

RESONANCES

**29 NOVEMBRE 2023
CASINO DE MONTBENON
8H30-12H00**

ECOACOUSTIQUE

RESONANCES-BOIS.CH
ACOUSTIQUE - BOIS - PAYSAGE & ECOLOGIE SONORES



Transmissions latérales Comment réussir l'acoustique d'une construction bois?

Exemples théoriques et pratiques

DESARNAULDS Victor, desarnaulds@ecoacoustique.ch

CHAROSKY Leo, charosky@ecoacoustique.ch

EcoAcoustique SA – Avenue de l'Université 24 – 1005 Lausanne

Plan de la présentation

Introduction

Transmissions latérales

Définition, calculs prédictifs

Exemples pratiques

Transmissions chiffrées, ajout de masse, coupure et doublage

Conclusion



Introduction

Toujours plus de systèmes développés

-> Comment assurer le respect des exigences

Bonne connaissance des transmissions directe

-> Quelle influence des transmissions latérales ?

Mesurages en laboratoire et mesurages in situ

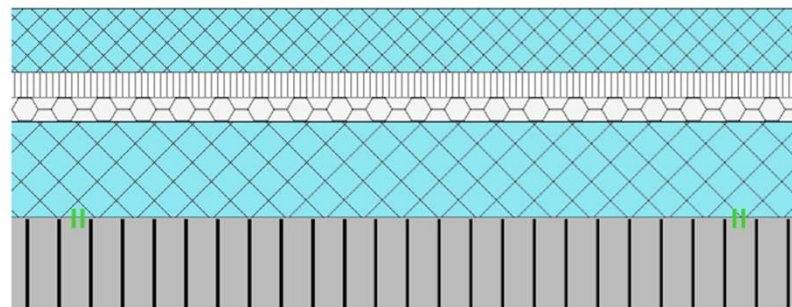
-> Pourquoi de telles différences dans les constructions bois



Introduction – Transmission directe (laboratoire)

Lignumdata.ch

Couche	Produit	Producteur	Épaisseur [mm]
Couche posée dessus	Chape ciment	Produit générique	80 mm
Isolément aux bruits de choc	Laine de verre avec rigidité dynamique $s' \leq 6$ [MN/m ³]	Isover, Sager, Swisspor, Zisola	30 mm
Isolation supplémentaire	Polystyrène expansé (EPS)	Swisspor, Sager	30 mm
Ajout de masse sur la structure support	Béton 120mm avec armature en acier 150mm d=7mm	Produit générique	120 mm
Adhérence	Raide, exécution selon des règles reconnues	-	-
Structure support	Panneau à base de bois travaillant, planches juxtaposées, bois lamellé croisé ≥ 450 kg/m³	Swiss Krono, Pius Schuler, Stora Enso, Binderholz, Novatop, Pfeleiderer, Kaufmann Oberholzer, Tschopp, Sidler Holz, Egg Holz Kälin, Schilliger Holz	120 mm

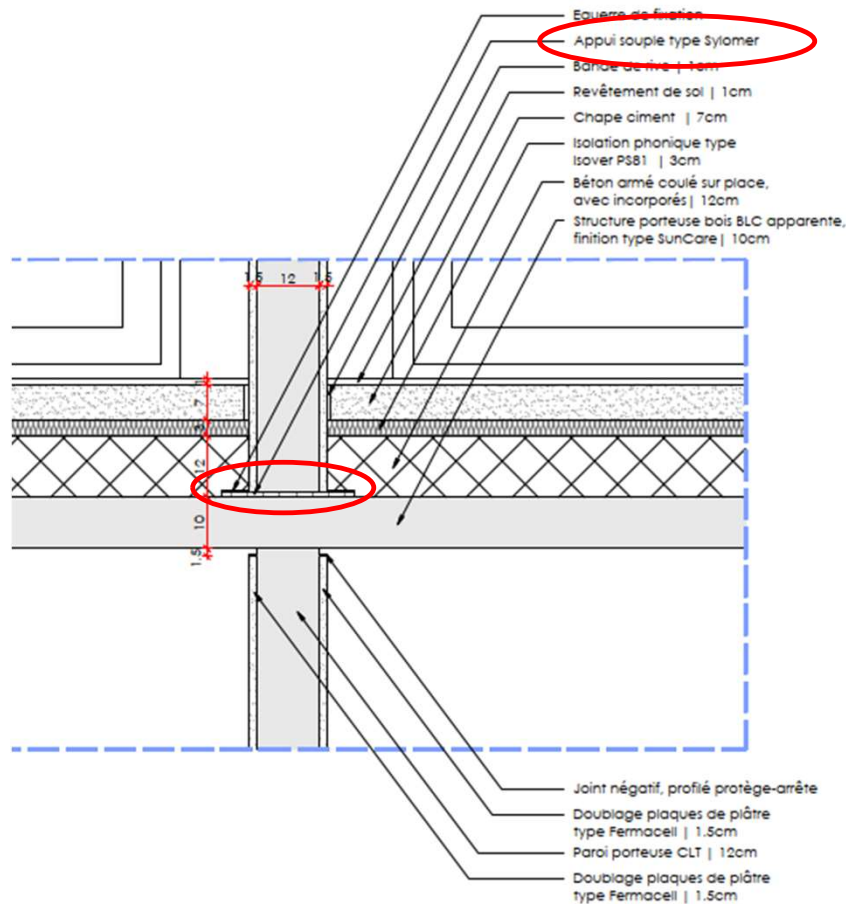


Valeurs d'isolation au bruit aérien		Valeurs d'isolation au bruit de choc	
R _w	71 dB	L _{nw}	44 dB
C	-2 dB	C _I	0 dB
C50-3150	-7 dB	CI50-2500	6 dB

Large respect des exigences accrues de la norme SIA181:2020
Aérien $D_i \geq 56$ dB; choc $L' \leq 49$ dB



Introduction – Mesurages in situ



Bruit aérien : $R'w+C= 57$ à 63 dB
(6 à 12 dB de moins que labo)

Bruit choc parquet: $L'_{tot} = 46 - 47$ dB
(2 à 3 dB de moins que labo)

Bruit choc carrelage: $L'_{tot} = 51 - 56$ dB
(6 à 12 dB de moins que labo)

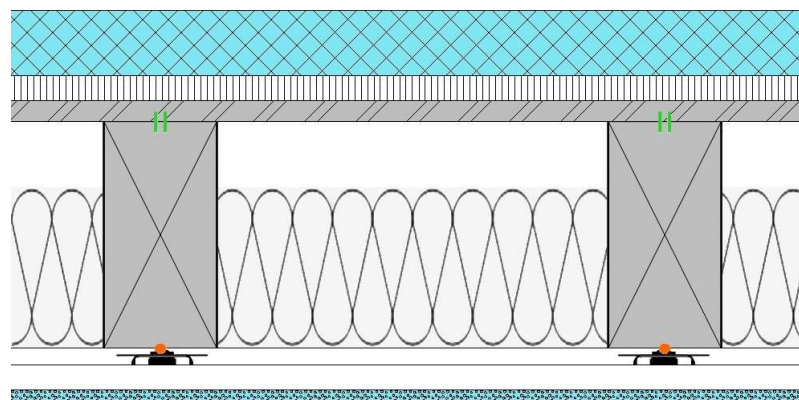
Bruit installation: $L_{H,tot}$
Insuffisance de 2 à 7 dB par rapport
exigences minimales
(sauf celle sur doublage placo)

