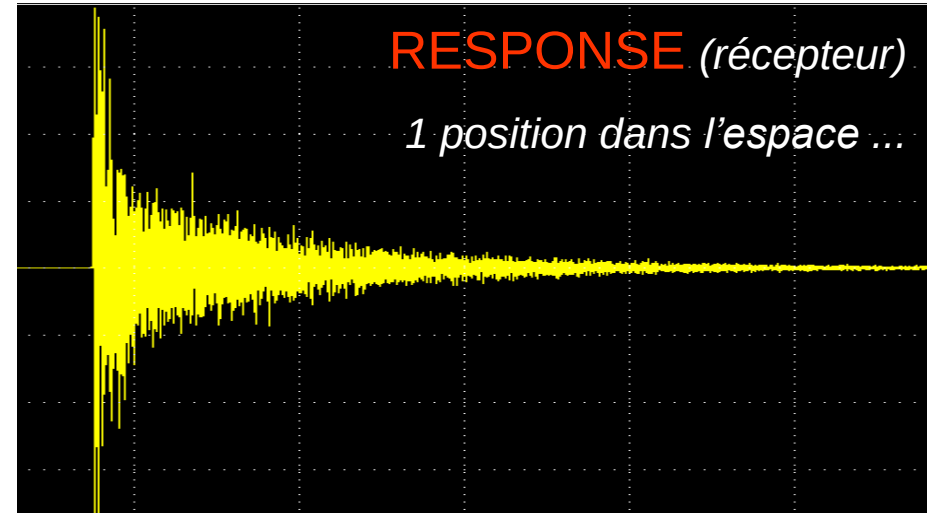


PULS (*position source*)



RESPONSE (*récepteur*)

1 position dans l'espace ...



Idéalement : $\pm$ partout pareil...

Fort? Silencieux?
Peu ou très réverbérant?

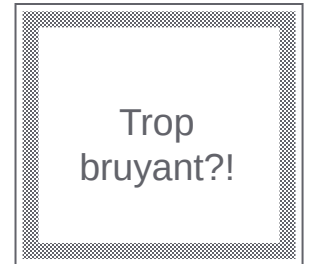
Dépendant :

- Du volume de la salle = V [m^3]
- De l’ameublement de la salle = A [m^2 absorption]

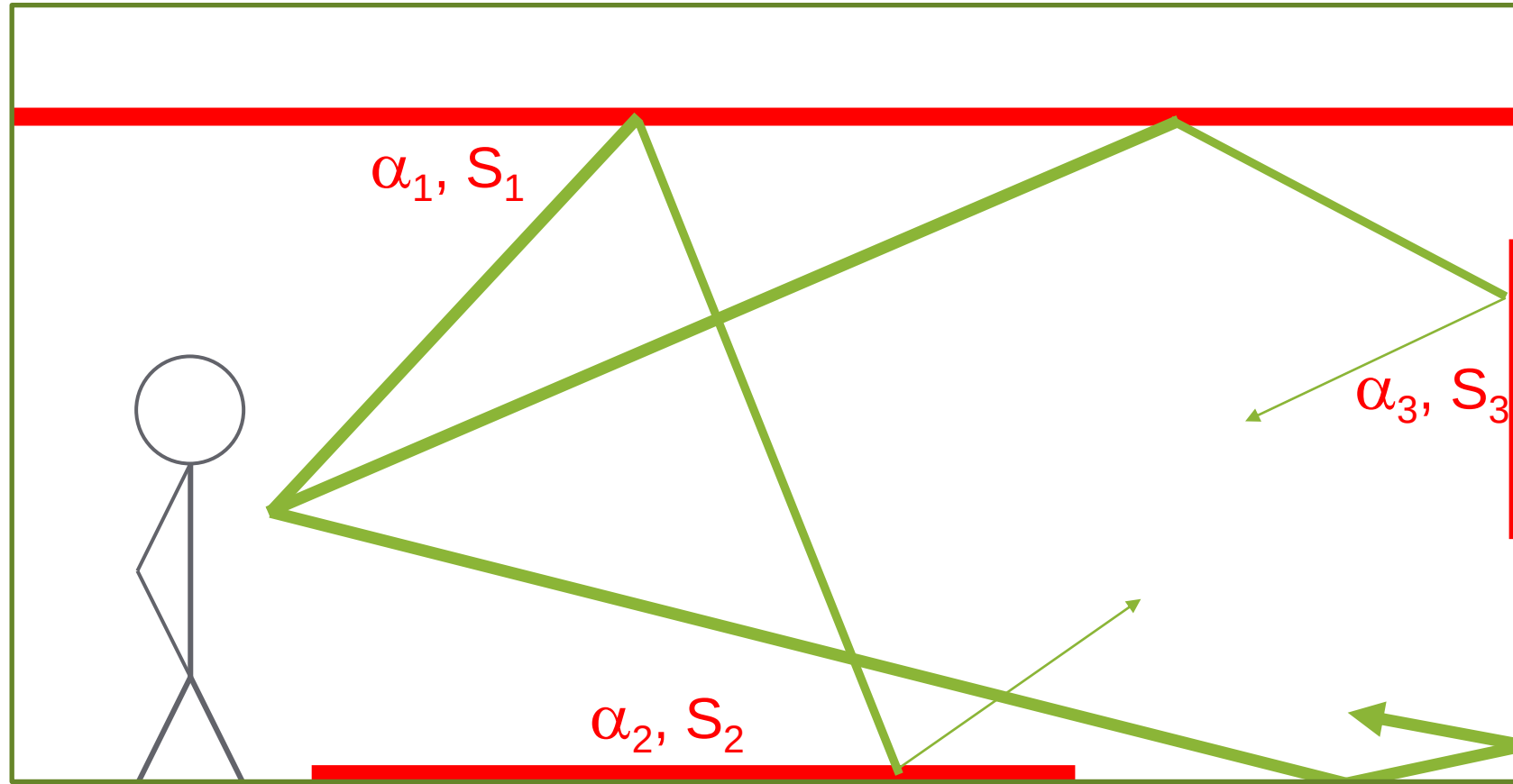
Réverbération $\sim$ Volume

Réverbération $\sim (\text{Absorption})^{-1}$

Niveau sonore $\sim (\text{Absorption})^{-1}$

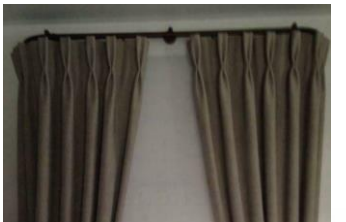


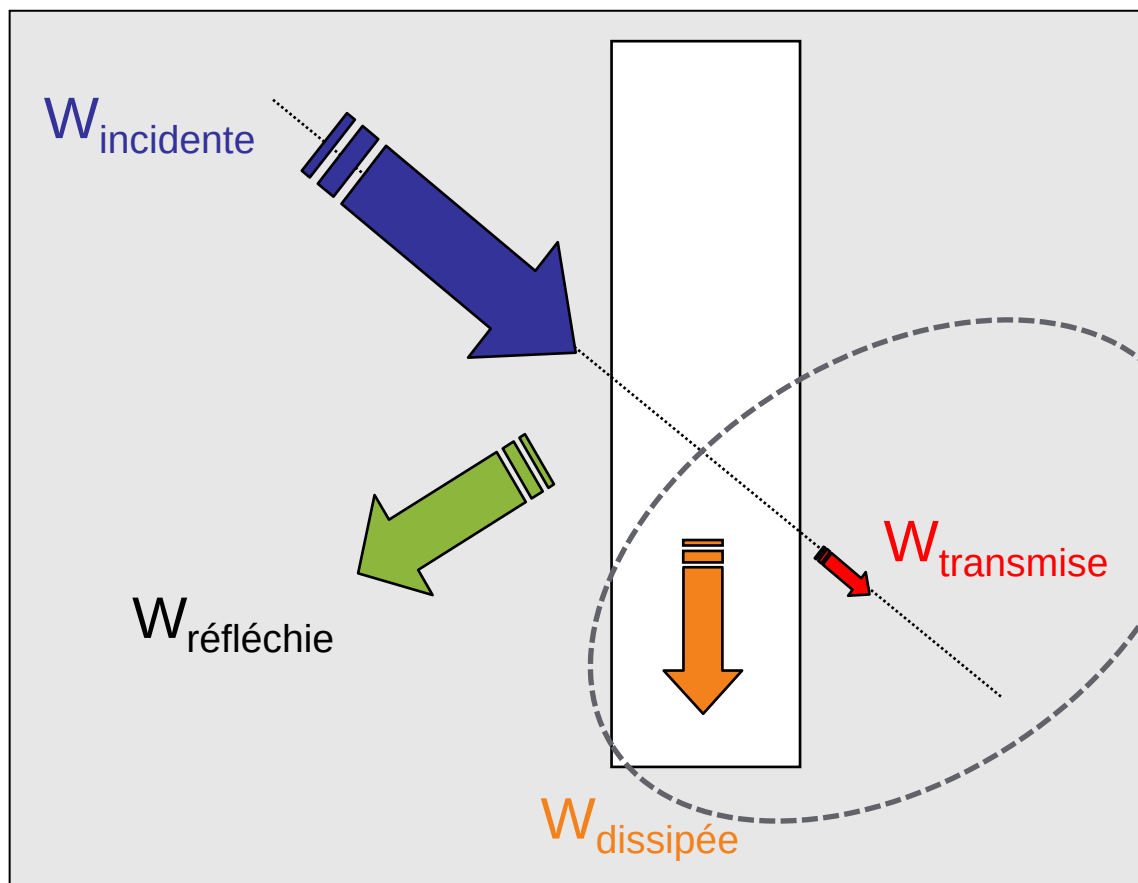




$$\text{Absorption} = A \approx \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots [\text{m}^2]$$

α = coefficient d'absorption = caractéristique du produit



Coefficient d'absorption acoustique α [-]

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

$$= \frac{W_{\text{non-réfléchie}}}{W_{\text{incidente}}}$$

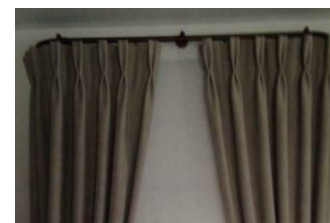
$$= \frac{(W_{\text{dissipée}} + W_{\text{transmise}})}{W_{\text{incidente}}}$$

= rapport des puissances **lineaire** !

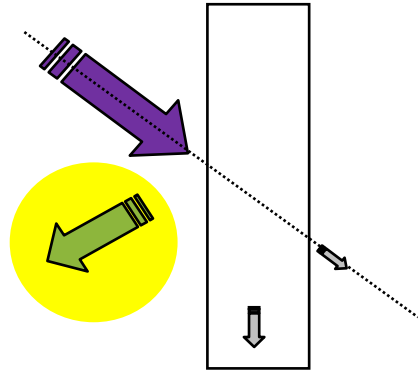
$\alpha = 0.10 \rightarrow 10\% \text{ absorbée}$

$\alpha = 0.50 \rightarrow 50\% \text{ absorbée}$

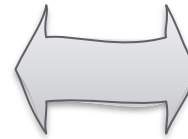
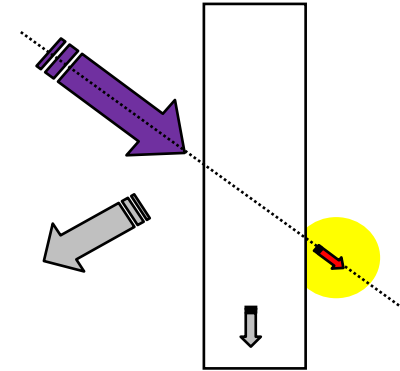
$\alpha = 1.00 \rightarrow 100\% \text{ absorbée}$



ABSORPTION



ISOLATION



A titre d'illustration :



Laine de verre (5 cm - 60 kg/m³) → très absorbant, peu isolant ...

isolation = **5 dB**

absorption = **0.7**



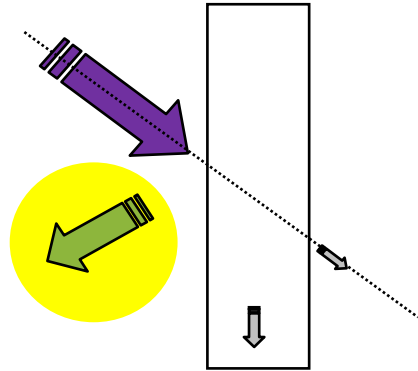
Multiplex (17 mm - 722 kg/m³) → peu absorbant, isolation moyenne ...

isolation = **29 dB**

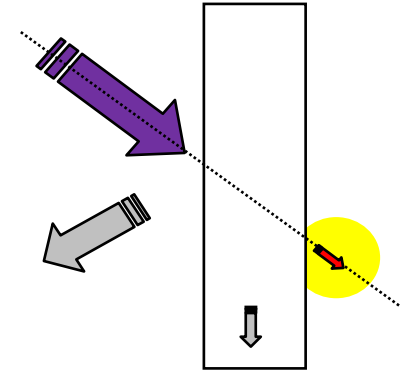
absorption = **0.2**



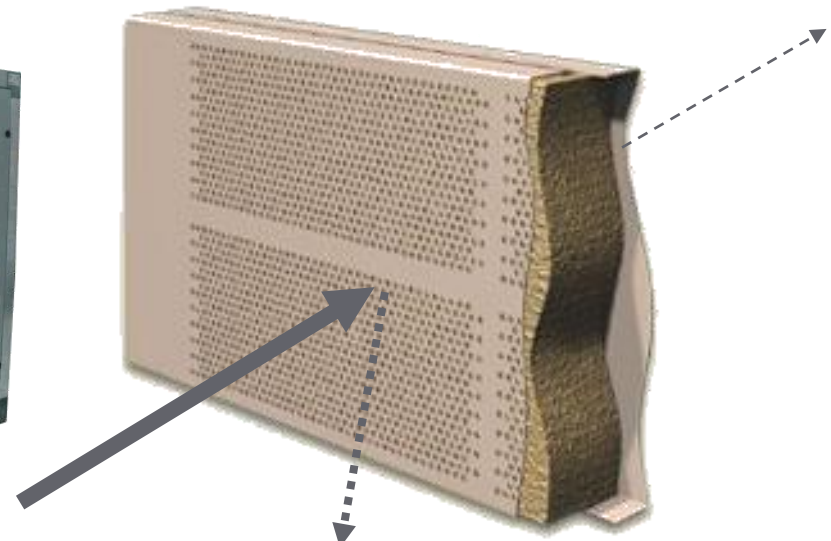
ABSORPTION



ISOLATION



Applications : écrans anti-bruit autoroutier, écrans bureau paysager, capotages pour installations bruyantes, ...



Aire d'absorption équivalente A [m²]

Absorption dans
l'espace [m²]

Absorption d'une
surface i [m²]

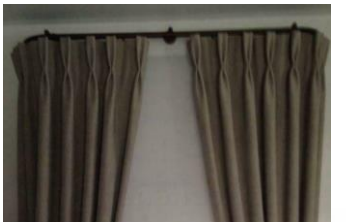
$$A = \sum (\alpha_i * S_i) = \sum A_i$$

m² equivalent "open window"

$$A_i = S_i * \alpha_i$$

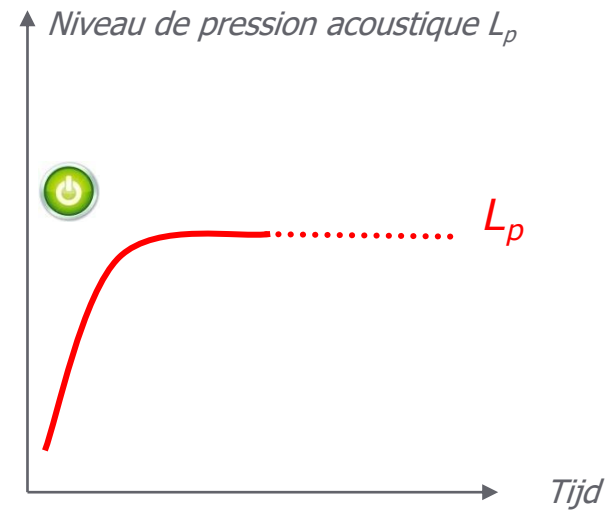
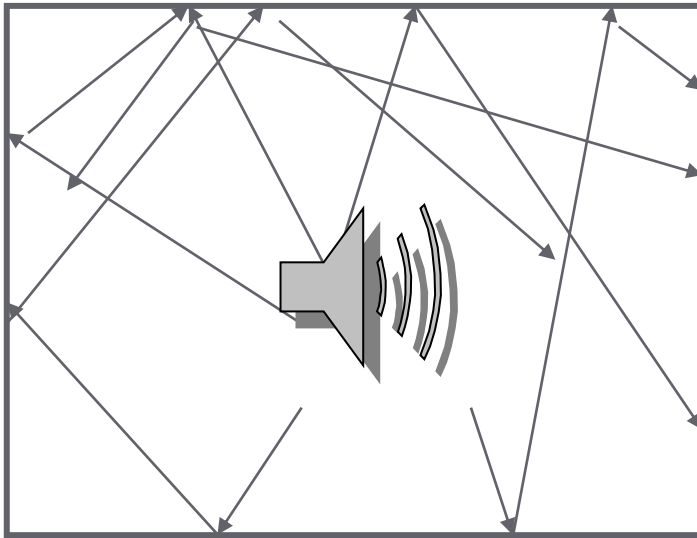
$$A_i = S_{open\ window} * \alpha_{open\ window}$$

$$= S_{open\ window}$$





Une pièce bruyante...?

