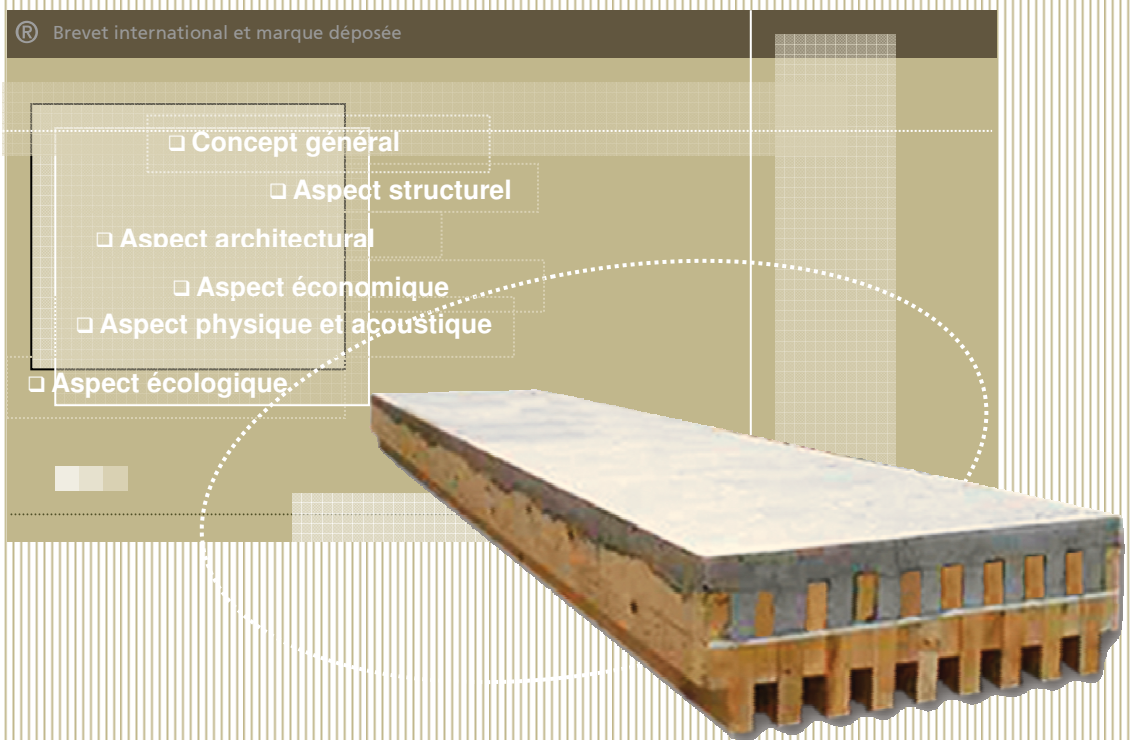


D



D-Dalle®

www.cbs-cbt.com



Descriptif Technique



concept**bois**technologie

Jordils Park, ch. des Jordils 40 • CH-1025 Saint-Sulpice
Tél. +41.21.694.04.04 • Fax +41.21.694.04.05
E-mail: info@cbs-cbt.com • www.cbs-cbt.com
U B S : 2 3 5 . 5 5 0 . 0 1 . V • T V A : 1 4 3 . 2 9 1



concepts**bois**structure

126 Avenue d'Alfortville • F-94600 Choisy le Roi
Tél. +33.1.56.70.43.80 • Fax +33.1.48.92.05.85
E-mail: info@cbs-cbt.com • www.cbs-cbt.com
SARL au capital de 15000 € - Inscrite au registre du commerce de Belfort
Société d'études et de conseils techniques en construction bois
S I R E T 3 8 1 2 3 1 3 5 6 0 0 2 7 • A P E 7 1 1 2 B

TABLE DES MATIERES

1	CONCEPT GENERAL	4
1.1	Présentation	4
2	SPECTS STRUCTURELS	5
2.1	Principe	5
2.2	La partie bois	5
2.3	Le connecteur de liaison	6
2.4	Le béton	7
2.5	Vérification en cas de feu	8
2.6	Comportement séismique	10
3	ASPECT ARCHITECTURAL	11
3.1	Un rendu bien exprimé	11
4	ASPECT ÉCONOMIQUE	12
4.1	Un concept simple	12
5	ASPECTS THERMIQUES ET ACOUSTIQUES	13
5.1	Aspects thermiques	13
5.2	Aspect acoustique	13
5.2.1.1	Le confort acoustique	13
5.2.1.2	Le bruit d'impact (solidien)	16
6	ASPECT ECOLOGIQUE	17
6.1	Consommation, bilan énergétique et proximité	17
6.2	Bois de forêts gérées durablement	17
	Annexe 1 : Essais acoustiques	18

D

1 CONCEPT GENERAL

1.1 Présentation

La D-Dalle®¹, dalle mixte bois-béton est un concept innovant pour le domaine des dalles de très grandes portées, de 8 m à 18 m sans appuis intermédiaires.