**Ecart important avec résultats labo (transmissions)
et entre mesures malgré coupure (exécution)**



Introduction – Transmission directe

Lignumdata.ch

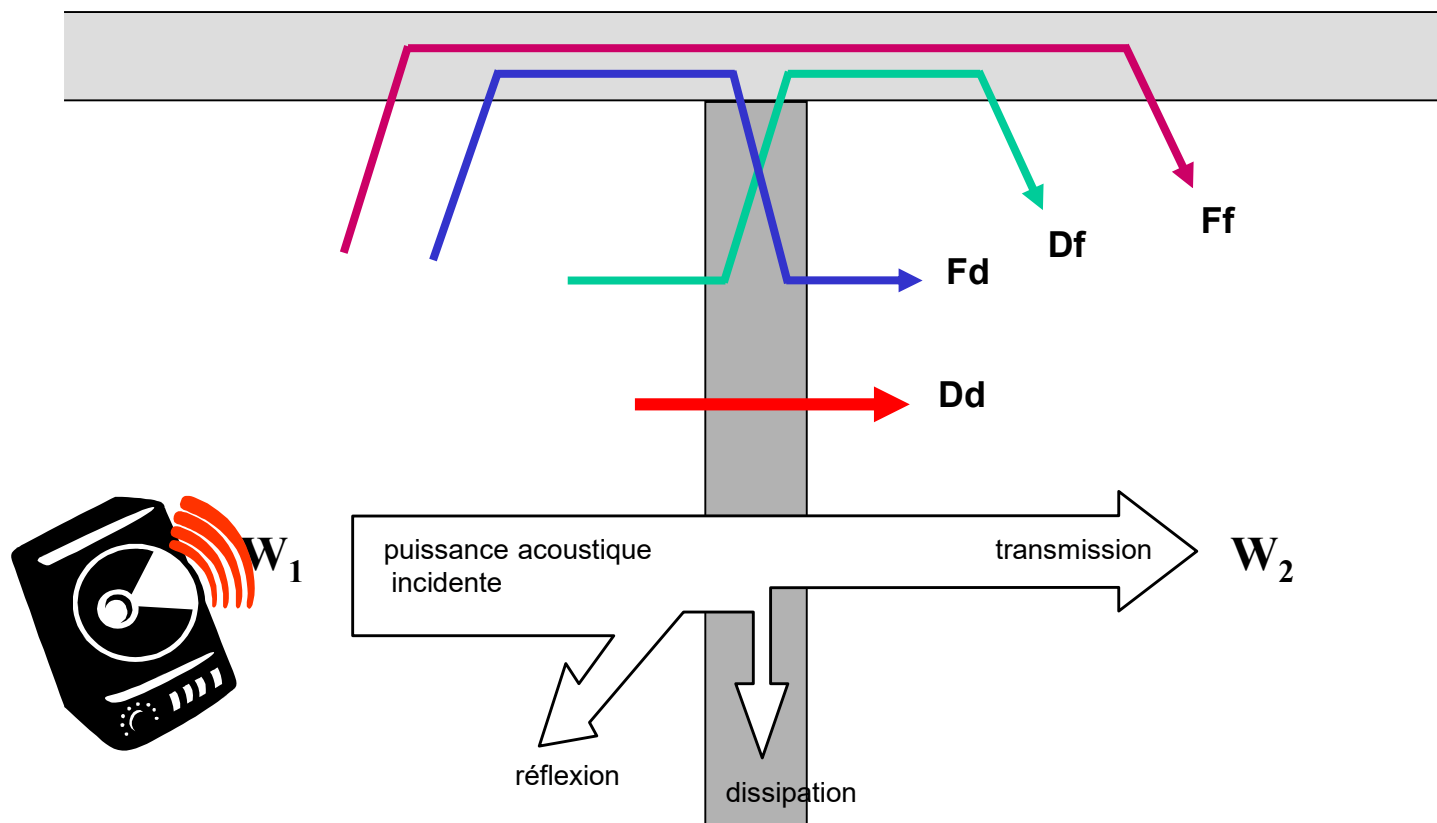


Valeurs d'isolation au bruit aérien		Valeurs d'isolation au bruit de choc	
R_w	70 dB	L_{nw}	45 dB
C	-5 dB	C_i	2 dB
$C_{50-3150}$	-13 dB	$C_{i50-2500}$	11 dB

Mesurage in situ $R'_w + C = 50$ dB !!!



Transmissions latérales - Définitions



Transmissions latérales - Indices

Indice d'affaiblissement acoustique R
(laboratoire)

$$R = 10 \cdot \lg \left(\frac{W_1}{W_2} \right)$$

Indice d'affaiblissement acoustique **apparent** R'^o
(in situ avec transmissions latérales)

$$R'^{\circ} = 10 \cdot \lg \left(\frac{W_1}{W_{2Dd} + W_{2Df} + \dots} \right)$$



Transmissions latérales - Calculs

Calcul R et R' avec I_{norme} ISO EN 12354-1

Indice d'affaiblissement vibratoire, K_{ij}

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ dB}$$

où :

$D_{v,ij}$ est l'isolement vibratoire entre les éléments i et j , lorsque l'élément i est excité, exprimé en décibels ;

$D_{v,ji}$ est l'isolement vibratoire entre les éléments j et i , lorsque l'élément j est excité, exprimé en décibels ;

l_{ij} est la longueur courante du raccordement entre les éléments i et j , exprimée en mètres ;

a_i est la longueur d'absorption équivalente de l'élément i , exprimée en mètres ;

a_j est la longueur d'absorption équivalente de l'élément j , exprimée en mètres.

Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements —

Part 1:

Airborne sound insulation between rooms

Acoustique du bâtiment — Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments —

Partie 1: Isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux



Transmissions latérales - Calculs

L'indice d'affaiblissement acoustique latéral est déterminé à partir des valeurs d'entrée ajustées, avec $ij = Ff, Fd$ et Df , d'après :

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + \left(10 \lg \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \right) \text{dB}$$

$$R_{situ} = R - \left(10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right) \text{dB} \quad D_{v,ij,situ} = K_{ij} - \left(10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}} \right) \quad a_{i,situ} = \frac{2,2 \pi^2 S_i}{C_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

$T_{s,situ}$ est la durée de réverbération structurale de l'élément sur le terrain, exprimée en secondes ;

$T_{s,lab}$ est la durée de réverbération structurale de l'élément en laboratoire, exprimée en secondes.

S est la surface de l'élément i ou j , exprimée en mètres carrés ;

f est la fréquence de la bande centrale, exprimée en hertz ;

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

c_0 est la célérité du son dans l'air, exprimée en mètres par seconde.



Transmissions latérales - Calculs

Calcul R et R' avec EN 12354-1

La longueur d'absorption équivalente est donnée par :

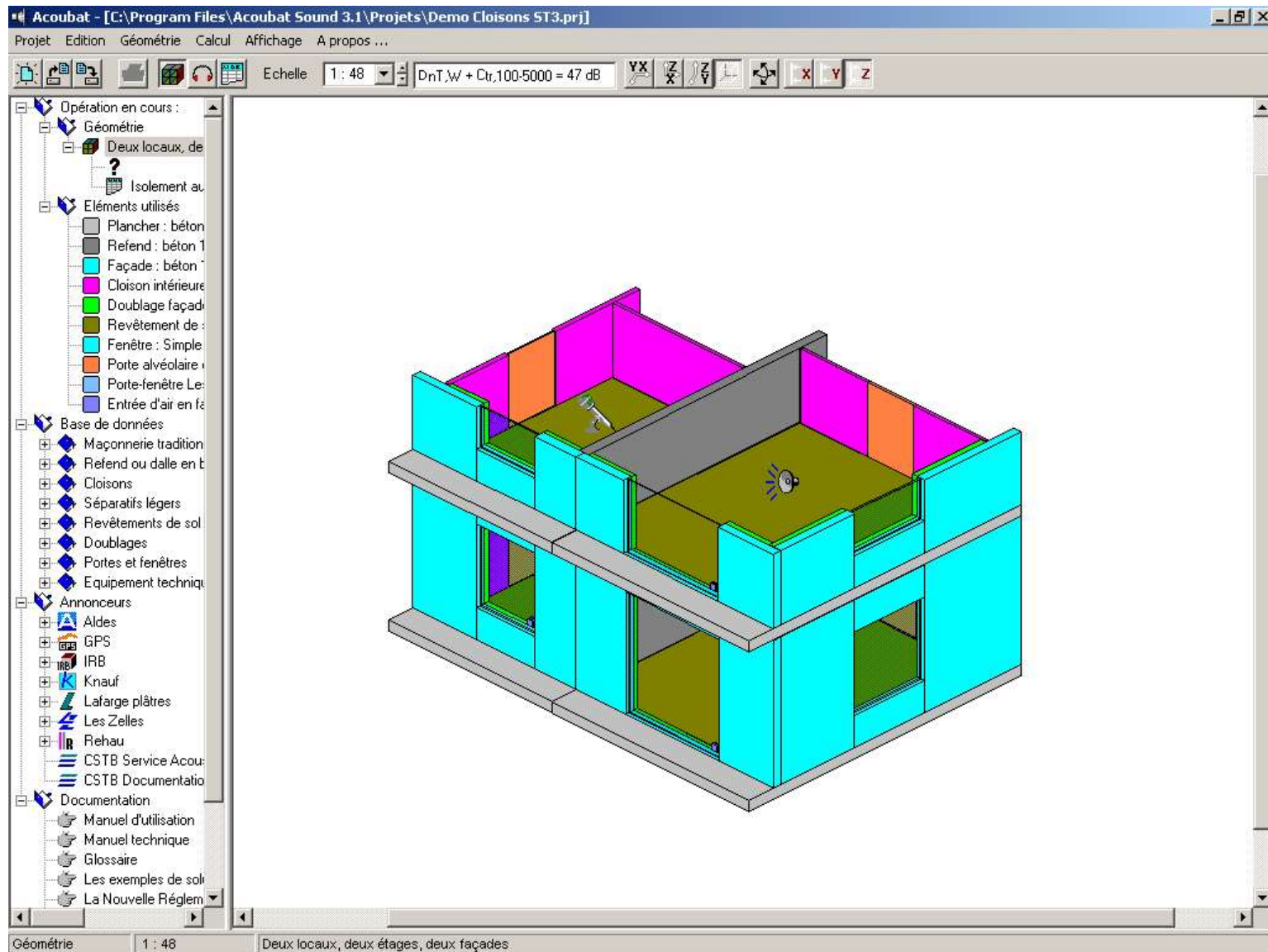
$$a = \frac{2,2 \pi^2 S}{c_0 T_s} \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f}}$$

où :