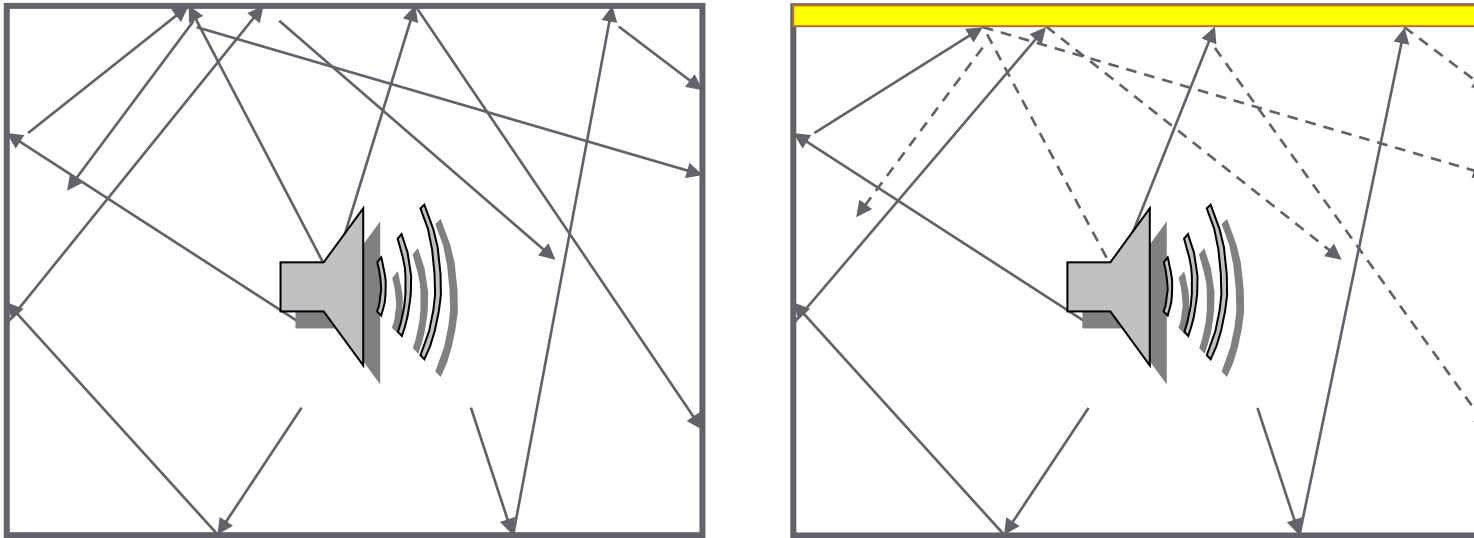


Le niveau sonore est fonction de la **distance** r [m] de la source sonore et la quantité de l'**absorption** A [m²] présente dans la pièce

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right]$$



Une pièce bruyante...?



Diminution de **3 dB** (dans le champ de réverbération) par **doublment de la quantité d'absorption**

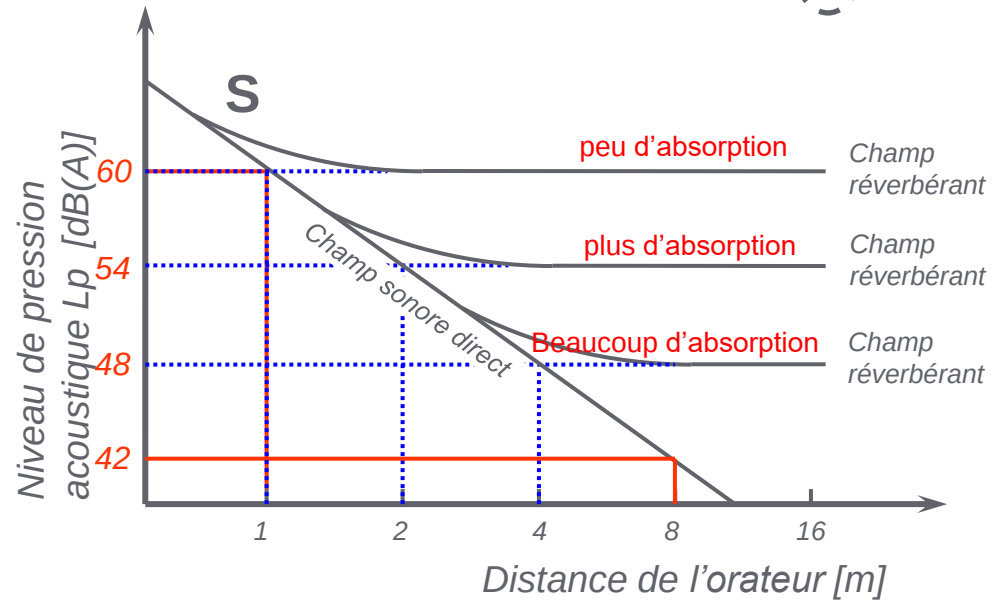
$$- 3 \text{ dB} \quad L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right] \times 2$$



Une pièce bruyante...?

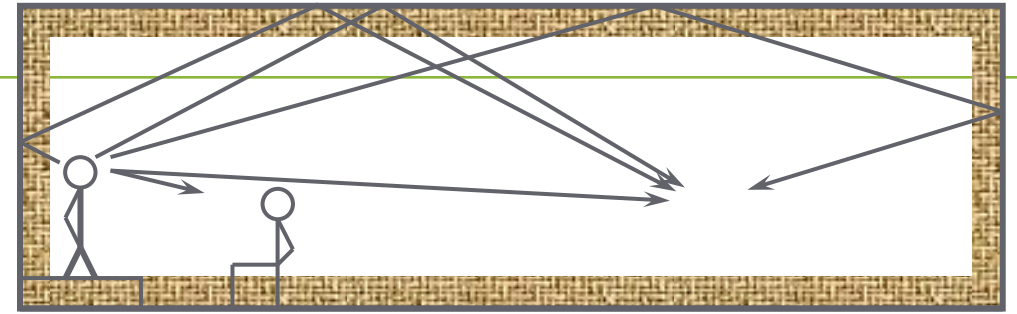
Niveau sonore globale = son direct + **réverbération**

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi.r^2} + \frac{4}{A} \right]$$



ABSORPTION

REVERBERATION



En "champ libre" ($A = \infty$), le niveau sonore est entièrement déterminé par la distance à l'enceinte

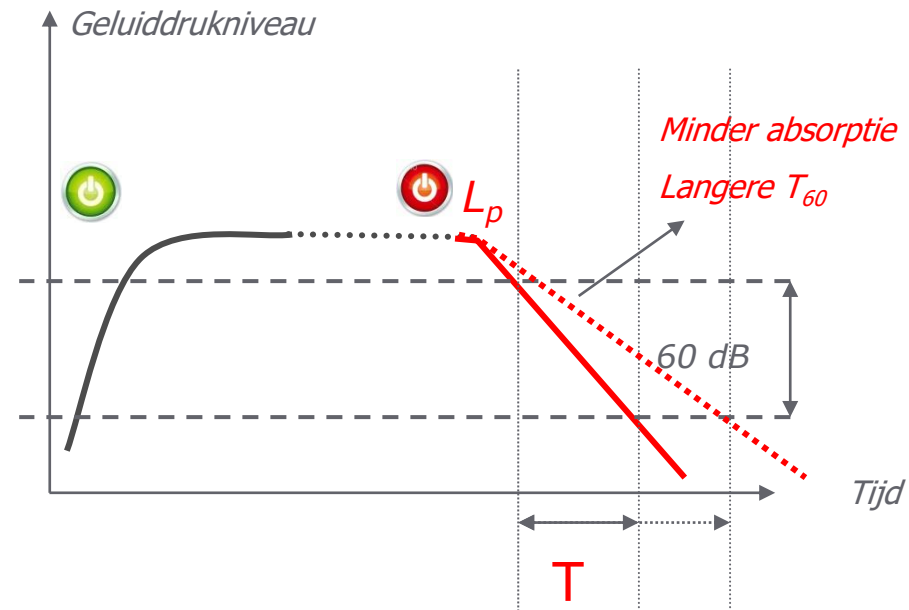
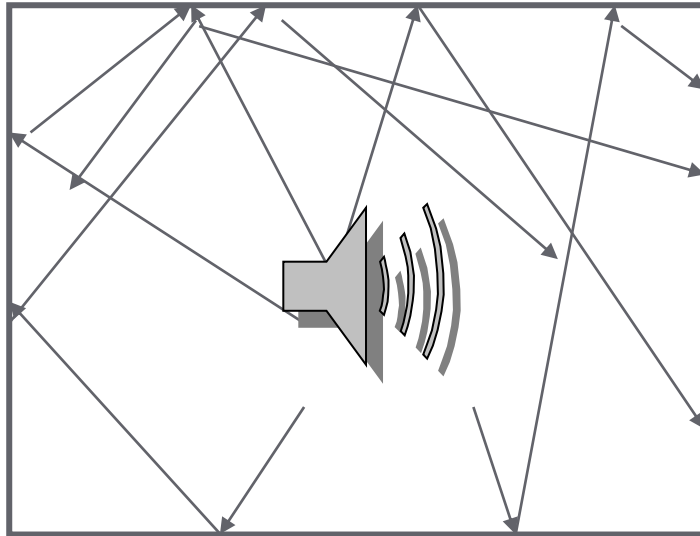


'Champ libre' :
 $r \times 2 \rightarrow L_p - 6 \text{ dB}$

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi.r^2} \right]$$



Très ou peu réverbérante...?



Temps de réverbération T = temps nécessaire pour que le niveau sonore diminue de 60 dB après l'arrêt d'une source sonore stationnaire

La diminution du niveau de pression acoustique est déterminée par le **volume** de la pièce et de la distribution et la quantité de l'**absorption** présente



Loi de Sabine



1868 - 1919

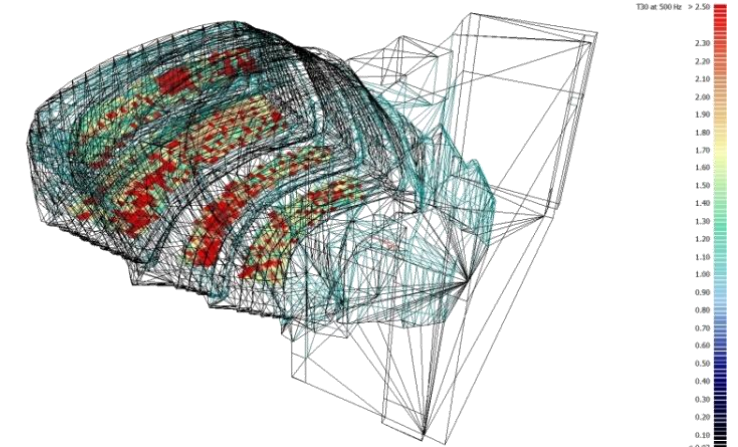
$$T = 0.16 \frac{V}{A} [s]$$

(dans l'air, 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, $V [m^3]$
- Diminue avec la quantité d'**absorption** dans la pièce, $A [m^2]$



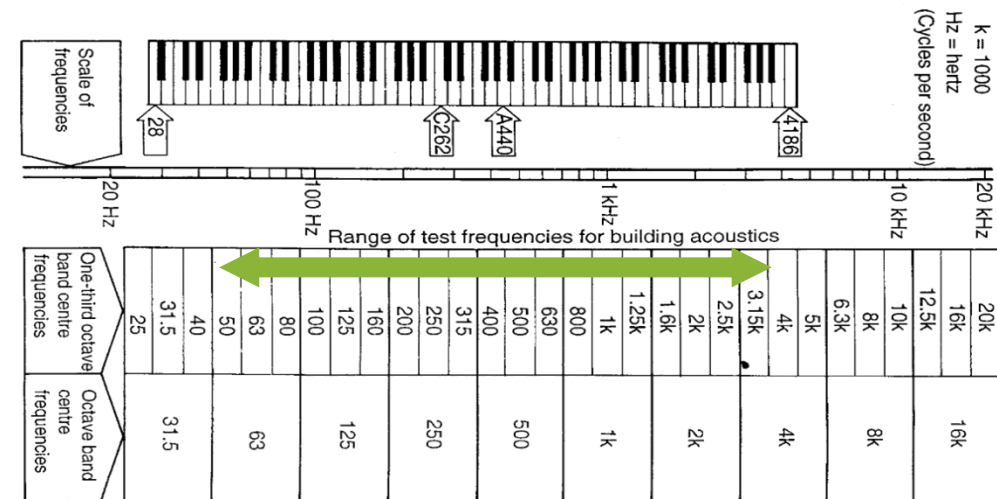
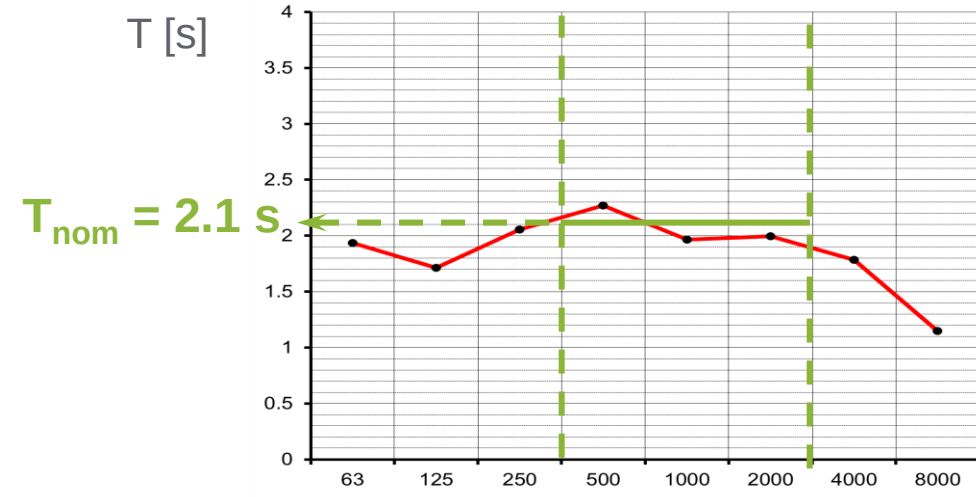
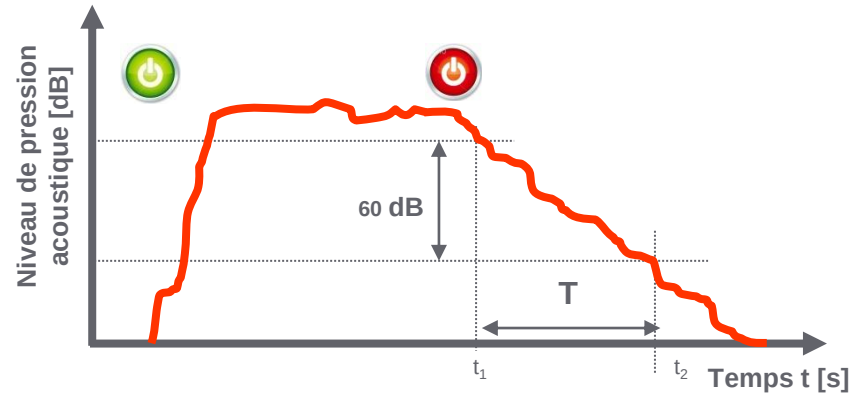
Odeon©1985-2006