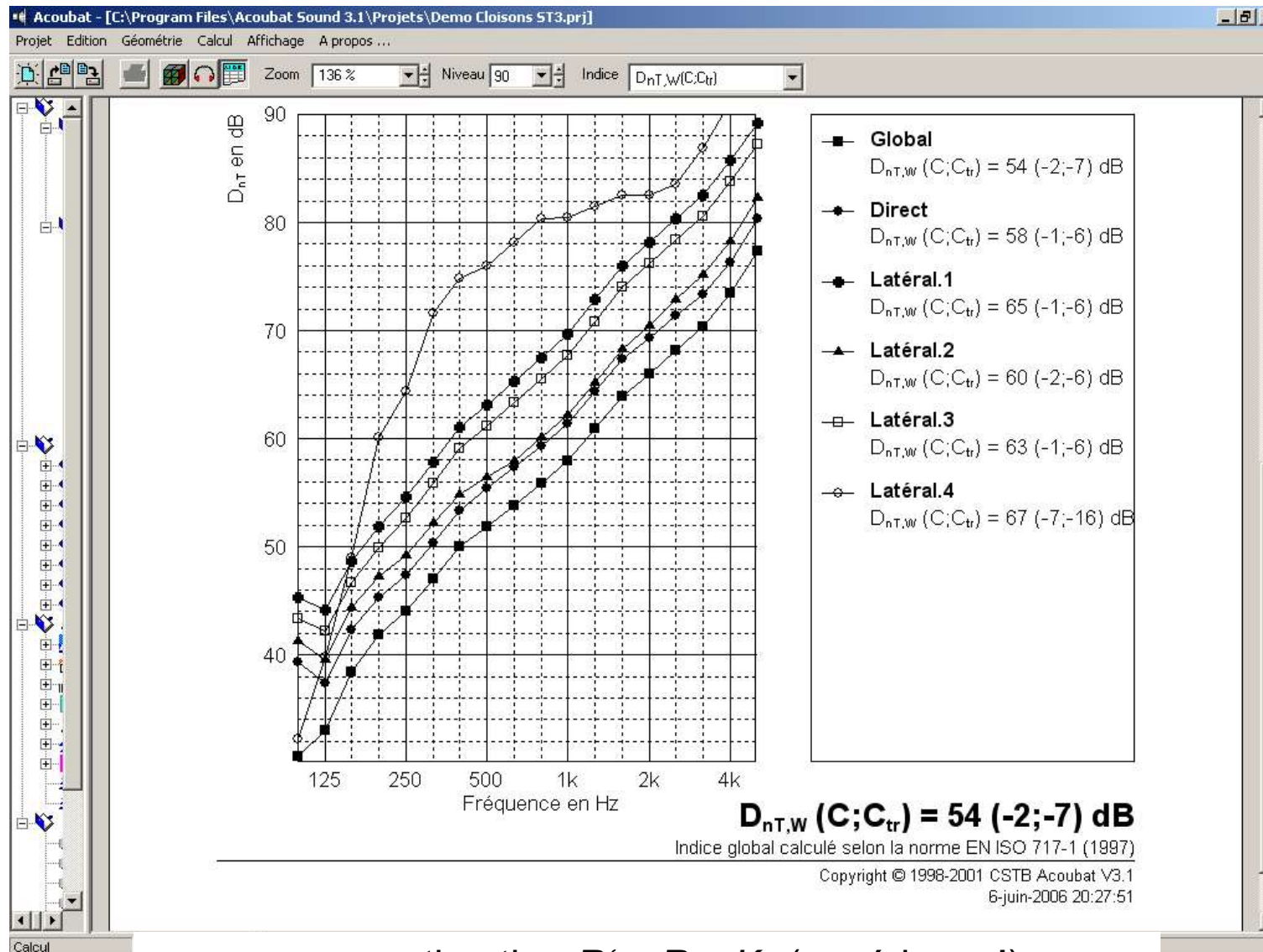
- T_s est la durée de réverbération structurale de l'élément i ou j , exprimée en secondes ;
- S est la surface de l'élément i ou j , exprimée en mètres carrés ;
- f est la fréquence de la bande centrale, exprimée en hertz ;
- f_{ref} est la fréquence de référence ; $f_{\text{ref}} = 1\,000$ Hz ;
- c_0 est la célérité du son dans l'air, exprimée en mètres par seconde.



Transmissions latérales – Calculs avec logiciel



Transmissions latérales – Calculs avec logiciel



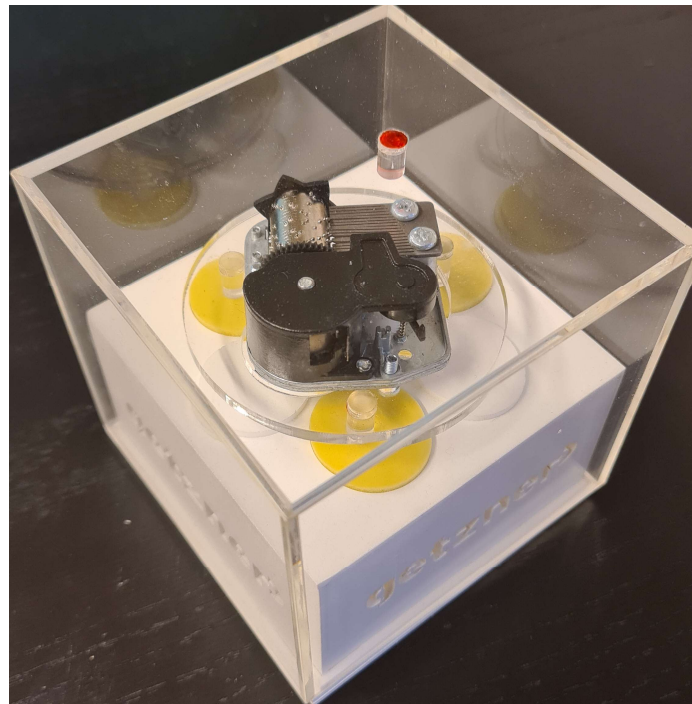
... ou estimation $R' = R - K_F$ (expérience!)



Comment limiter les transmissions latérales

Pour limiter les transmissions latérales, il faut :

- Masse importante (plus construction légère!)
- Coupure des éléments (problèmes statiques!)
- Doublage (perte de place et de visibilité du bois)



Exemples pratiques

Cas 1 : Caissons Lignatur – exemple théorique

Limitation des transmissions par coupure ou par doublage

Cas 2 : L'Hôtel des Horlogers – exemple pratique

Dalle mixte, calculs prédictifs et mesurages de contrôle

Limitation des transmissions par ajout de masse

Cas 3 : Chavannes-des-Bois – exemple pratique

Logements en bois, dalles à caisson

Limitation des transmissions par doublage et coupure des dalles

Cas 4 : Pra Roman – exemple pratique

Dalles mixtes, séparateurs CLT

Limitation des transmissions par coupure des dalles et doublage des cloisons



Cas 1 – Caissons Lignatur – Modèle

Système Lignatur : Planchers à caissons

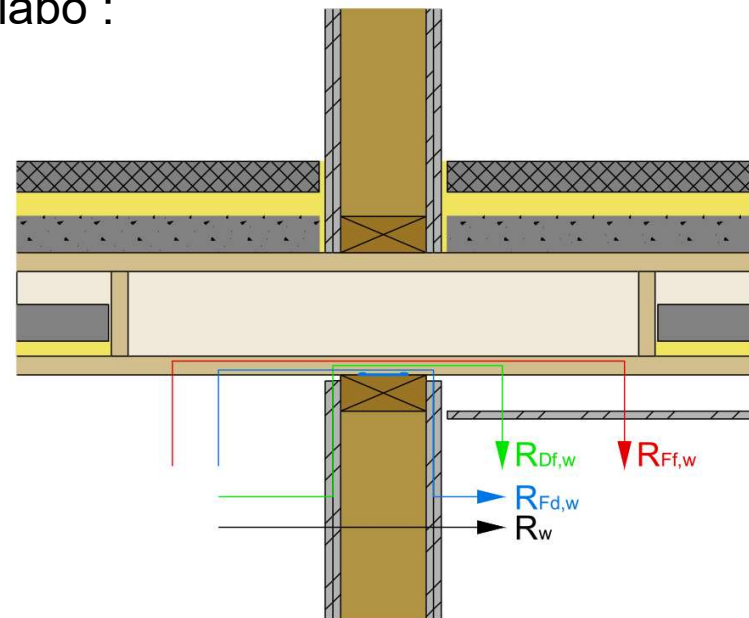
Modèle prédictif des transmissions latérales en fonction du type de cloison et du type de raccord entre planchers

Calculs selon ISO 12354-1 et mesures en laboratoire.