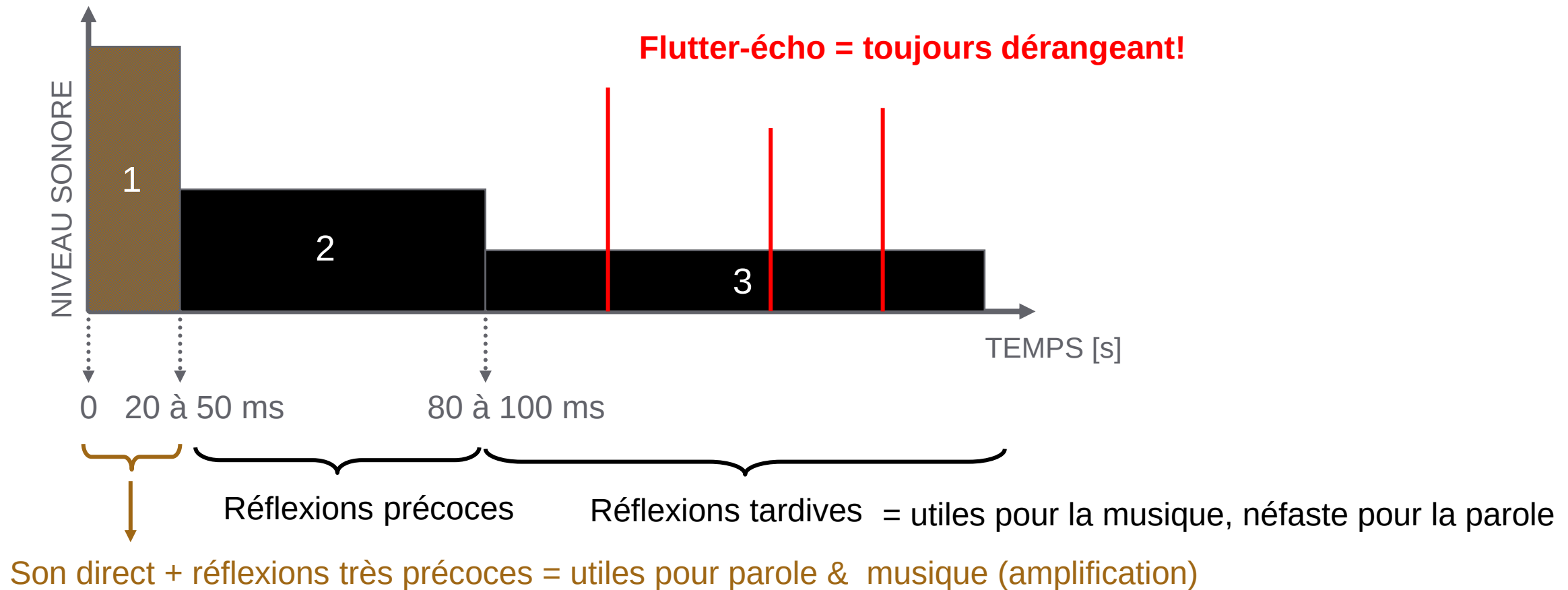
Modèles plus détaillés (champs sonores non-diffus)

- ❑ P.ex. EN 12354-6
- ❑ simulations informatiques



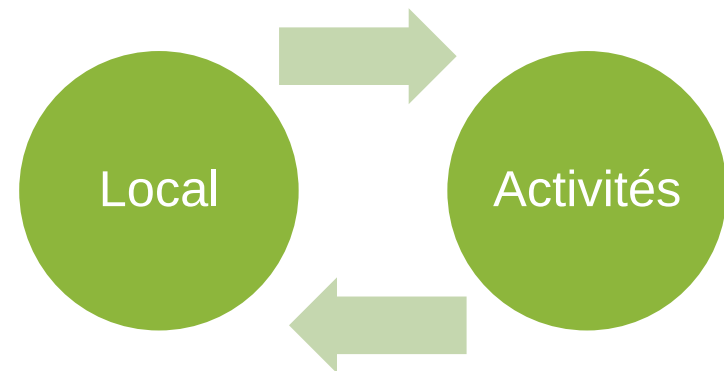
Temps de réverbération nominal $T_{nom} = \frac{T_{500} + T_{1000} + T_{2000}}{3}$







Réverbération



Intelligibilité de la parole

Bruit





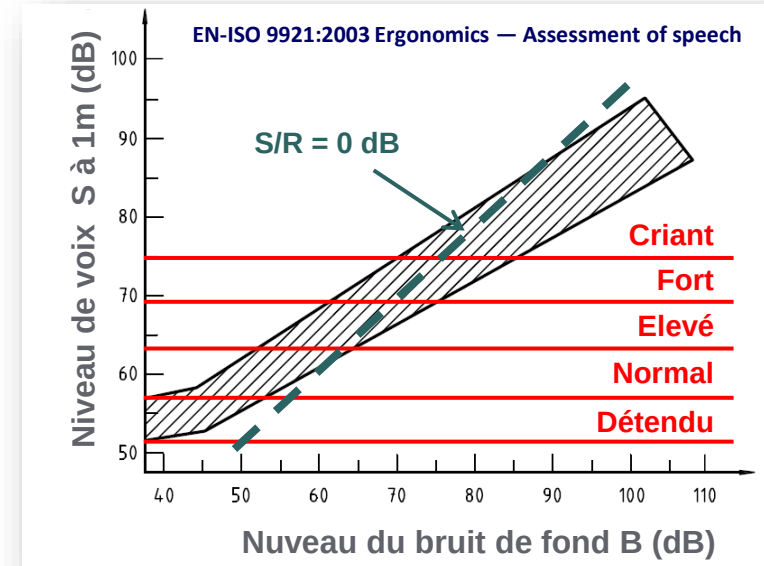
Bruit de fond



Public : $S/R \geq 15$ dB

Orateur : $S/R \geq 25$ dB (want signaalverzwakking)

→ Niveau de bruit de fond maximal : ± 25 à 30 dB

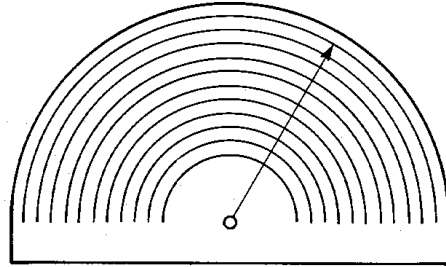
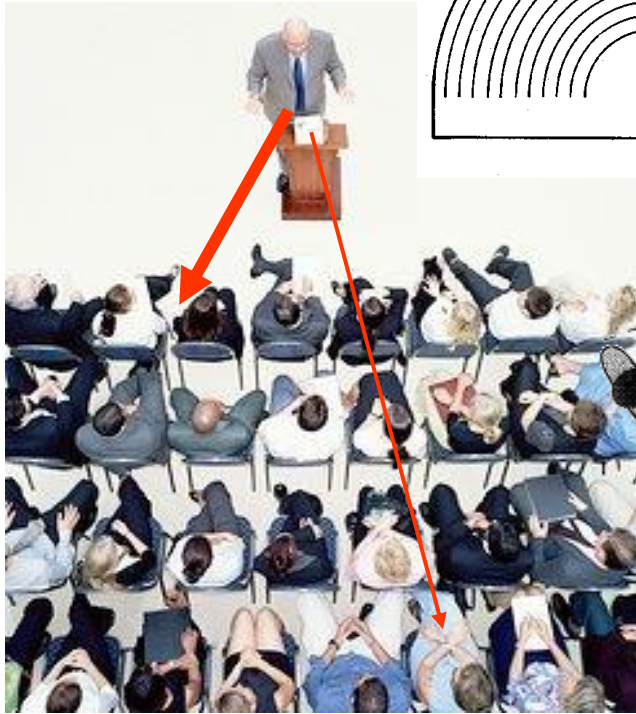


Limiter au maximum les bruits de fond « masquants » : installations silencieuses, bonne isolation acoustique des parois, de la façade, ... = BRUIT

Rapport signal/bruit (S/B) ≥ 15 dB: **le bruit de fond doit être au moins 15 dB plus faible**

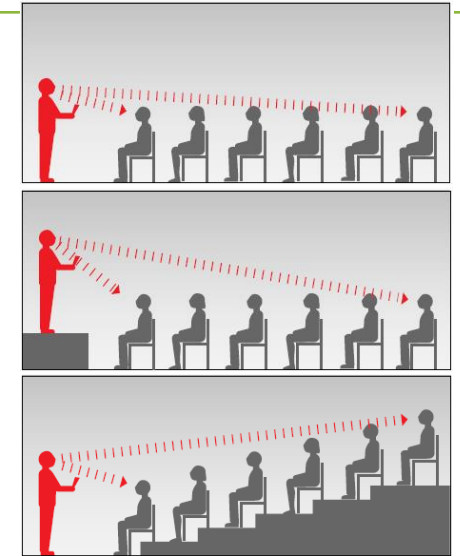
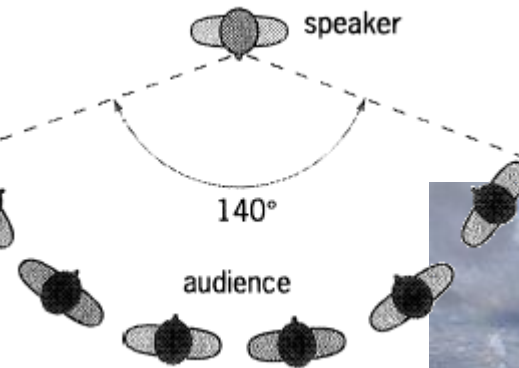


Importance des lignes de vue

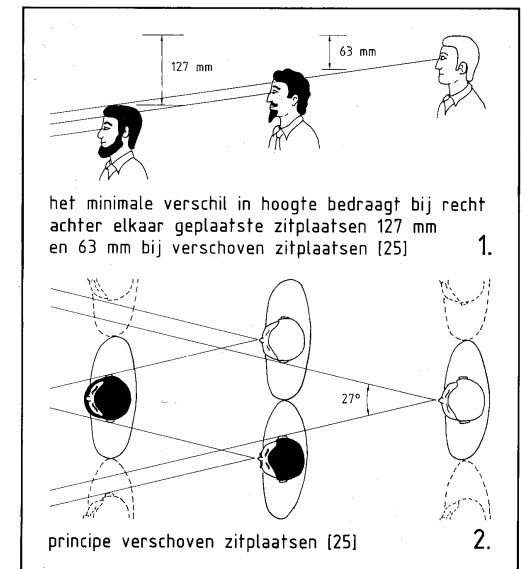


Chemin court, ininterrompu !

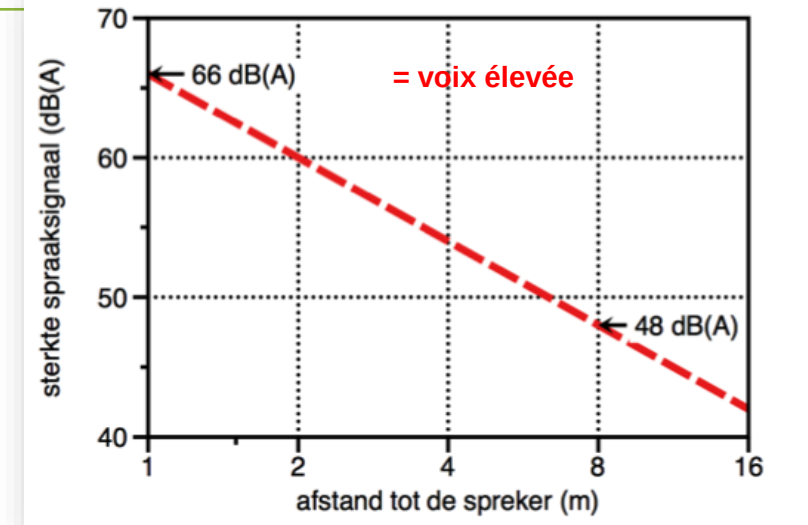
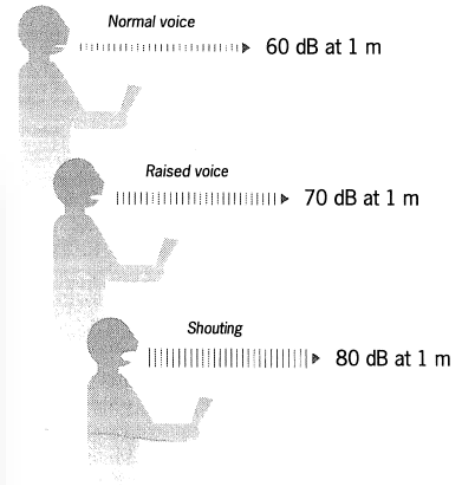
Directivité de la parole
($> 140^\circ$: perte des consonnes)



Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



Distance de l'orateur

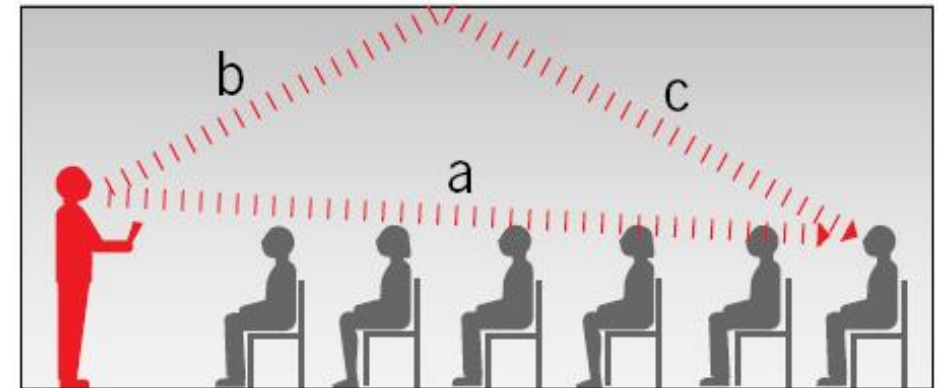


En 'champ libre' : $r \times 2 \rightarrow L_p - 6 \text{ dB}$

Réflexions très précoces (<50ms) amplifient le son direct = amplification sonore naturelle

Amplification du son direct nécessaire à **plus grande distance** de l'orateur et/ou du **bruit de fond dérangeant** ($R/B < 15 \text{ dB}$)

Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)