R'_w est fonction de la géométrie et des résultats labo :

$$R'_w = -10 \log \left(10^{\frac{-R_w}{10}} + \sum_{ij=1}^n 10^{\frac{-R_{ij,w}}{10}} \right) dB$$

$$R_{ij,w} = R_{ij,w,lab} + 10 \log \left(\frac{l_{lab}}{l_{Bau}} \right) + 10 \log \left(\frac{S_s}{A_0} \right) dB$$

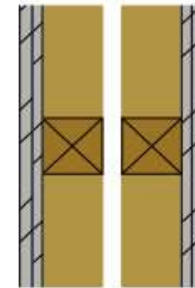


Cas 1a – L'étude Lignatur – Exemples

Séparateurs d'unités d'utilisation et basés sur des mesurages

a) Mur séparateur à double structure bois + 22.5 mm Fermacell

Direct : $R_w + C = 63 \text{ dB}$



Toiture : simple caisson traversant et isolation rigide par-dessus.

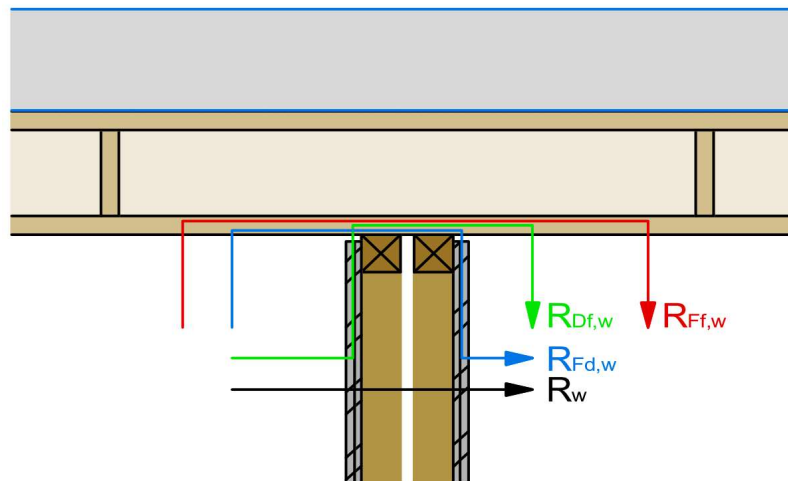
Résultats :

$$R_w + C = 63 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w,lab} = 34 \text{ dB}$$

$$R_{Fd,w,lab} = 49 \text{ dB}$$

$$R_{Df,w,lab} = 49 \text{ dB}$$



Cas 1a – L'étude Lignatur – Exemples

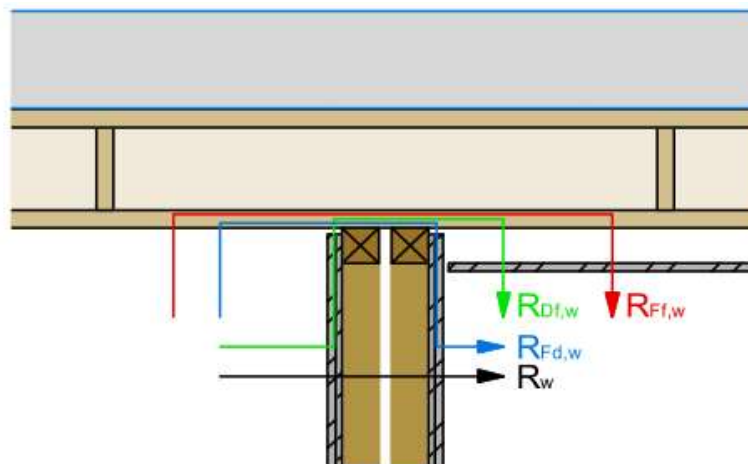
Avec faux-plafond d'un côté :

$$R_w + C = 63 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w,lab} = 55 \text{ dB}$$

$$R_{Fd,w,lab} = 49 \text{ dB}$$

$$R_{Df,w,lab} = 59 \text{ dB}$$



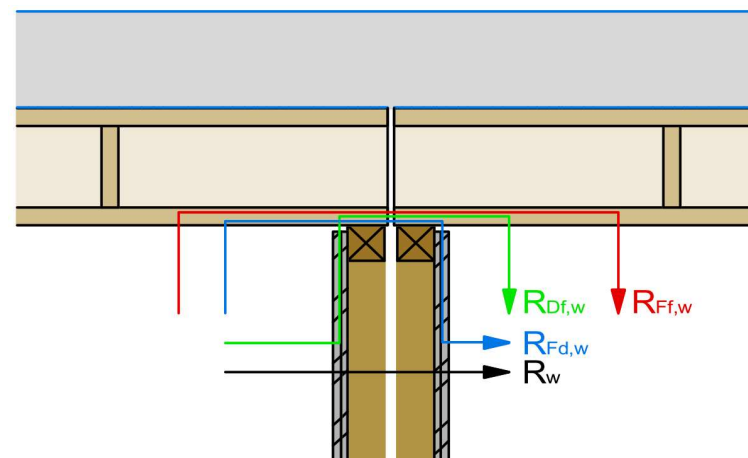
Avec coupure (imparfaite) :

$$R_w + C = 63 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w,lab} = 61 \text{ dB}$$

$$R_{Fd,w,lab} = 72 \text{ dB}^*$$

$$R_{Df,w,lab} = 72 \text{ dB}^*$$



*Valeurs calculées



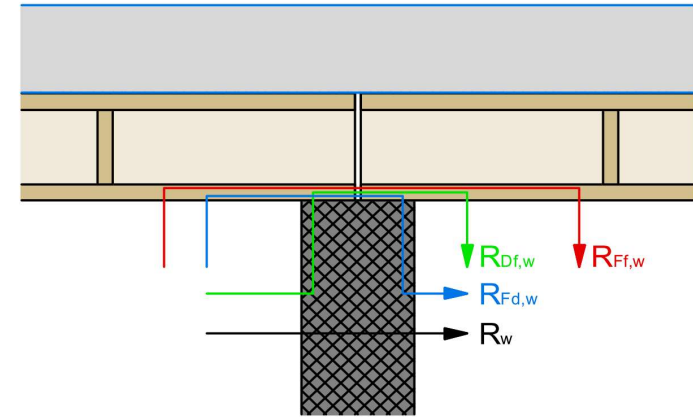
Cas 1b – L'étude Lignatur – Exemples

Cas b : mur BA 20 cm.

Seulement coupure caissons insuffisante :

$$R_w + C = 58 \text{ dB}$$

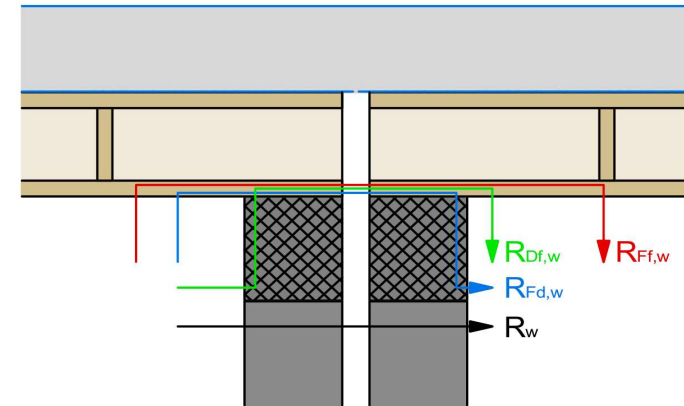
$$R_{Ff,w,lab} = 46 \text{ dB}^*$$



Si double mur aussi :

$$R_w + C = 62 \text{ dB}$$

$$R_{Ff,w,lab} = 61 \text{ dB}^*$$



*Valeurs calculées

Appuis souples : coupure partielle ?



Cas 1 – L'étude Lignatur – synthèse

- Élément continu non doublé : exigences minimales non atteintes.
- Transmissions latérales = facteur limitant
- Doublage d'un côté ou désolidarisation = possible de respecter (calcul)
- Doublage et désolidarisation : exigences accrues possibles
- Autres exemples : «[Studie Schallnebenwege mit LIGNATUR](#)»