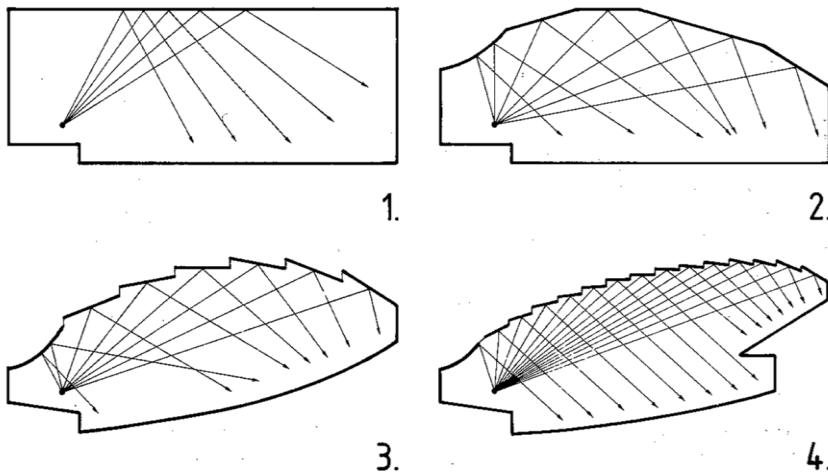
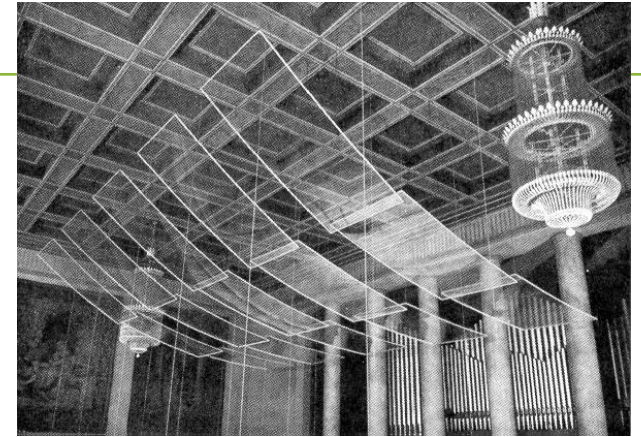


$$b + c - a = \Delta L \text{ "direct-réfléchi"} \leq 17 \text{ m (50 ms)}$$

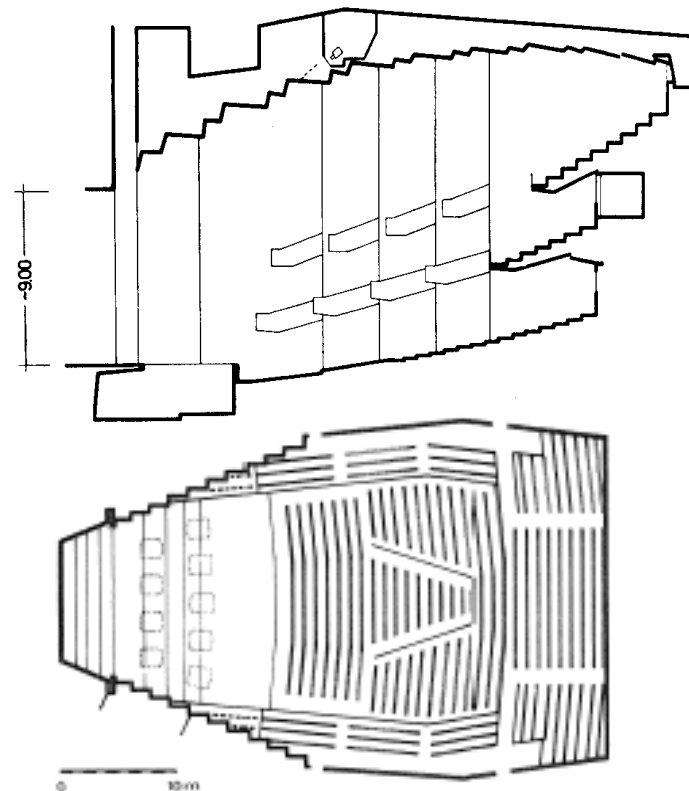


Réflexions très précoces, utiles

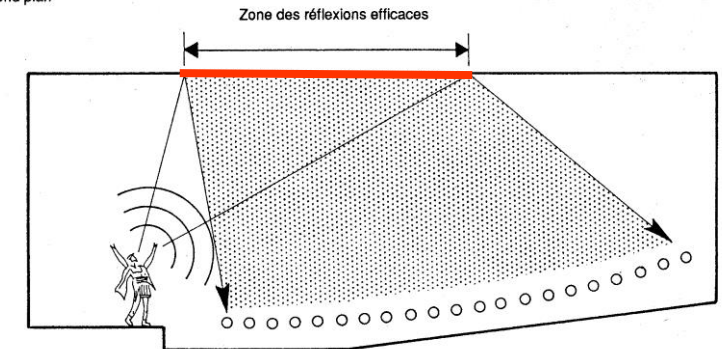
- Par le plafond (section transversale) et/ou les parois latérales (plan)
- Surfaces inclinées, matériaux réfléchissants
- Bonne intelligibilité de la parole partout



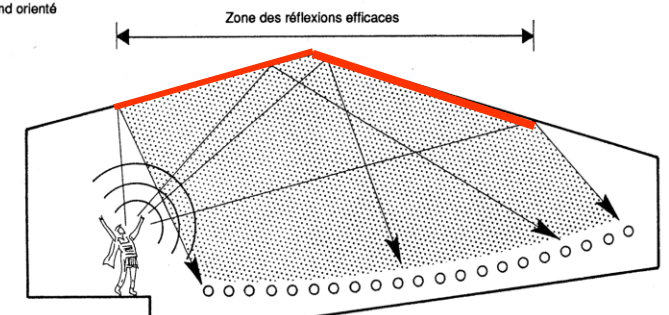
Même principe pour les salles de concert



Plafond plan



Plafond orienté



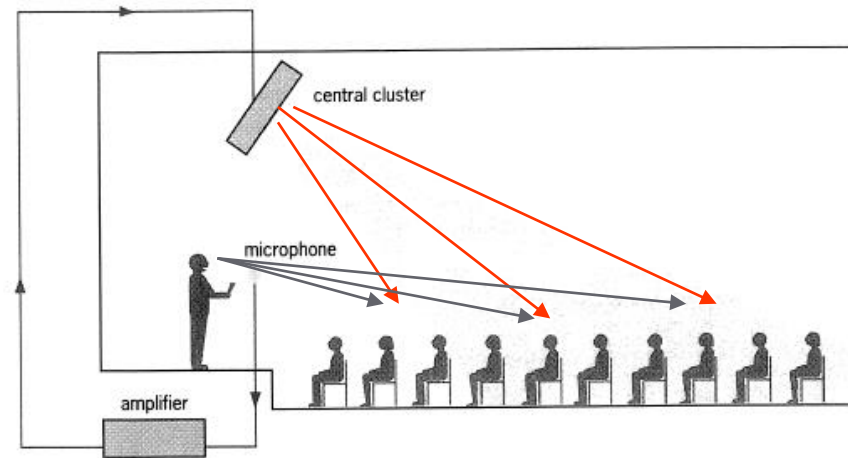
L'inclinaison différente de chaque partie du plafond permet d'exploiter un maximum d'ondes réfléchies.



Amplification électronique



Réflexions très précoces “artificielles”



Bron: Building Bulletin 93, “Acoustic design of schools: A design guide”

Amplification et délai ajustés!

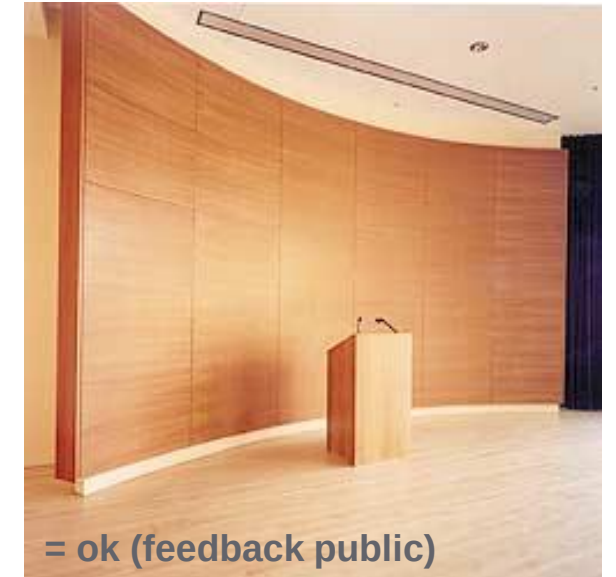
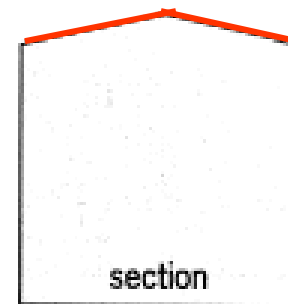
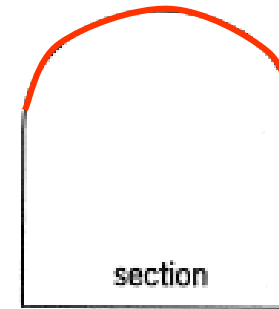
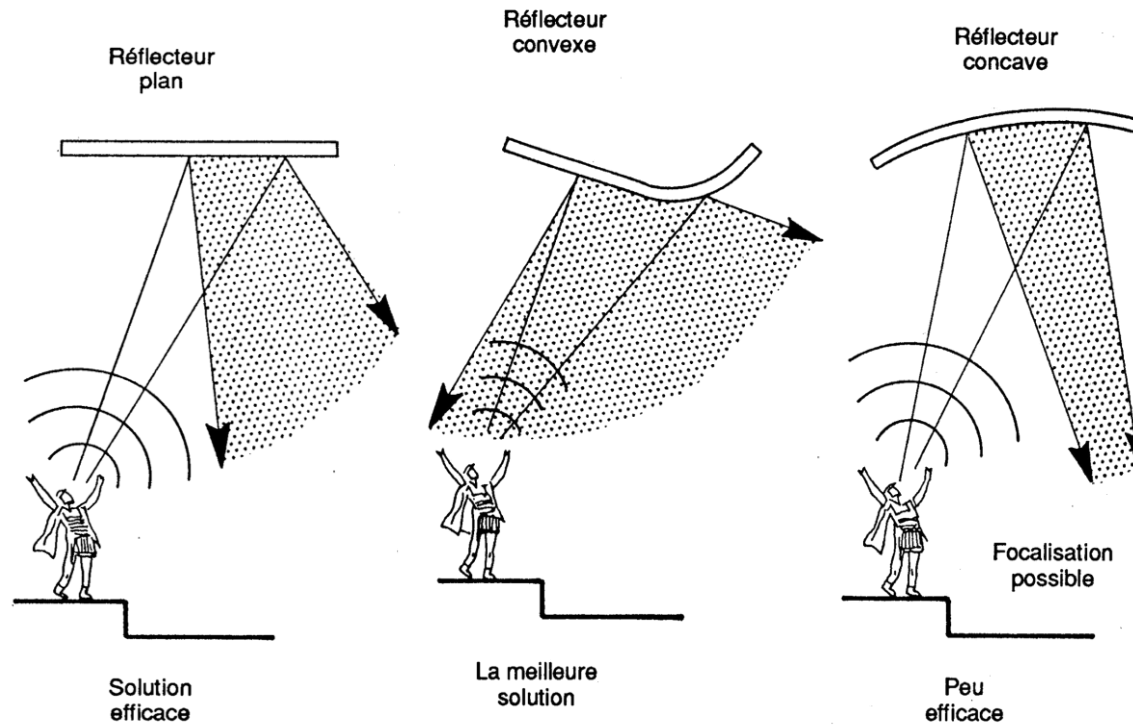
Distances micro-orateur, micro-
public, public orateur

= Domaine spécialisé, nécessite des conseils spécialisés!

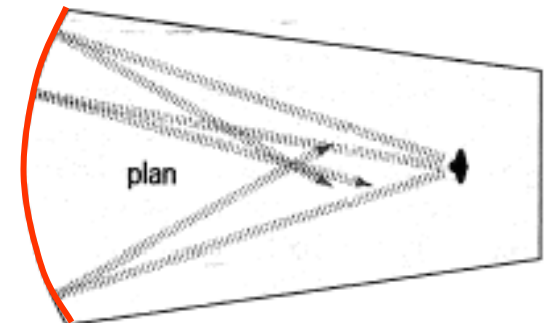


Réflexions dérangeantes

➤ Focalisation du son (formes concaves)



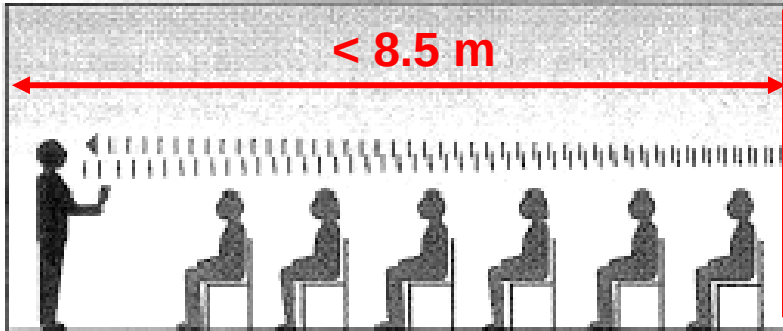
Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



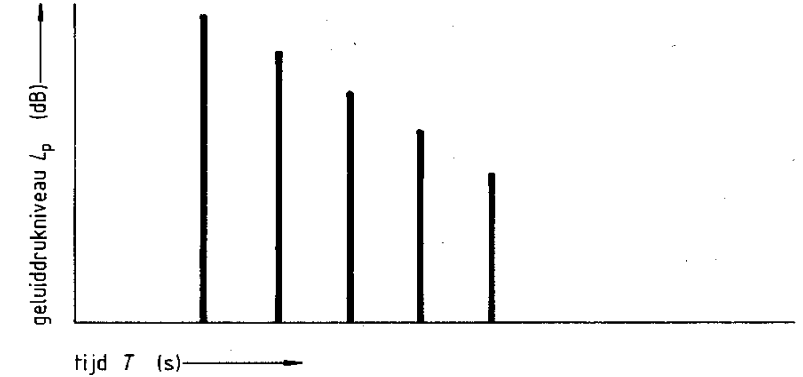
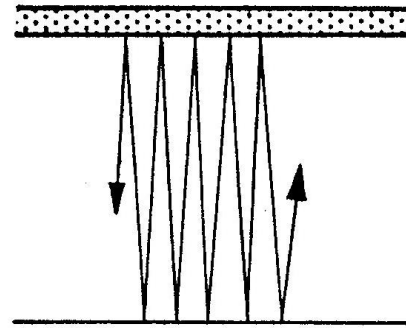
Traitement absorbant/diffusant !



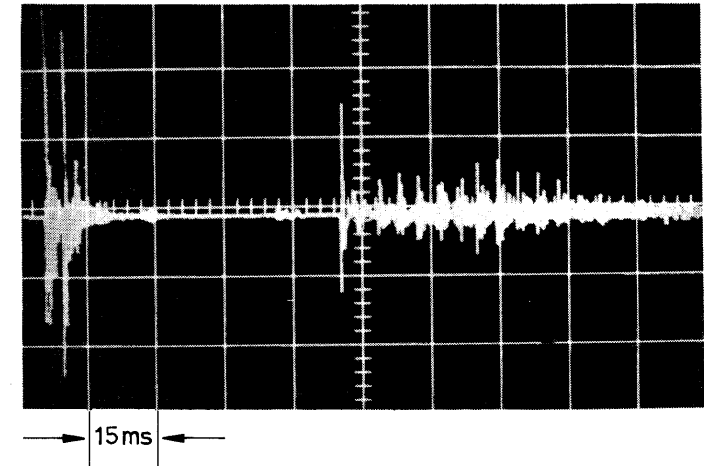
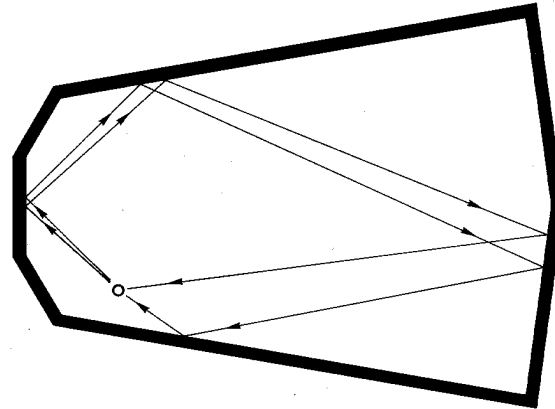
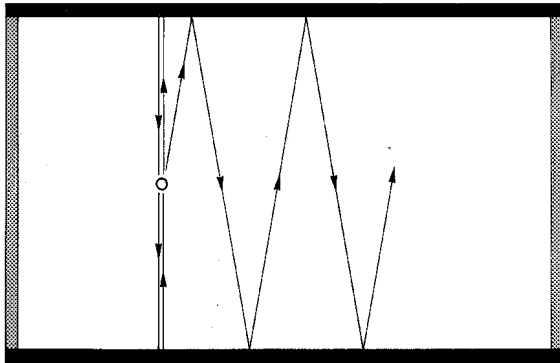
Echos (flutter) à éviter



Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



Parois éloignées, parallèles et grands volumes symétriques: traitement localement absorbant



Bron: L. Cremer, H.A. Müller, "Principles and Applications of Room Acoustics"



Maîtrise de la réverbération

DUREE

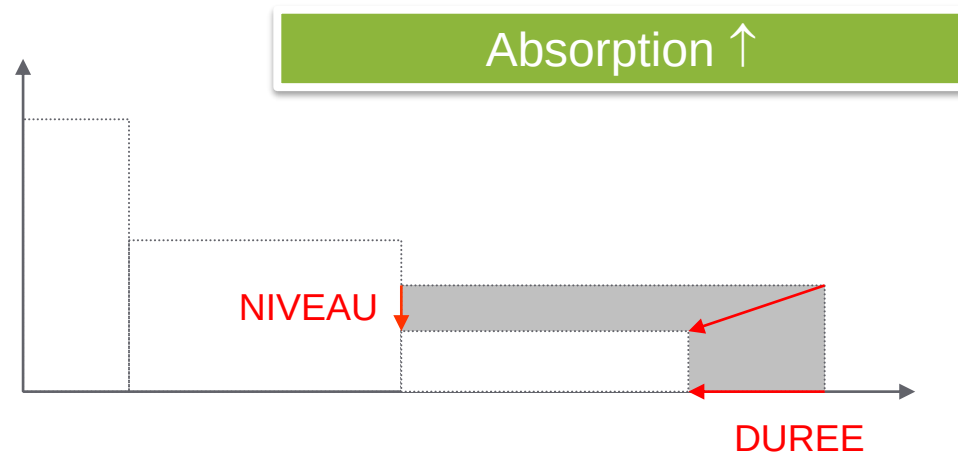
→ “temps de réverbération” ↓

NIVEAU

→ “niveau de réverbération” ↓

ZONE

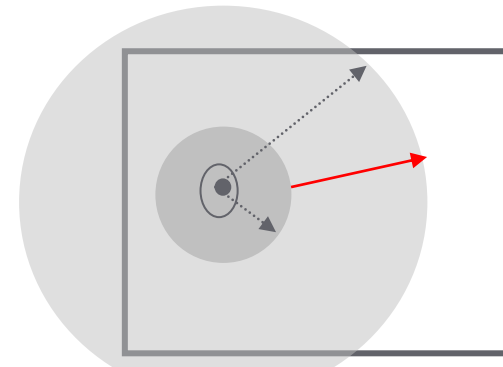
→ “champs sonore directe” ↑



$$T = 0.16 \frac{V}{A}$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right]$$

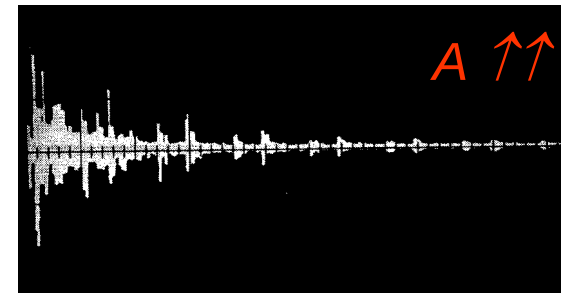
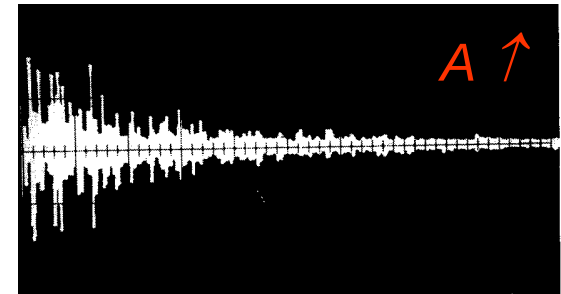
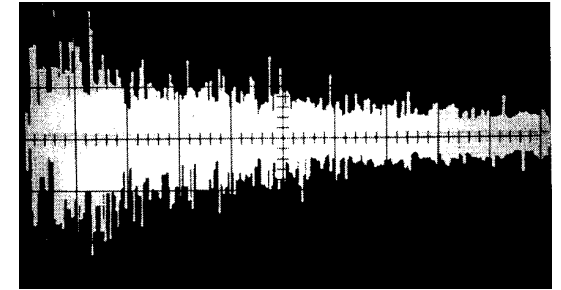
$$r_{galn} = \sqrt{\frac{A Q}{16\pi}}$$



CHAMPS DIRECTE :

Zone dans laquelle prédomine le son direct (+ réflexions très précoces)

> $3.5 \cdot r_{galn}$: mauvaise intelligibilité (~ T)



Influence du volume

Grands volumes réverbérants ... !?



L'amplification électronique (système de sonorisation) est souvent la seule option ...

Absorption !
Amplification électronique !

Petits volumes = OK?



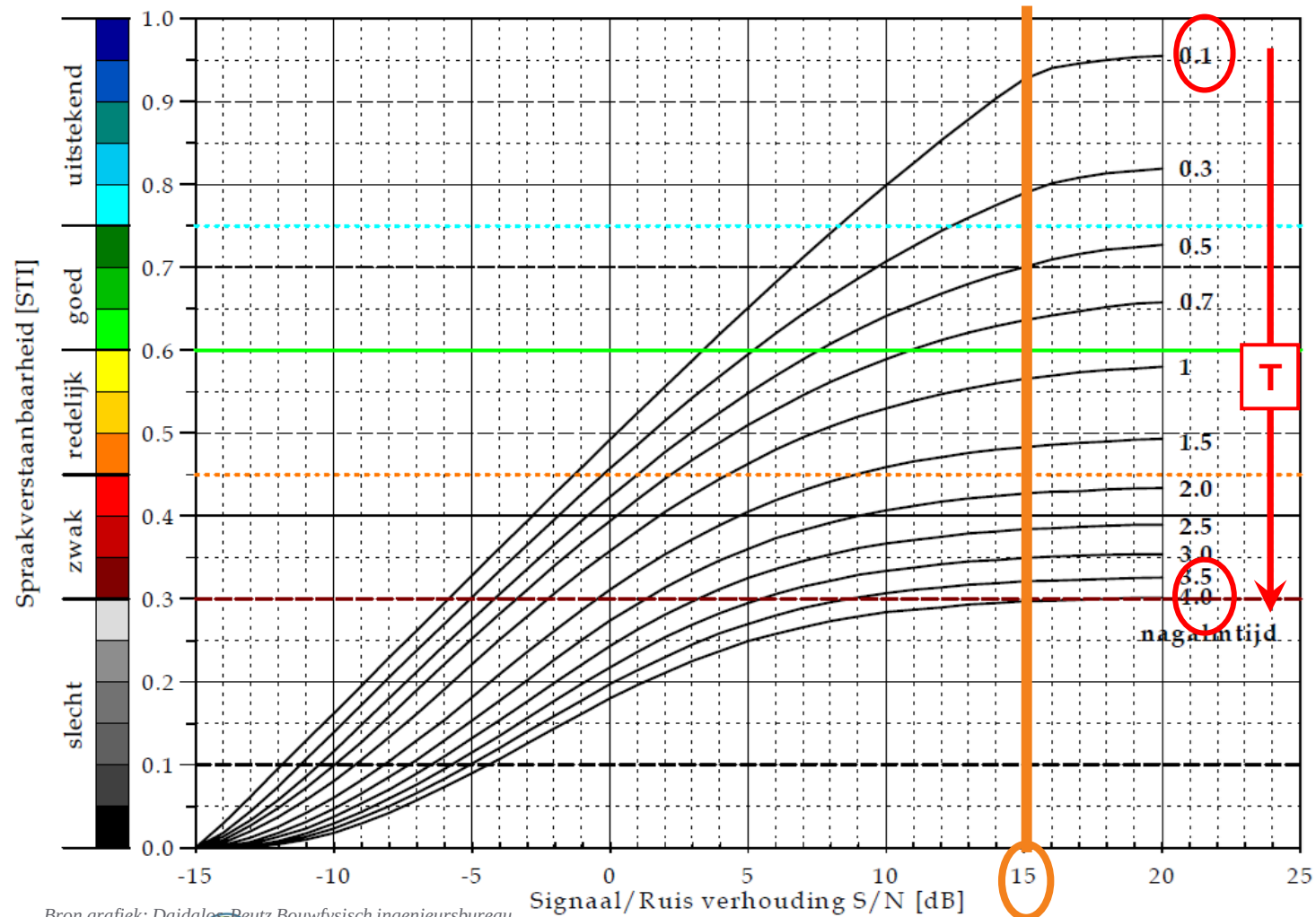
Trop "sec" (feedback)!



Trop fort !



Influence du temps de réverbération

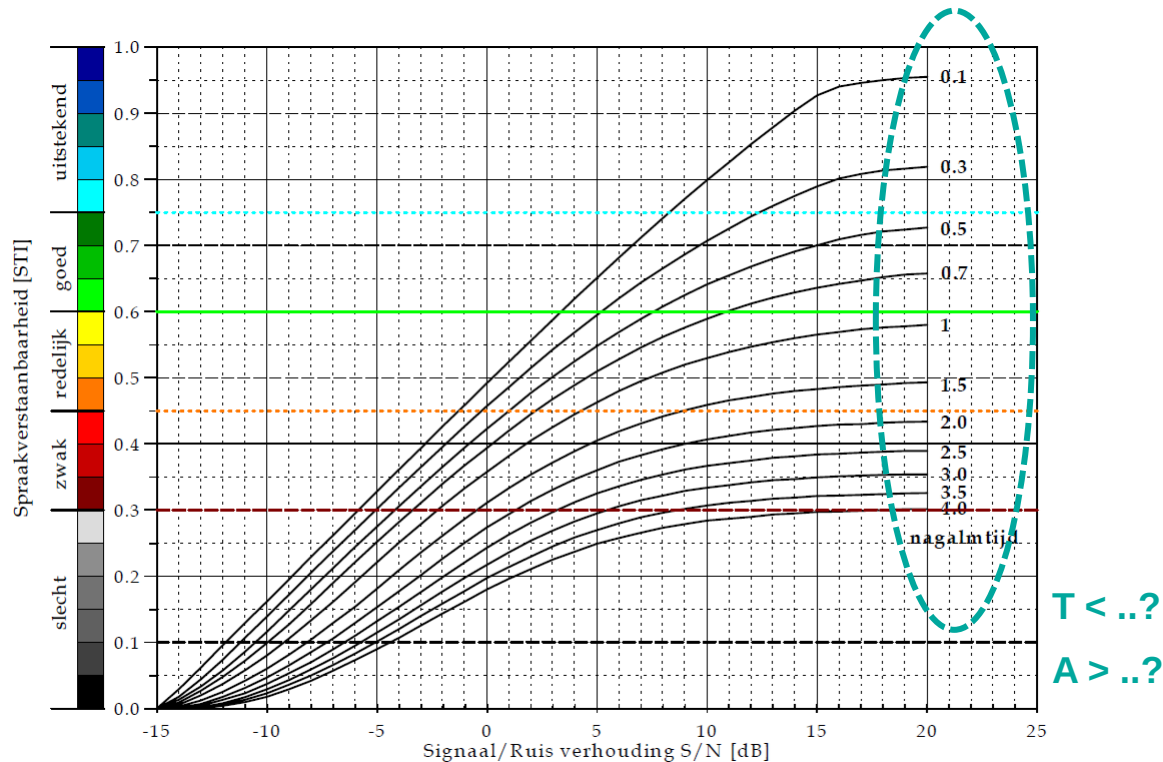


Bron grafiek: Daidalos-Beutz Bouwfysisch ingenieursbureau



T	STI
0.4 s	0.75
0.8 s	0.6
4.8 s	0.3
34 s	0.1

Combien d'absorption A ?

Temps de réverbération maximale T → Absorption minimale A
(voir aussi exigences NBN)

uitstekend	dit is het ideale geval voor leslokalen en alle ruimten waar de overdracht van kennis of informatie primeert
goed	dit is de minimale waarde in leslokalen, auditoria,...
redelijk	dit is aanvaardbaar voor eenvoudige boodschappen
zwak	noch spraakverstaanbaarheid, noch privacy gegarandeerd
slecht	indien STI voldoende laag, kan men spreken van privacy i.p.v. spraakverstaanbaarheid

Pour la parole : $T = 0.5$ à 1 s → absorption minimale $\sim V$

- Absorption répartie de façon uniforme + ciblée (echo's, focalisation)
- Positionnement judicieux des matériaux réfléchissants (réflexions très précoces)

$$A = 0.16 \frac{V}{T}$$



Où, de l'absorption ?

Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"

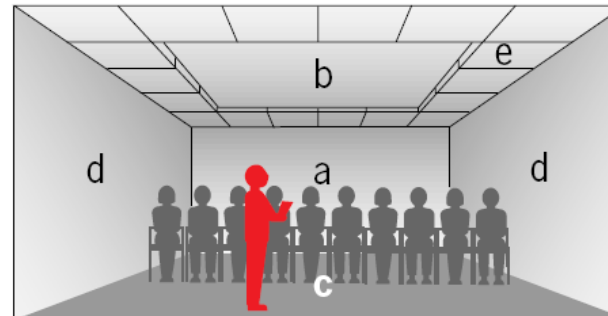
RÉFLÉCHISSANT :

- Plafond & murs latéraux
- Mur avant

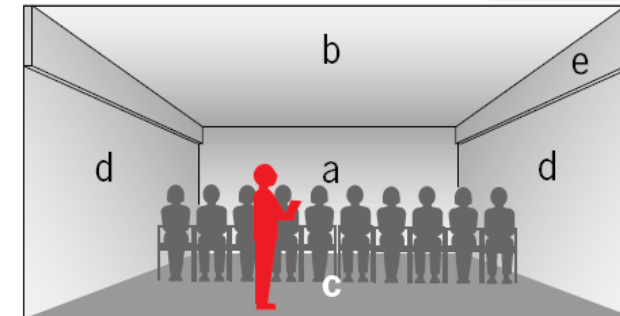
ABSORBANT :

- Mur du fond
- Plancher (*)
- Bords plafond/murs latéraux

Réflexions utiles!
Absorption !



(a) Surface finishes in classroom or lecture theatre:
a. Rear wall - sound absorbing or diffusing
b. Ceiling - sound reflective (eg plasterboard)
c. Floor - sound absorbing (eg carpet)
d. Walls - sound reflective
e. Ceiling - sound absorbing



(b) Surface finishes in classroom or lecture theatre:
a. Rear wall - sound absorbing or diffusing
b. Ceiling - sound reflective (eg plasterboard)
c. Floor - sound absorbing (eg carpet)
d. Walls - sound reflective
e. Top of walls - sound absorbing or diffusing

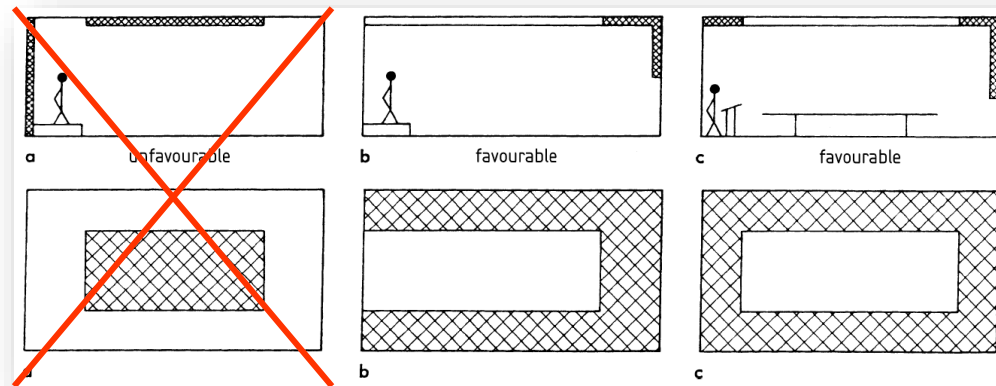
(*) En pratique : souvent plafond absorbant → intelligibilité diminuée dans le fond de la pièce



Où, de l'absorption ?