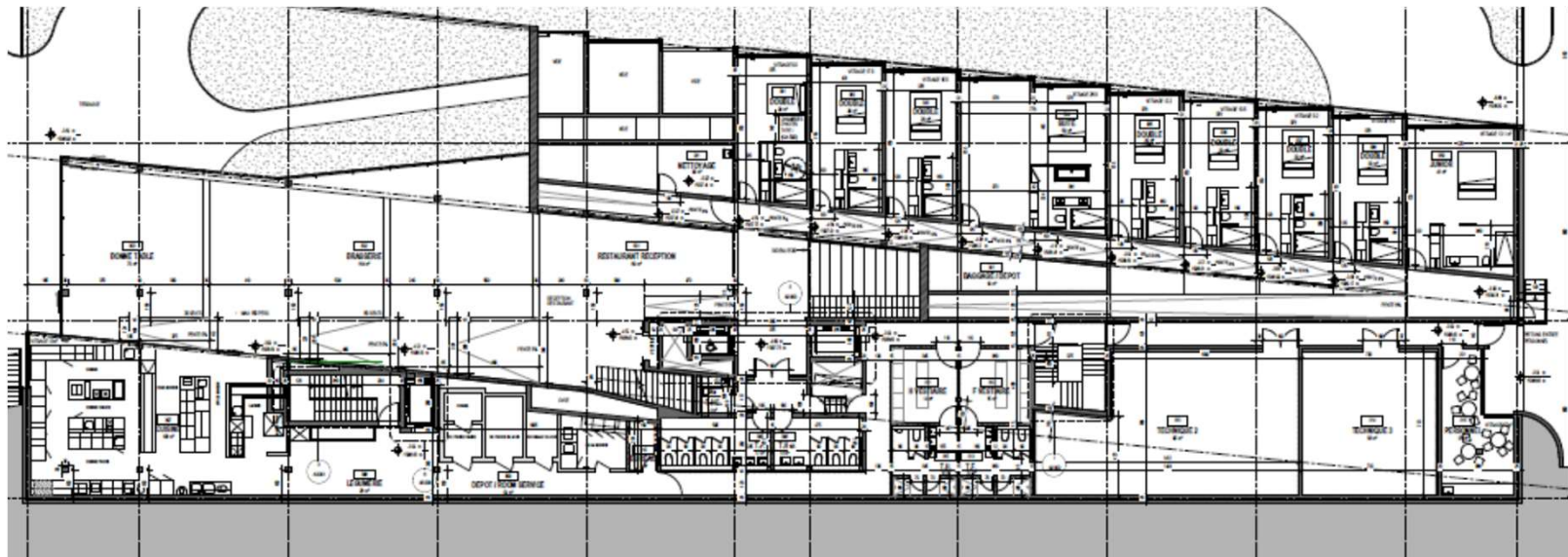
Cas 2 – Hôtel des horlogers – Présentation

BIG Architecture – Hôtel des horlogers au Brassus

Étude des éléments séparatifs entre chambres

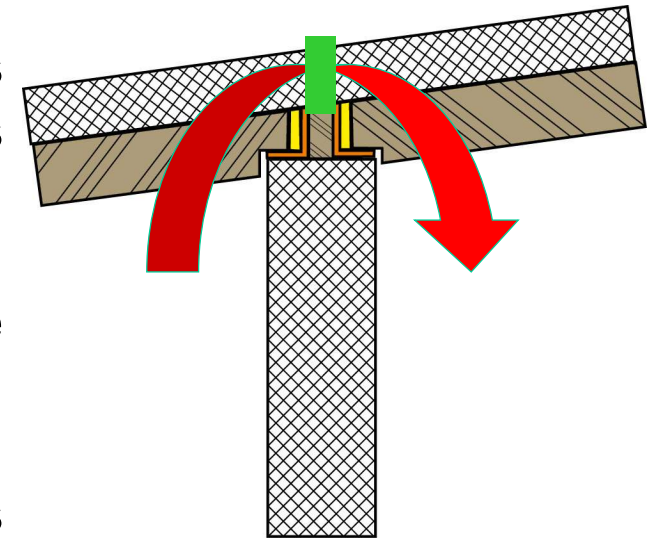
Exigences entre chambres : $D_i = 55$ dB (degré 2)

Mur béton et dalle mixte visible.



Cas 2 – Hôtel des horlogers – Projet réalisé

Dalle oblique BA continue, dalles bois coupées avec laine minérale (jaune) et bandes de lièges (orange).



Impossibilité de séparer également la dalle béton (structure + neige)

Challenge : min. de BA et exigences acoustiques

Mur : BA de 24 cm donc les transmission Df et Fd sont négligeables. On a :

$$R'_w = -10 \log \left(10^{\frac{-R_w}{10}} + 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} \right)$$



Cas 2 – Hôtel des horlogers – Calculs prédictifs

Des calculs ont été effectués pour la dalle BA interrompue et continue :

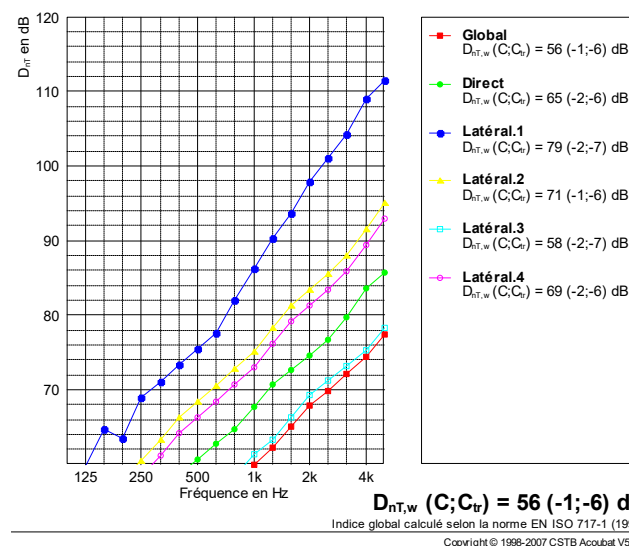
Selon DIN 4109

Tabelle 25. **Bewertetes Schall-Längsdämm-Maß $R_{L,w,R}$ massiver flankierender Bauteile von Trennwänden (Rechenwerte)**

Spalte	1	2		3
		$R_{L,w,R}$ dB		
Zeile	Flächenbezogene Masse m' kg/m ²			
		Decken	Längswände	
1	100	41	43	
2	200	51	53	
3	300	56	58	
4	350	58	60	
5	400	60	62	

Min. 15 cm béton

Selon ISO 12354



Ceiling Concrete	Mass (kg/m ²)	$D_{nT,w} + C$ (dB) uninterrupted	$D_{nT,w} + C$ (dB) interrupted
10 cm	230	49	57
12 cm	276	51	58
14 cm	322	54	59
15 cm	345	55	59
16 cm	368	56	59



Cas 2 – Hôtel des horlogers – Mesurages, conclusion

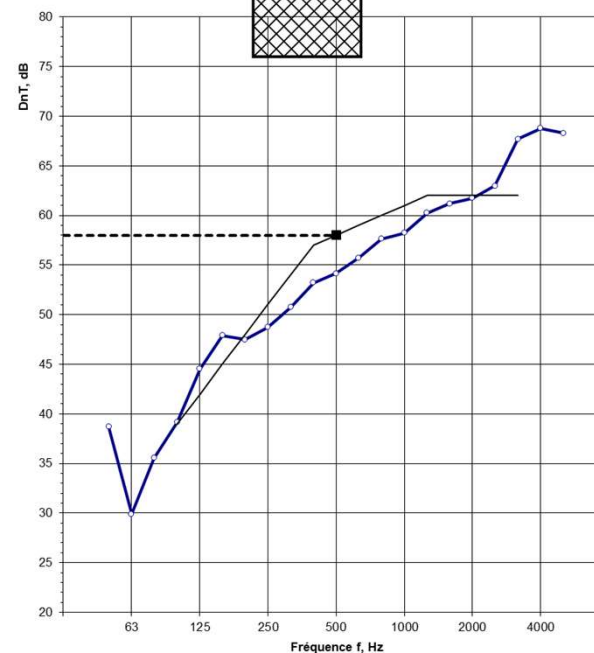
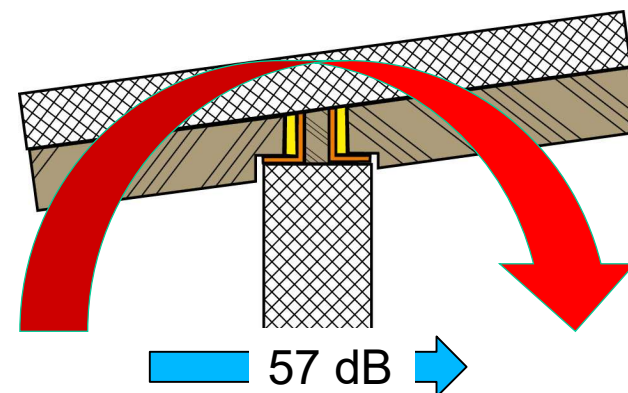
Mesurage de contrôle (BA 15 cm, continu) :

$$D_{i,tot} = 57 \text{ dB}$$

Conclusion : Dalle BA continue => Grande masse.

Dalle BA 15 et Mur BA 24. Construction «légère» ?

Si BA interrompu : 10 cm déjà OK



Cas 3 – Chavannes-des-Bois – Présentation

Mandat COST (coopération européenne science et technique) sur l'isolation acoustique des constructions bois FP0702. Bâtiment d'habitation, exig. Min. Mesurages sans biais !