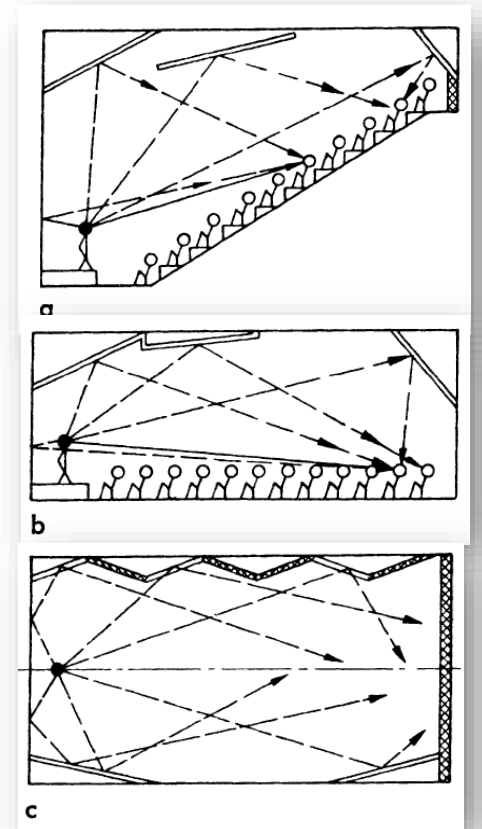
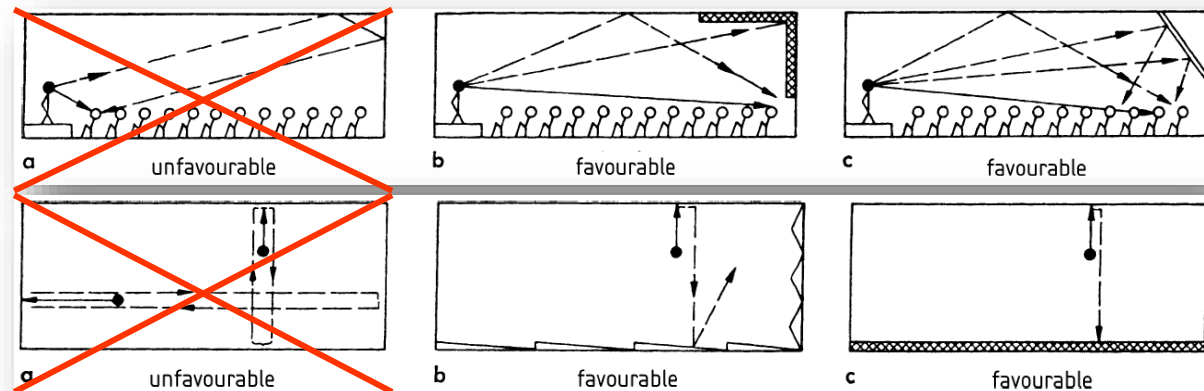
DIN 18041: Acoustic quality in small to medium-sized rooms (2004, 2016)

$V < 250 \text{ m}^3$

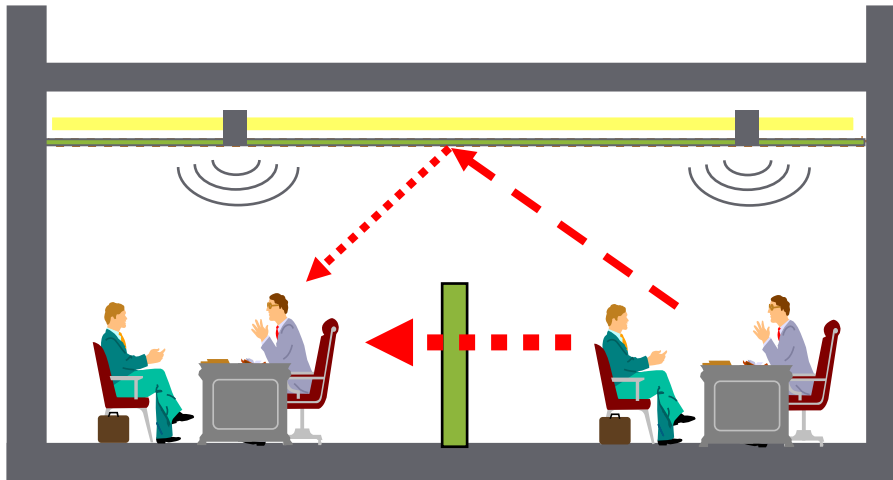


$V > 250 \text{ m}^3$

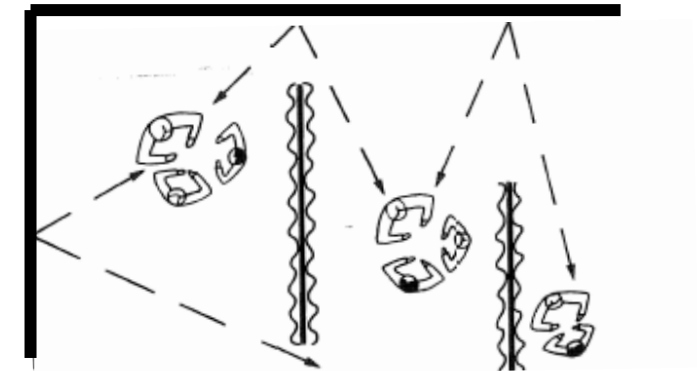
$d > 9 \text{ m}$



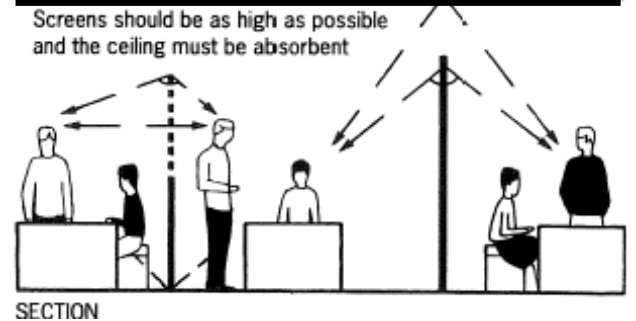
Bureaux paysagers



Signal directe + réflexions gênantes à éviter !

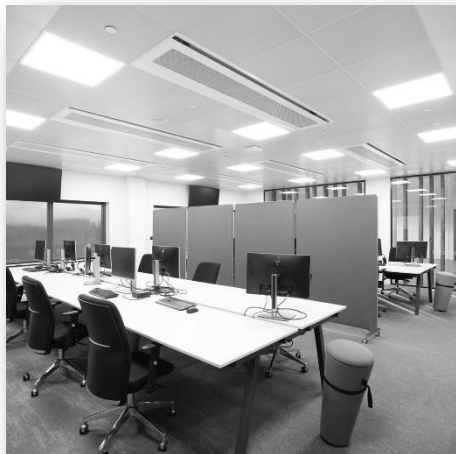
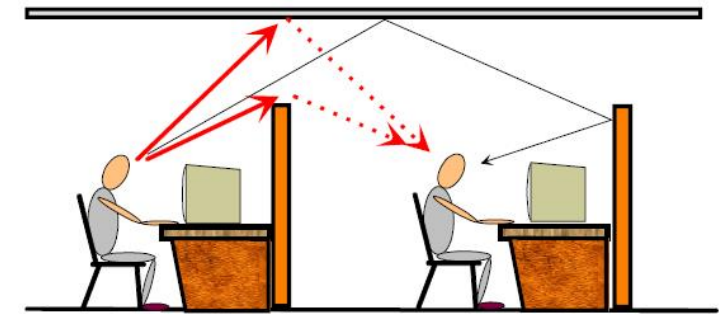


Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



Bureaux paysagers

- Postes de travail aussi éloignés que possible
- Écrans suffisamment hauts (absorption + isolation), $\geq 1.70\text{m}$
- Plafond absorbant ($\alpha_w \approx 1$) ou **îlots de plafond absorbants**
- Réflexions latérales à éviter (absorption locale sur murs/façades)
- Optionnellement : système de masquage (BDF : 40 à 45 dB (A))



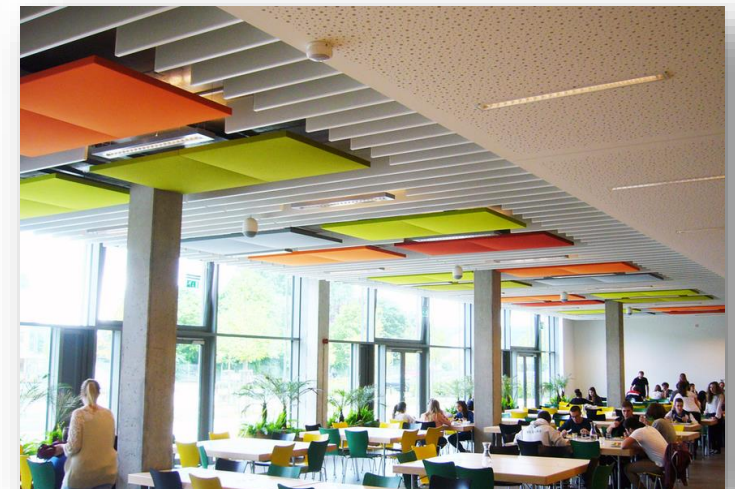
Restaurants, salles de reception

Mauvaise intelligibilité de la parole dans les grandes espaces peuplés

Limitez le temps de réverbération pour augmenter la capacité (acoustique) maximale!

T maximale recommandé (inoccupé):

- Petites restaurants: 0,4 s
- Réfectoires d'écoles: 1 s
- Restaurants plus grands: 1,2 s

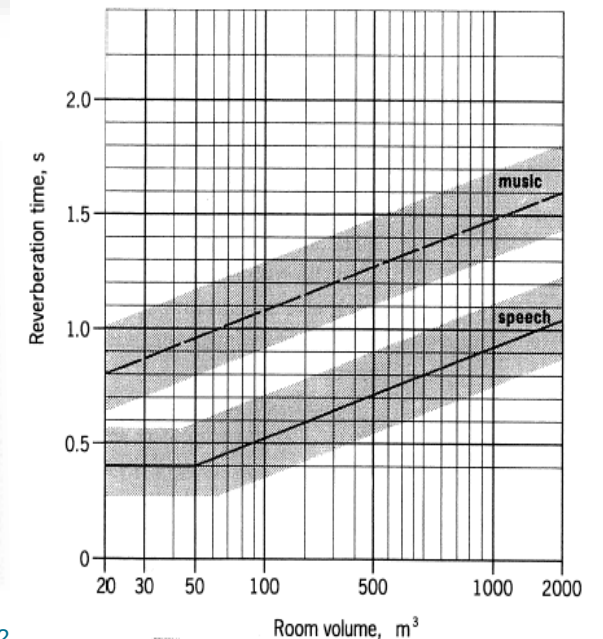
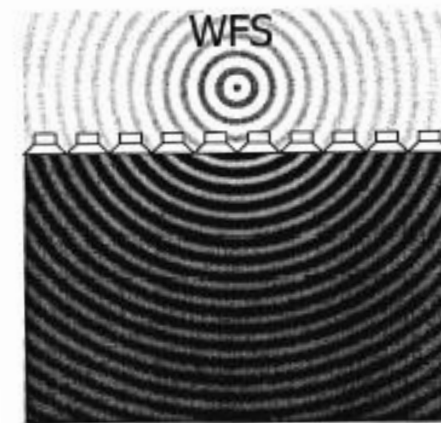


Espaces polyvalents

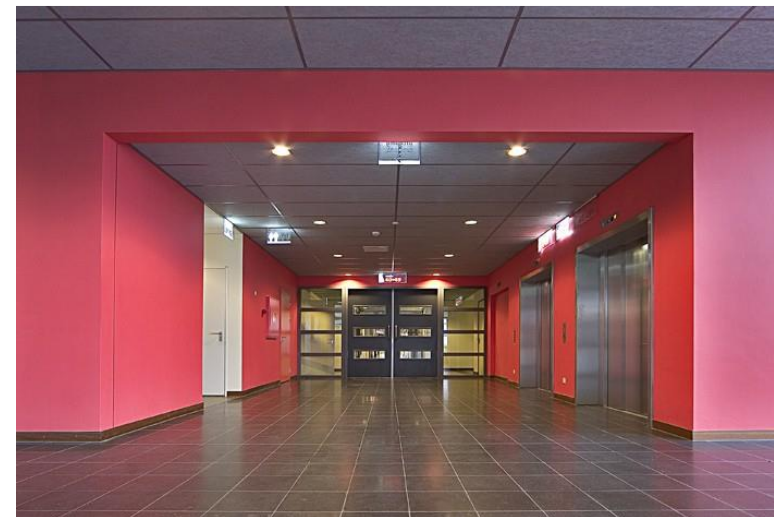
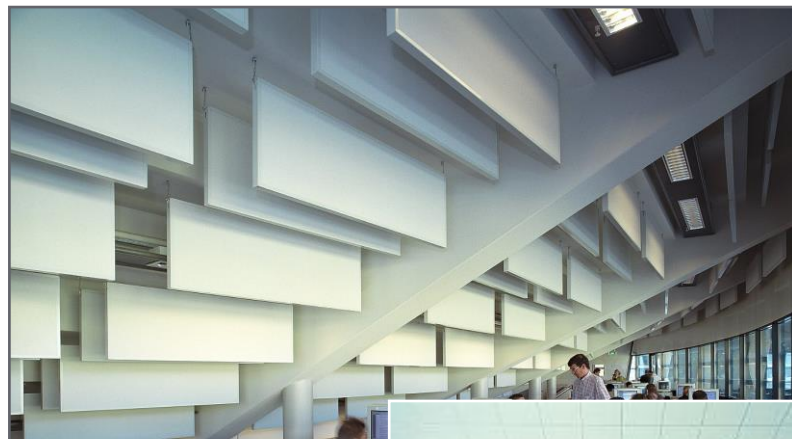
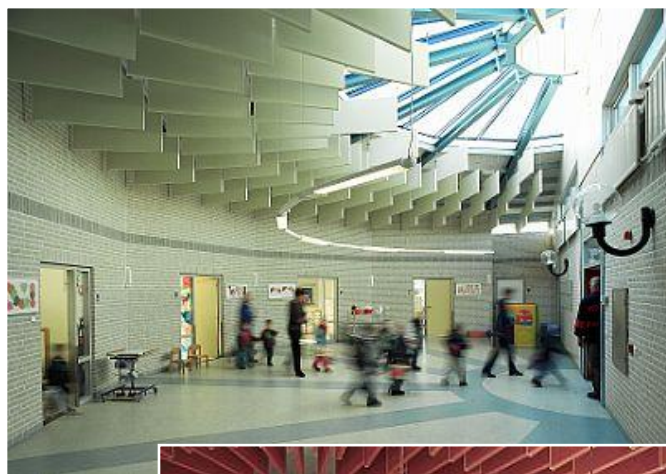
- Niveau de bruit de fond bas
- Propagation uniforme du son
- Pas d'écho ni de 'focus' dérangeants
- Volume (niveau sonore)
- Bonnes lignes de vue
- Réflexions précoces utiles (public et scène)
- Feedback

Acoustique variable nécessaire (compromis!)

Souvent recommandés:
systèmes électroacoustiques
 = domaine spécialisé



Le plus d'absorption possible !





Quelques valeurs

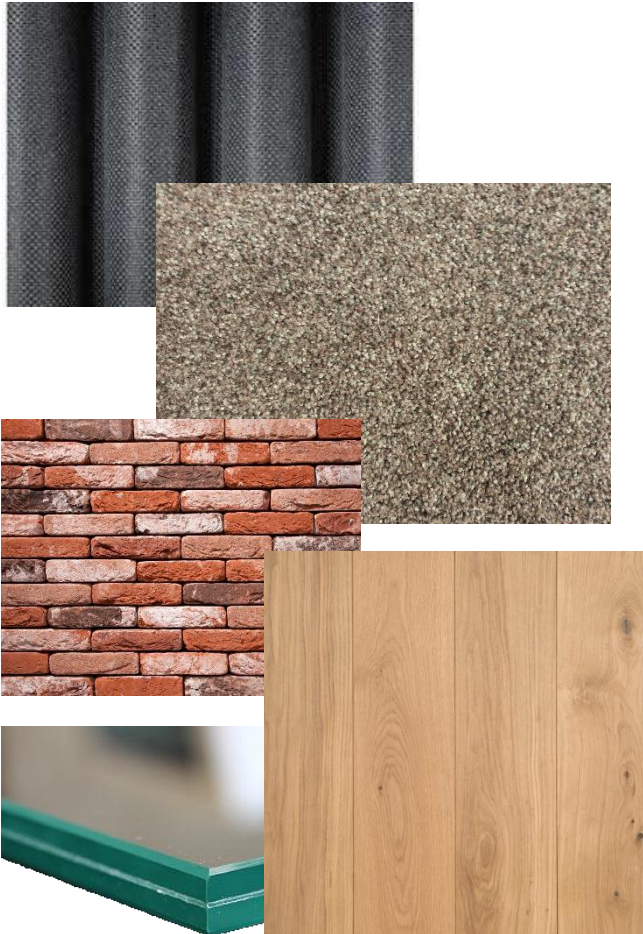


Tableau B.1 — Valeurs type pour le coefficient d'absorption

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 $\approx 0,4$ 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.						



Quelques valeurs

P.ex. paroi en béton mince à 1000 Hz,
 $a = 0,02$ = seulement 2% d'absorption ...



Matériau	Épaisseur (espace vide compris en mm)	Fréquence (Hz)						
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Mur de finition normale								
Briques	—	0,05	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Bloc en machefer	—	0,10	0,20	0,45	0,60	0,40	0,45	0,40
Béton	—	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Vitre (jusqu'à 4 mm) de 1 m ² environ	4	0,25	0,35	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05
Vitre de 6 mm et de 1 m ² environ	6	0,08	0,15	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02
Marbre ou tuile en verre	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Plâtre sur mur plein	12	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Eau (d'une piscine par exemple)	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Traitement du mur ou du plafond								
Rideaux plissés sur mur plein	—	0,05	0,05	0,15	0,35	0,40	0,50	0,40
Plâtre acoustique (valeurs types)	12	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Amiante projetée sur le mur ou le plafond	25	0,05	0,10	0,30	0,65	0,85	0,85	0,75
Amiante projetée sur du métal avec vide d'air de 75 mm	100	0,20	0,30	0,40	0,65	0,80	0,75	0,70
Verre ou couche de laine de roche, valeurs types pour matériaux de densité moyenne	25	0,05	0,10	0,35	0,60	0,70	0,75	0,75
	50	0,10	0,20	0,45	0,65	0,75	0,80	0,80
	100	0,25	0,45	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85
	150	0,35	0,55	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95
Polyuréthane expansé	25	0,10	0,15	0,30	0,60	0,75	0,85	0,90
	50	0,15	0,25	0,50	0,85	0,95	0,90	0,90
	100	0,30	0,50	0,70	0,95	1,00	1,00	1,00
	27	0,25	0,30	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05
Plaque de plâtre de 9 mm sur armature à 0,5 m, 18 mm de vide d'air rempli de laine de verre								
Contreplaqué de 5 mm sur armature à 1 m, 50 mm de vide d'air rempli de laine de verre	55	0,30	0,40	0,35	0,20	0,15	0,05	0,05
Contreplaqué de 12 mm sur armature à 1 m, 59 mm de vide d'air rempli de laine de verre	71	0,25	0,30	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10
Isorel de 3 mm	53	0,50	0,90	0,45	0,25	0,15	0,10	0,10
Plaque de plâtre suspendue ou plafond en plâtre (avec vide d'air important)	—	0,20	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05
Plaque de fibres de bois sur supports pleins	12	0,05	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30	0,30
Revêtements du sol								
Dalle composite	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Moquette bouclée	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20	0,45	0,65
Moquette d'épaisseur moyenne sur thibaude de caoutchouc	10	0,05	0,05	0,10	0,30	0,50	0,65	0,70
Moquette de grande épaisseur sur thibaude de caoutchouc	15	0,05	0,15	0,25	0,50	0,60	0,70	0,65
Revêtement de dalles souples	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05
Propriété des plaques ou carrelages acoustiques (A noter que la performance varie suivant le type de la construction et la méthode de fixation. Obtenir toujours des chiffres exacts de la part du fabricant, les chiffres ci-contre donnent une moyenne acceptable de performance) Fixés directement sur le mur ou au plafond ou avec un espace minimum maximum	12 à 75	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,60	0,45
	12 à 75	0,15	0,20	0,60	0,80	0,85	0,80	0,75
	—	0,15	0,30	0,40	0,50	0,65	0,75	0,70
Sous forme de plafond suspendu minimum maximum	—	0,30	0,50	0,60	0,90	0,90	0,85	0,80
Contenu du local (Les chiffres donnés sont des valeurs totales représentant l'aire d'absorption équivalente en m ² Sabines par siège)								
Auditoire, par personne sur siège entièrement tapissé	—	0,15	0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45
Auditoire, par personne sur siège en bois ou partiellement capitonné	—	0,10	0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,40
Auditoire vide, par siège entièrement tapissé	—	0,05	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30
Auditoire vide, par siège en bois ou partiellement capitonné	—	0,02	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10

A [m²] par chaise

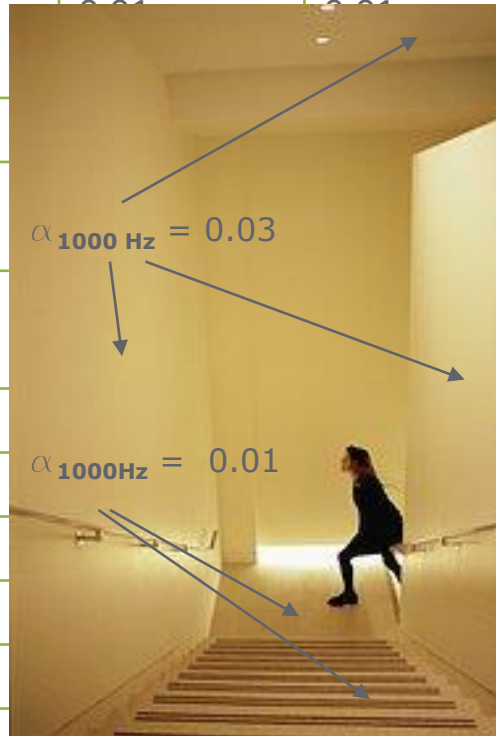


Quelques valeurs

Spectral ...

Comparaison rapide

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Fenêtres	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05
Béton coulé non peint	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
Plâtre			0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Bois peint (par exemple porte)			0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
Laine minérale 100 kg/m ³			0.88	0.93	0.81	0.76	0.85
Marbre			0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Carrelage			0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
Parquet			0.07	0.07	0.07	0.07	0.05
Linoleum			0.08	0.12	0.04	0.04	0.10
Tapis plein			0.21	0.26	0.27	0.37	0.25



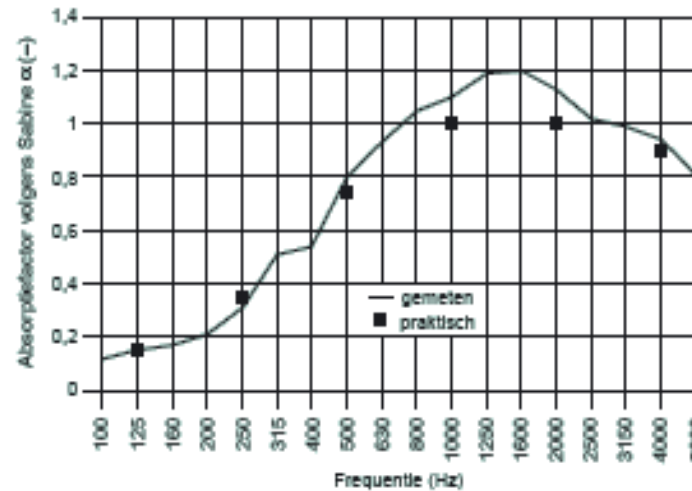
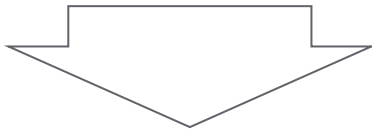
Zones de **circulation** communes: généralement revêtues de matériaux **peu absorbants** ($\alpha < 0,10$).

Interprétation correcte des fiches techniques !



Caractéristique du produit

- ✓ valeur entre 0 et 1: de 0% à 100% d'absorption du bruit incident
- ✓ dépendant de la fréquence
- ✓ fonction de l'angle d'incidence
- ✓ **mesuré en laboratoire**

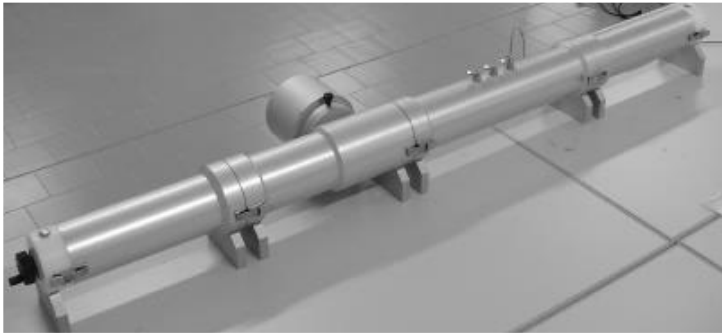


- ☐ "Reverberation room method" pour une incidence de bruit diffuse (ISO 354)
- ☐ "Impedance tube method" pour une incidence de bruit perpendiculaire (ISO 10534)
- ☐ "Tone burst method" pour des angles d'incidence variables



Tube de Kundt ou chambre réverbérante ?

“tube de Kundt”



- ✓ *Petits échantillons*
- ✓ *Résultats reproductibles*
- ✓ *Échelle d'absorption directe*

chambre réverbérante

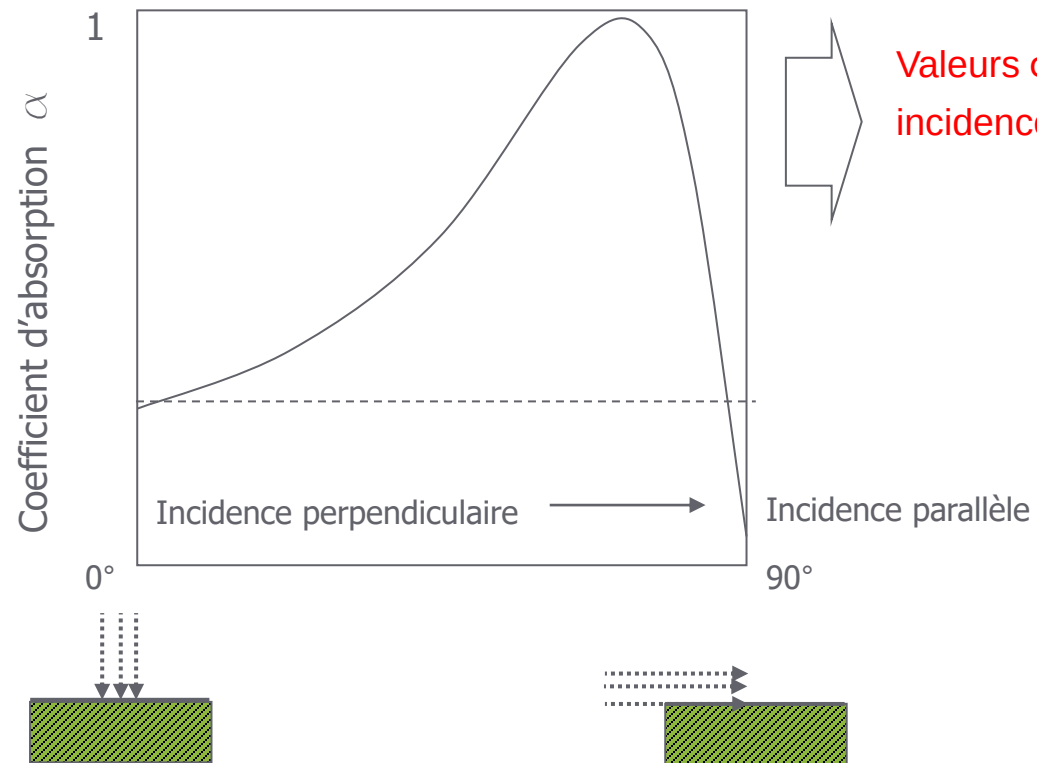


- ✓ *Systèmes ou objets complets*
- ✓ *Pour du bruit incident diffus*



Tube de Kundt ou chambre réverbérante ?

Influence de l'angle d'incidence



Valeurs d'absorption plus élevées pour bruit à incidence diffuse (chambre réverbérante)



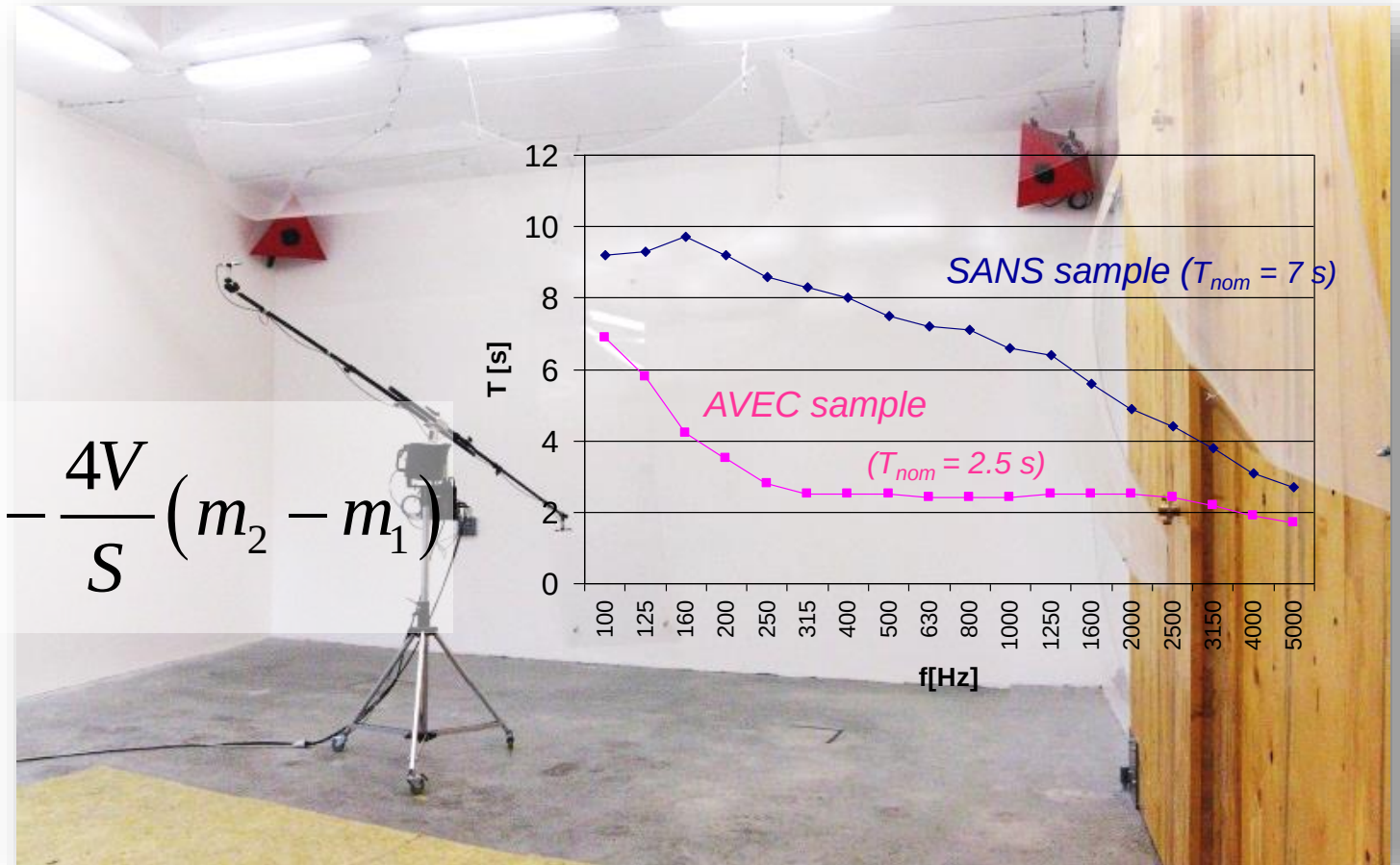
Chambre réverbérante

“Reverberation room method” pour incidence diffuse (ISO 354)