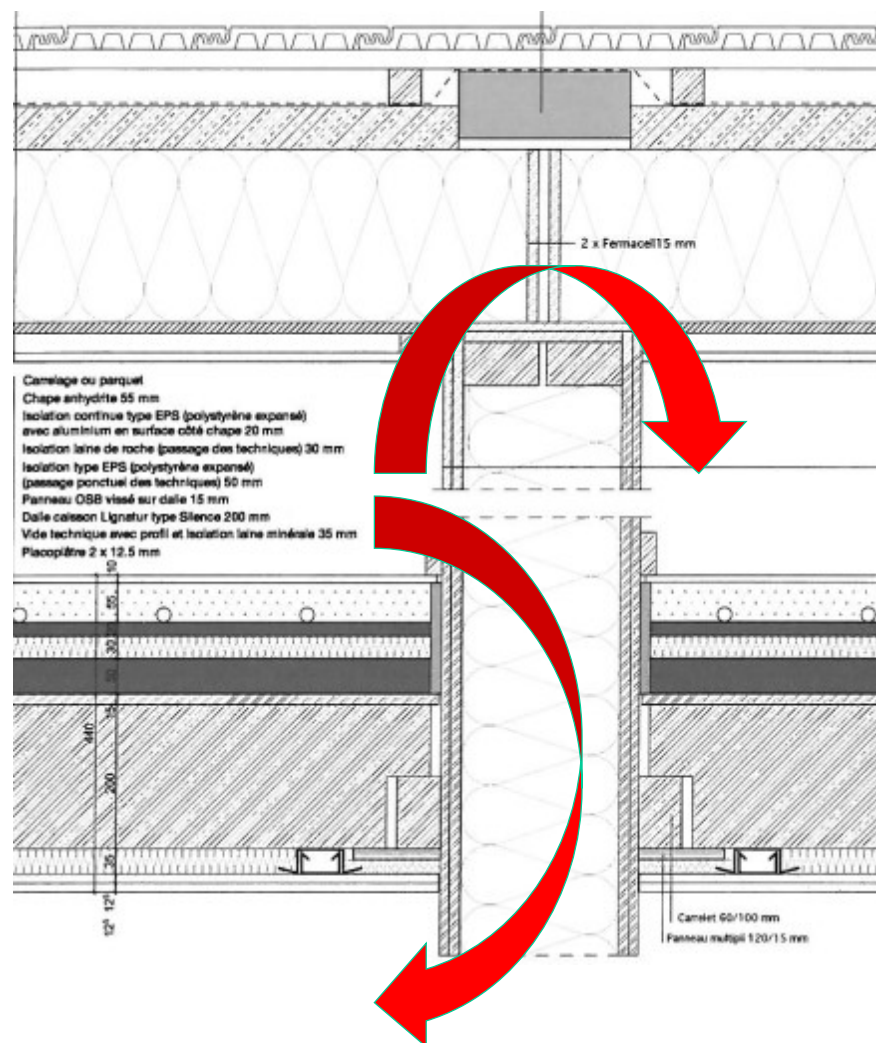
Cloison de séparation : double ossature bois + 27.5 mm Fermacell de chaque côté.

$R_w + C \sim 65 \text{ dB}$ selon Lignumdata (69 dB selon test labo d'une cloison similaire)

Plancher entre étages : Caisson Lignatur Silence + chape flottante et faux-plafond.

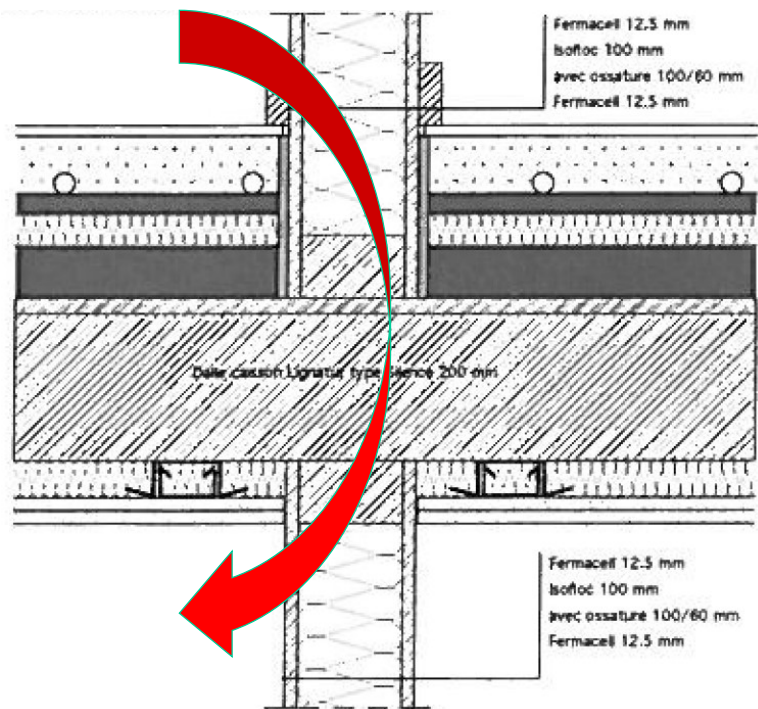
$R_w + C > 75 \text{ dB}$ (compositions similaires Lignumdata)

Toiture charpentée, avec faux-plafond 12.5 mm en plâtre vissé. Coupure Fermacell entre appartements.

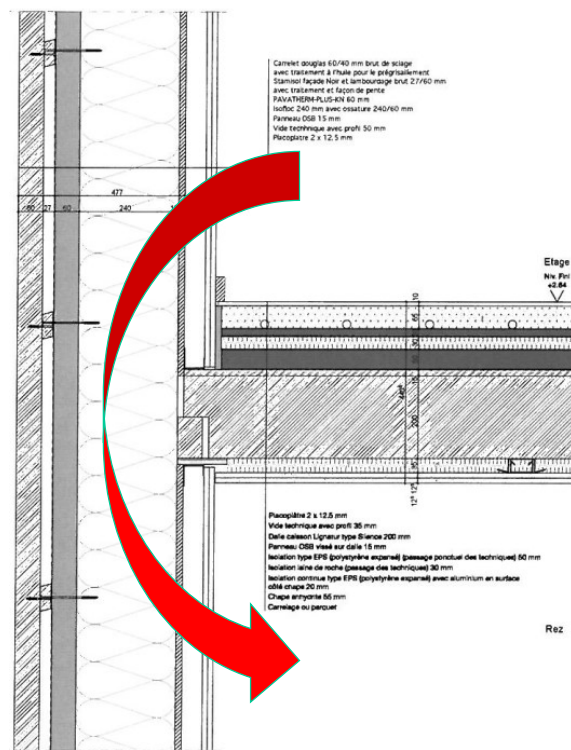


Cas 3 – Chavannes-des-Bois – Présentation

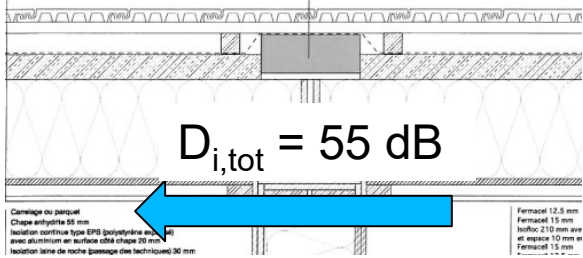
Cloisons intérieures non : simple ossature rigidement liée au caisson Lignatur + 1x12.5 mm Fermacell de chaque côté.



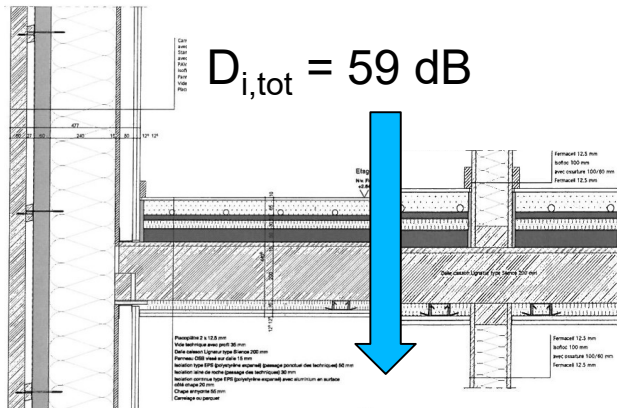
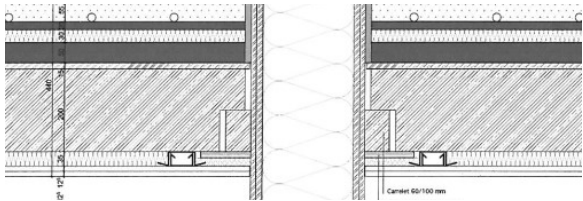
Raccord en façade : doublage en plaques de plâtre sur ossature métallique.