- Principe de mesure: mesure du temps de réverbération, avec et sans échantillon

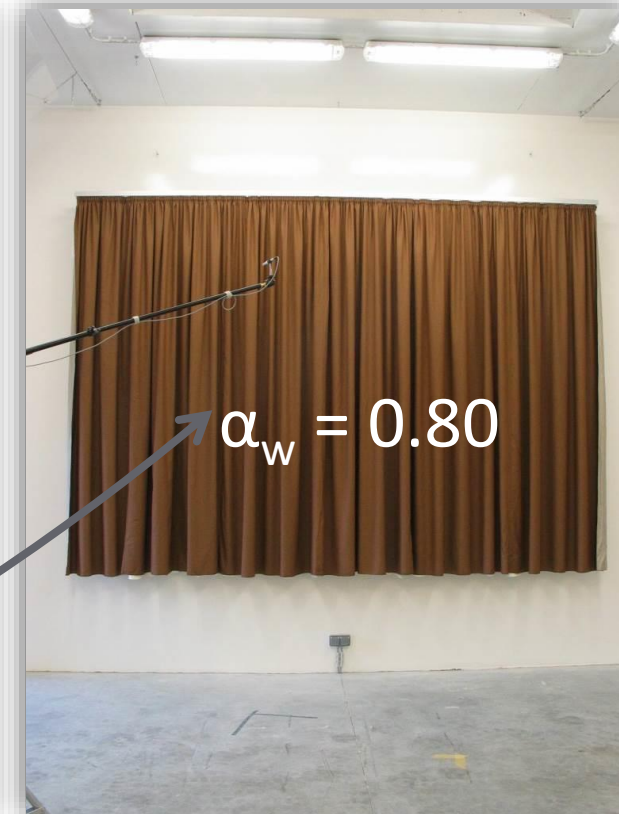
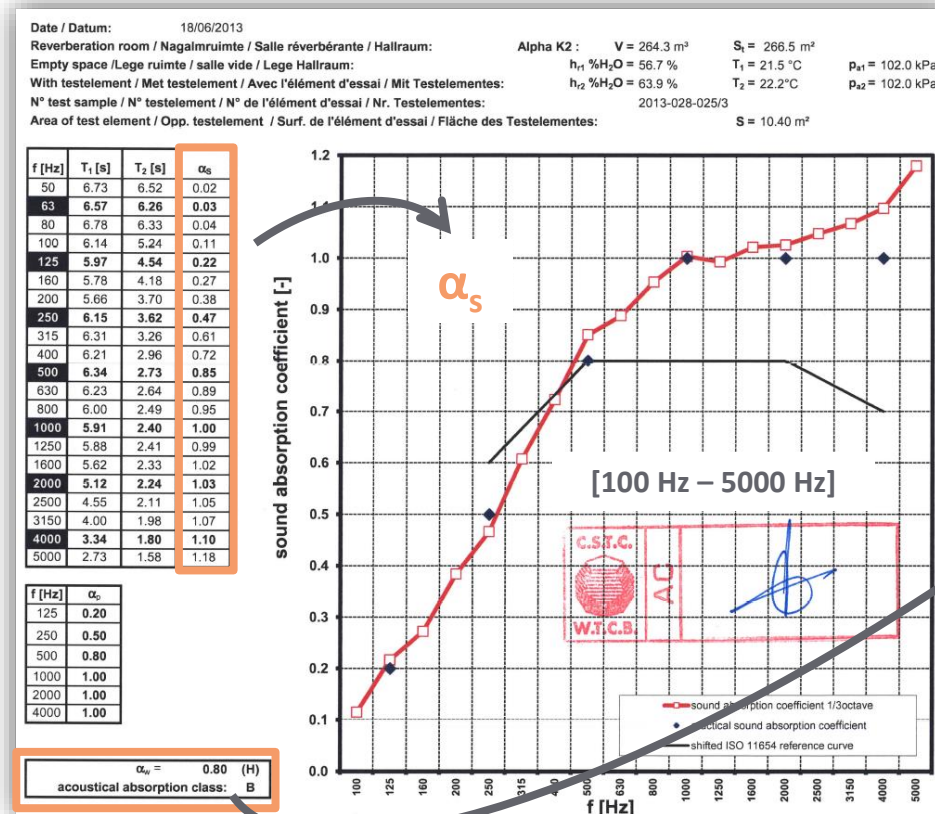
$$\alpha_s = \frac{55,3V}{S} \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_2 - m_1)$$

Loi de Sabine (formule détaillée)



Spectre d'absorption

α_s "coefficient d'absorption acoustique" [50-5000 Hz] (mesuré selon la **ISO 354** dans la chambre réverbérante)



α_w "coefficient d'absorption acoustique pondéré" (valeur unique calculée selon la **ISO 11654**)





En termes de réverbération et d'absorption, des exigences depuis 2008 ...



bâtiments non-résidentiels :

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

- Pas d'exigences T ou A



prNBN S 01-400-3 (202x)

- Pièces sensibles au bruit



bâtiments résidentiels : NBN S 01-400-1 (2008)

- Zones de circulation communes



prNBN S 01-400-1 (2019)

- idem



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

- Pièces sensibles au bruit



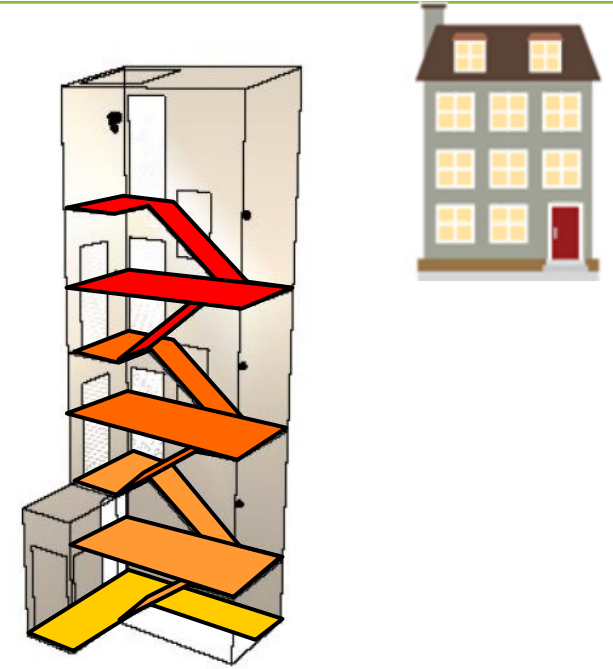
Couloirs, halls d'entrée, cages d'escalier :



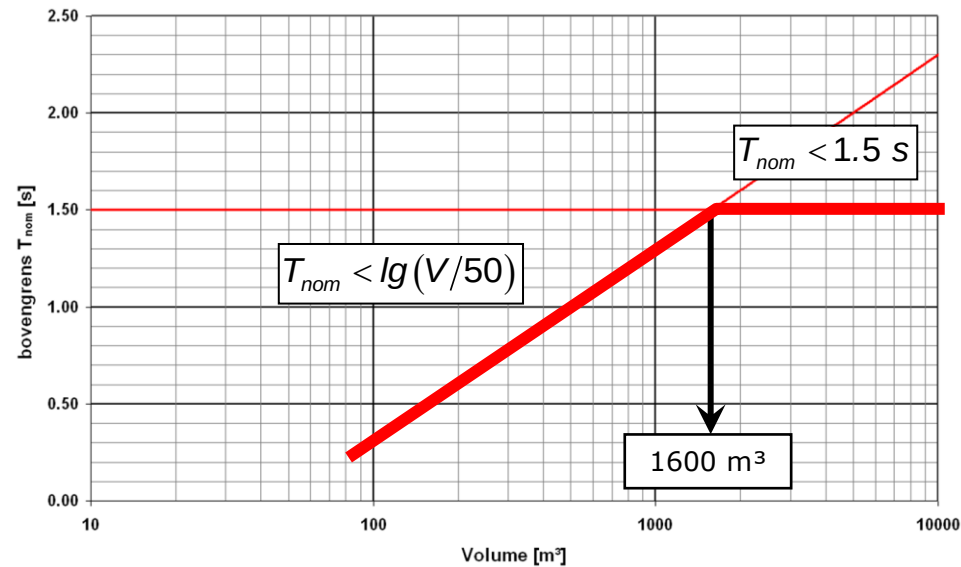
$$A_w \geq 0.3 S_H$$

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

zone de marche projetée horizontalement



Atria :



$$T_{nom} = \frac{T_{500\text{Hz}} + T_{1000\text{Hz}}}{2}$$





"Het sociale contact en de interactie tussen de kinderen is essentieel. Samen aan tafel zitten is een belangrijk aspect van de opvoeding."

Zwijgen in de refter

PROF

- Effort vocal
- Bruit et stress

ÉLÈVE

- Audible?
- Effort d'écoute?
- Bruit et stress
- Concentration ...

Réfectoire

Gym

Couloirs

Terrain de jeux

Salle de classe



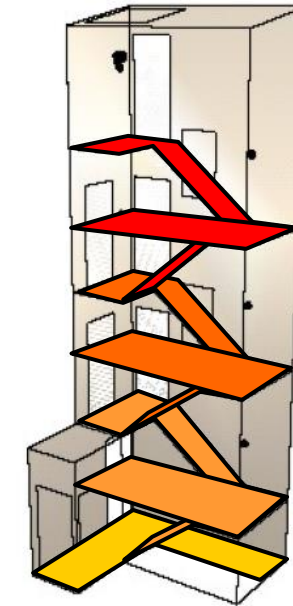


Exigences de conception (absorption minimale)

	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	$A_W \geq 0,4 \times S_H$ (*)	$A_W \geq 0,5 \times S_H$ (*)

“Coefficient d'absorption acoustique pondéré par surface” :
$$\overline{\alpha_W} = \frac{\sum \alpha_{W,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_W}{S_{tot}}$$

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





Exigences à la réception (T maximal)

- Contrôle par mesure, non-meublé et inoccupé (sinon -10%)

$$T_{nom} = \frac{T_{500Hz} + T_{1000Hz} + T_{2000Hz}}{3}$$

- Marge d'évaluation: + 10%
- Autres zones sensibles au bruit: $T_{nom} \leq T_0$

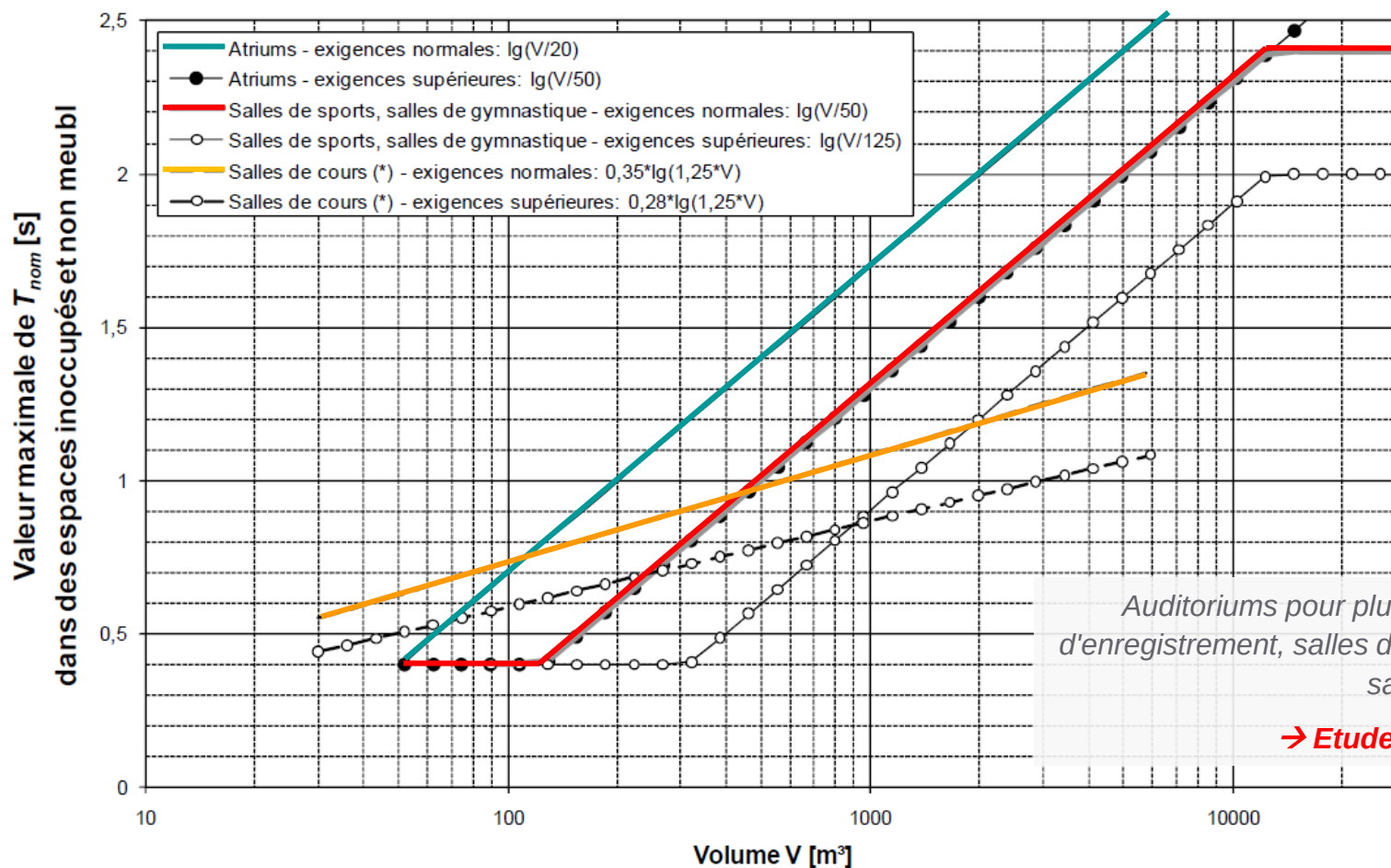
	T_0 [s] ⁽¹⁾	Exigences normales	Exigences supérieures
Salle de cours ⁽²⁾			
salle de classe ordinaire, auditoire, salle de séminaire, espace pour cours privés, laboratoire de langue	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq 0,8 \times T_0$
salle de jeux et de repos d'école maternelle	0,6 s		
salle de classe paysagère	demande une étude acoustique spécifique (cfr 9.3)		
Salle de sports, salle de gymnastique ⁽²⁾ , zone de récréation intérieure			
	$\lg(V/50)$	$T_{nom} \leq T_0$ $T_{nom} \leq 2,4$ s	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s ; $T_{nom} \leq 2$ s
Atrium			
	$\lg(V/20)$	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s
Réfectoire			
	1 s	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s
Couloir, cage d'escalier, hall (d'entrée), espace de rencontre			
	pas d'exigences spécifiques sur le temps de réverbération		

Type de l'espace	Temps de réverbération de référence
	T_0 ⁽¹⁾ [s]
SALLES DE COURS	
Ecole maternelle	
salles de jeux	0.6
salles de repos	0.6
Ecole primaire, école secondaire, enseignement supérieur	
salles de classe ordinaires, espaces pour petits groupes, salles de séminaire, espaces pour cours privés, laboratoires de langues	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
Salles de cours paysagères	0.8
Auditoires	
petit (≤ 50 personnes)	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
grand (> 50 personnes)	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
ENSEIGNEMENT PARTICULIER	
Musique	
classe de musique	1
petits locaux de répétition	0.8
espaces pour ensembles musicaux	0.9
salles de concert	1.3
studios d'enregistrement	0.8
régies	0.5
Projet et technologie	
ateliers	0.8
électronique, textile, alimentation, graphisme, projet	0.8
Sciences	
laboratoires de science	0.8
Les arts du spectacle	
espaces de création artistique	0.8
studios de danse	1.2
studios dramatique	1
Sport	
salles de sports, salles de gymnastique	$\lg(V/50)$
piscines	2





Exigences à la réception (T maximal)



(*) excepté pour les salles de classe paysagères, les salles de jeux et de repos des écoles maternelles





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Dispositif | [Dispositifs d'absorption acoustique](#)



Ouvrages

- ▶ NBN S 01-400-1: Critères acoustiques pour des immeubles d'habitation, NBN, 2008
- ▶ prNBN S 01-400-1: Critères acoustiques pour des immeubles d'habitation, NBN, 2019
- ▶ NBN S 01-400-2: Critères acoustiques pour des bâtiments scolaires, NBN, 2012
- ▶ NBN EN ISO 345 : Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room, NBN, 2003 - Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption, NBN 1997
- ▶ NBN EN 12354-6: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces, NBN, 2004
- ▶ Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)
- ▶ Bouwakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, G. Vermeir, 2003
- ▶ Zaalakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, D. De Vries, 2003
- ▶ Noise and vibration control, L.L. Beranek, 1988



Sites internet

- ▶ www.normes.be/acoustique
- ▶ https://www.youtube.com/watch?v=dWNV_JFoLg
- ▶ http://www.acousticbulletin.com/EN/Essex_Final%20report%20V4_28_05_12.pdf



Debby WUYTS, ir. arch.

Chef du Laboratoire Acoustique, CSTC

 +32 2 655 77 11

 debby.wuyts@bbri.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION



Êtes-vous un professionnel du bâtiment à Bruxelles...

- Actif dans le domaine de la construction durable et construction 4.0
- Qui s'investi dans les techniques de construction neuves et innovantes
- Désireux d'augmenter votre compétence, votre rendement et votre part de marché?

Êtes-vous à la recherche ...

- d'un support technologique professionnel
- d'informations sur le marché indépendantes et fiables
- de possibilités de financement et de subsides
- de sessions d'informations sur les nouvelles technologies au sein de votre secteur

pour développer et réaliser votre idée innovante ?

Alors contactez aujourd'hui "C-Tech", votre service CSTC:

- Composé d'une grande équipe d'experts multidisciplinaires
- Ayant des années d'expériences sur chantier et dans la recherche
- Ayant un vaste réseau régional et international

afin de concrétiser, en toute confidentialité, votre idée innovante ou procédé nouveau!



Votre partenaire en innovation, la construction 4.0 et la construction durable

Souhaitez-vous bénéficier gratuitement de cette assistance? Appelez ou écrivez-nous encore aujourd'hui!



C-TECH c/o CSTC

Guidance Technologique "Ecoconstruction" Bruxelles

Rue Dieudonné Lefèvre 17
1020 Bruxelles



Téléphone : 02 655 77 11

E-mail : c-tech.brussels@bbri.be

www.c-tech.brussels



EN COLLABORATION AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE