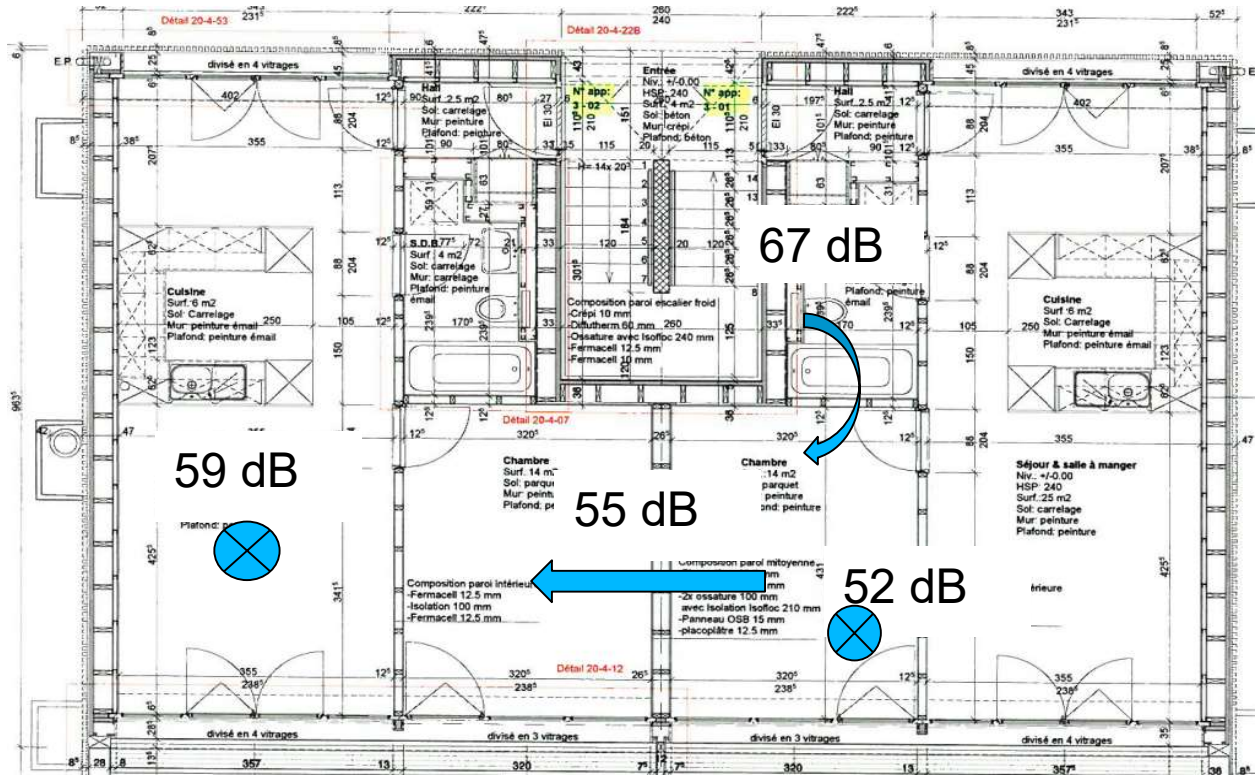
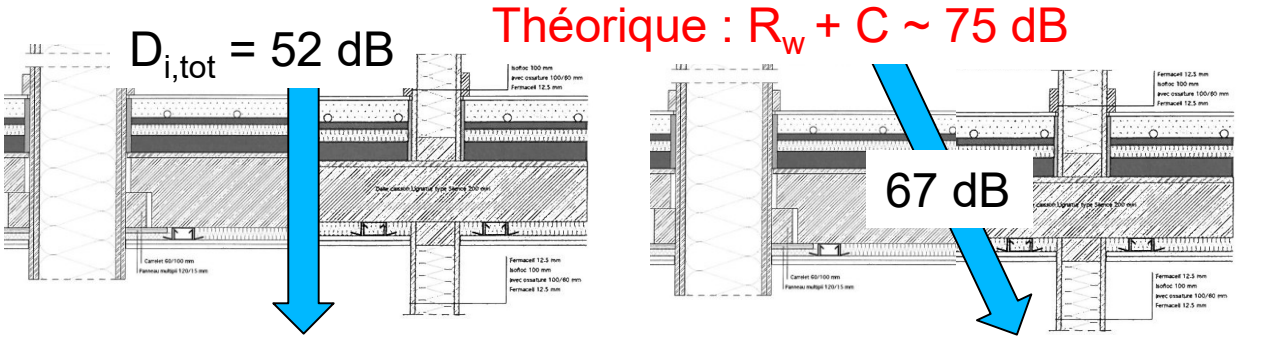
Cas 3 – Chavannes-des-Bois – Résultats mesurés



Théorique : $R_w + C \sim 65 \text{ dB}$



Théorique : $R_w + C \sim 75 \text{ dB}$



Cas 3 – Chavannes-des-Bois – Conclusion

Transmissions latérales dominant

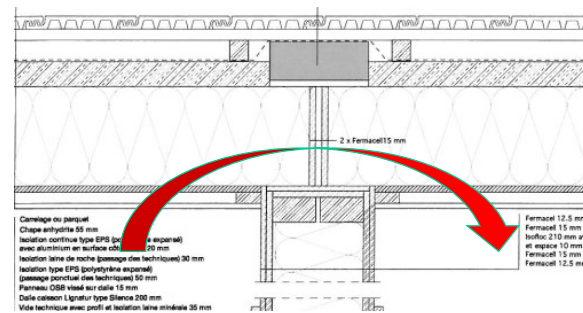
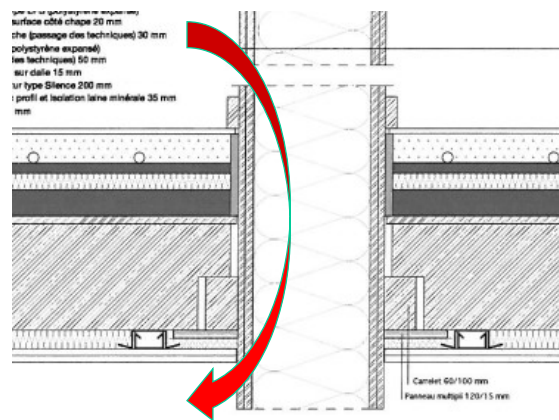
Différence $R_w + C \gg R'_w + C$

16 à 23 dB verticalement, 10 dB horizontale

Verticalement : Ff par mur séparateur pas coupé entre étages.

Horizontalement : faux-plafond rigidement lié à la structure et double ossature de la cloison liée.

Éléments séparateurs dimensionnés avec marge, mais de justesse les exigences minimales.



Cas 4 – Pra Roman – Présentation

EcoQuartier au Mont-sur-Lausanne :
transmissions latérales par la structure BLC.

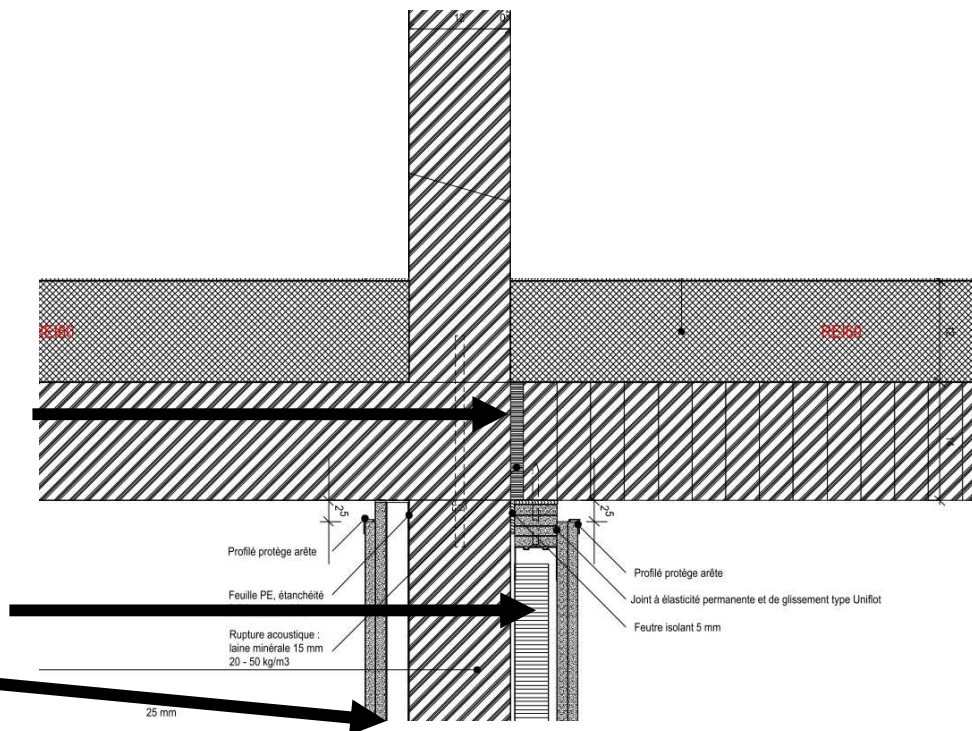
Dalles mixtes bois-béton : 14 cm BLC + 12 cm BA. Le bois devait rester visible au plafond.

Coupure dalles

Murs BLC de 12 cm.

Murs doublés, d'un côté sur ossature métallique désolidarisée, de l'autre par fixation sur profilés chapeau.

Chape flottante, avec couche acoustique en laine minérale de 2 cm ($s' < 9 \text{ MN/m}^3$)

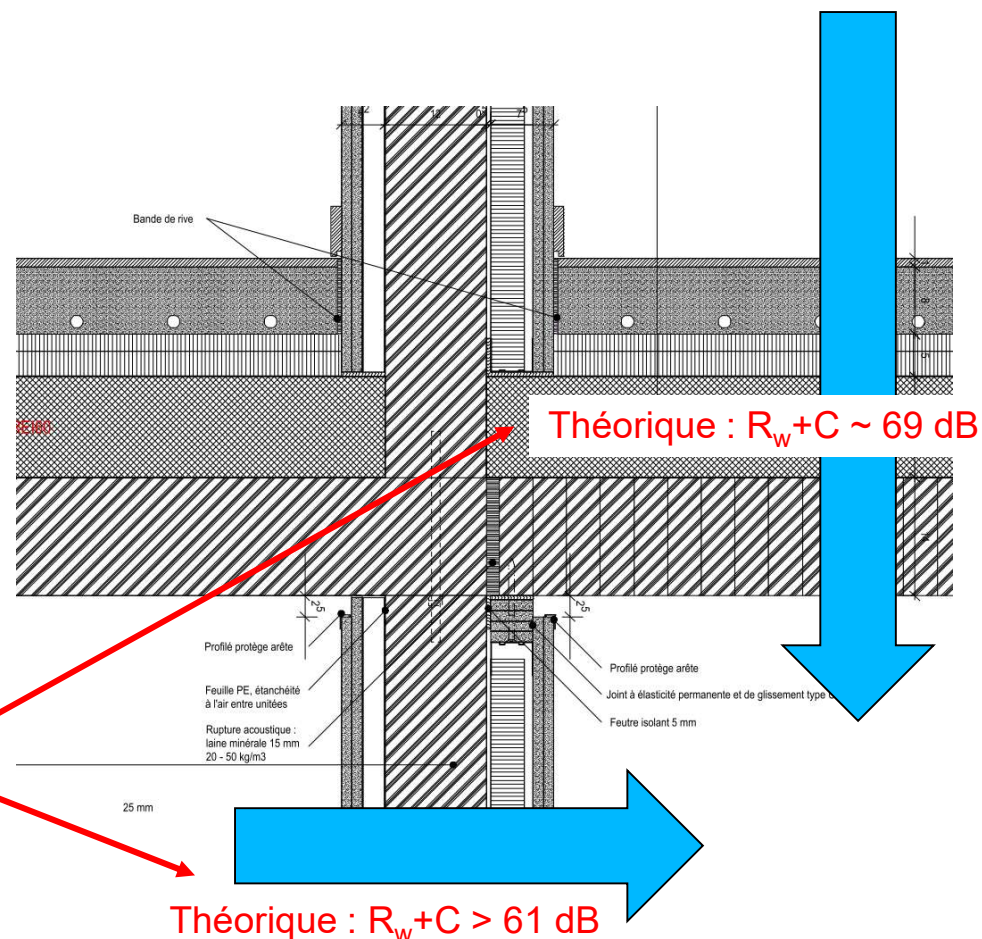


Cas 4 – Pra Roman – Affaiblissements théoriques

Lignumdata : BLC seul => $R_w + C \sim 37$ dB
(idem avec calcul «courbe de Lauber» selon SIA 181:2006, annexe E).

Pas de composition avec doublage désolidarisé d'un côté et profilés chapeau, de l'autre côté, mais avec doublage des deux côtés : $R_w + C \sim 68$ dB et avec doublage d'un seul côté : $R_w + C \sim 61$ dB => Notre composition > 61 dB, < 68 dB.

Plancher : $R_w + C \sim 69$ dB.



Cas 4 – Pra Roman – Mesurages horizontaux

Résultats horizontaux :

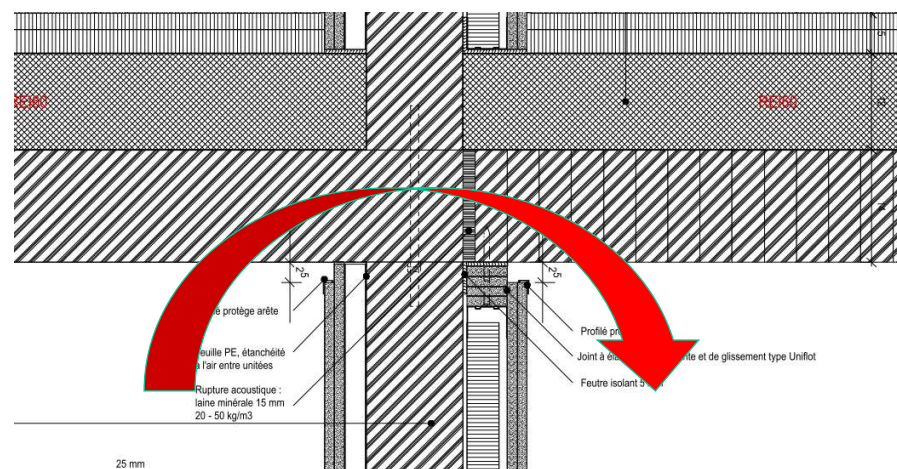
$D_{i,tot}$ (dB)	R'_w (C) (dB)
56	57 (-2)
56	57 (-2)
57	59 (-3)
61	62 (-2)
58	58 (-2)

Théorique : $R'_w + C > 61$ dB

Moyenne : $R'_w + C = 56.4 \pm 2.0$ dB.

Transmissions latérales : importantes malgré la coupure de la dalle bois. Exigences minimales largement atteintes (4 dB de marge).

Dans un des cas (non présentés ici), la dalle a travaillé et une fissure a provoqué un manque d'isolation.

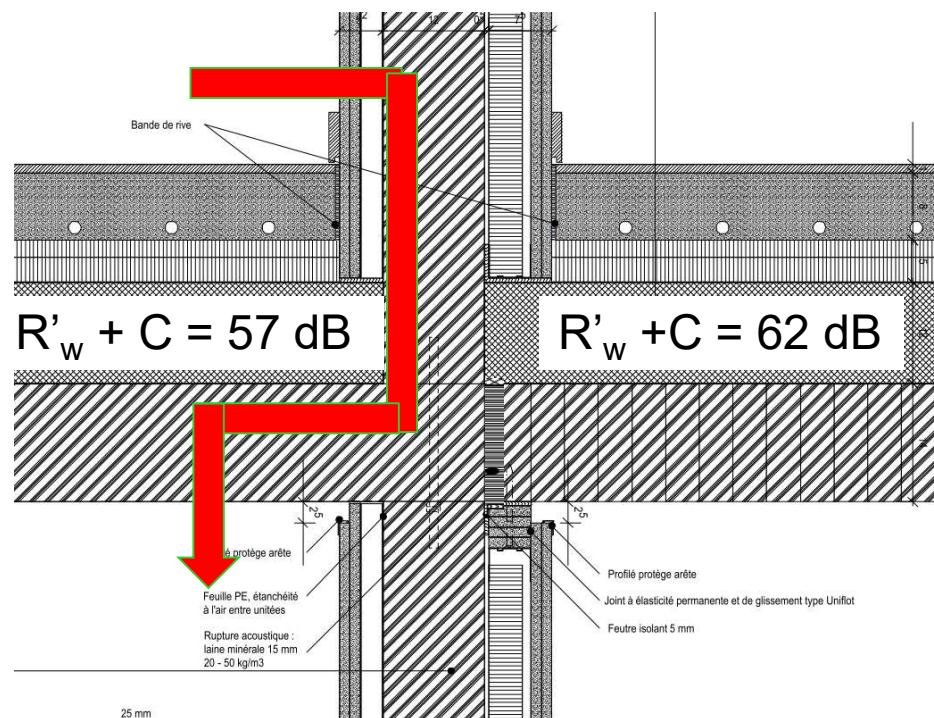


Cas 4 – Pra Roman – Mesurages verticaux

Résultats verticaux :

$D_{i,tot}$ (dB)	$R'_w + C$ (dB)
58	57
61	62

Moyenne : $R'_w + C = 59.5$ dB, alors que $R_w + C \sim 69$ dB. Différence : coupure de la dalle dans la transmission Fd.



Cas 4 – Pra Roman – Conclusion

Dans le cas de Pra Roman, les murs ont été doublés et les dalles coupées entre chaque unité.

Ces précautions ont suffi à juste atteindre les exigences accrues.

La méthode de couper les dalles présente un risque de faiblesse localisée, avec la dilatation du bois.



Conclusion générale

Tant les exemples théoriques que pratiques montrent que :

- Il est nécessaire de traiter toutes les transmissions latérales dans la construction légère (baisse de 6 à 12 dB par rapport au direct)
- Ceci peut être fait soit par doublage, soit par désolidarisation, soit par alourdissement
- Chacune des méthodes présente des avantages et des inconvénients. Le doublage est plus sûr (exécution moins sensible que la coupure). La combinaison de solutions permet d'atteindre les exigences accrues.
- Lors d'un projet en construction bois, il est très important de communiquer avec les architectes / les constructeurs sur les contraintes (coûts financiers, perte d'espace / visibilité du bois,, feu, etc.) des solutions (coupure / doublages / alourdissement)



Transmissions latérales

Comment réussir l'acoustique d'une construction bois?

Merci de votre attention !

Questions ?

**DESARNAULDS Victor, desarnaulds@ecoacoustique.ch
EcoAcoustique SA – Avenue de l'Université 24 – 1005 Lausanne**



RESONANCES

**29 NOVEMBRE 2023
CASINO DE MONTBENON
8H30-12H00**

ECOACOUSTIQUE