Basée sur l'utilisation d'une structure en planches décalées pour reprendre les efforts de traction et d'un remplissage en béton pour la compression, cette dalle est l'extension de la dalle O'portune® en figure 1.

La figure 2 montre une coupe type D-Dalle®, avec la partie bois et la partie béton connectée.

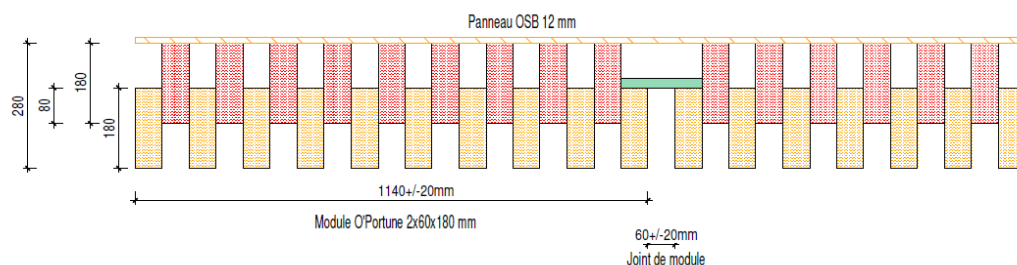


Figure 1 : Dalle O'portune®, en planches vissées décalées, pour des portées de 6 m à 11 m

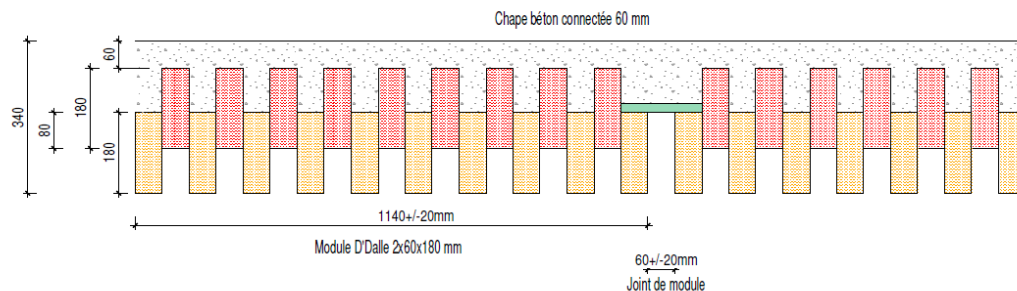


Figure 2 : D-Dalle®, la double dalle mixte bois-béton, pour des portées de 11 m à 18 m

¹ Brevet international, inventeur Jean-Luc Sandoz, et marque déposée

2 SPECTS STRUCTURELS

2.1 Principe

Le principe structurel de la D-Dalle® est très simple à réaliser et offre un maximum d'efficacité et de fiabilité pour la très grande portée.

L'analyse structurelle de la D-Dalle® porte sur l'étude du bois, du béton et des connecteurs de liaison bois-béton.

Ce produit fait l'objet d'un Avis Techniques (n° 3/13-754).

2.2 La partie bois

La partie bois tout d'abord, reprend le concept de la dalle O'portune® qui permet, avec des planches sapin, épicéa, douglas ou autres de 12 cm à 26 cm de hauteur (ou plus en BLC pour des portées et des charges exceptionnelles), de créer une première structure très performante, par le fait du décalage vertical des planches vissées.

Ce type de structure exige des bois secs à 12% ^{+/-3%} pour éviter les retraits dus au séchage. Outre l'aspect statique, ce décalage offre un plafond intégré dans la structure, aux qualités architecturales et acoustiques très marquées.

Les planches seront en bois massifs aboutés pour disposer des longueurs adéquates (de 11 m à 18 m). Dans la zone de traction, la qualité des bois sera supérieure, avec des planches classées en C₃₀ et plus.

Pour une plus haute performance et un rendu architectural plus régulier, la planche inférieure peut être une section contre-collée de type duo, ou bilame (petit lamellé-collé, selon figure 3), donnant un produit de classe GL28 et plus.

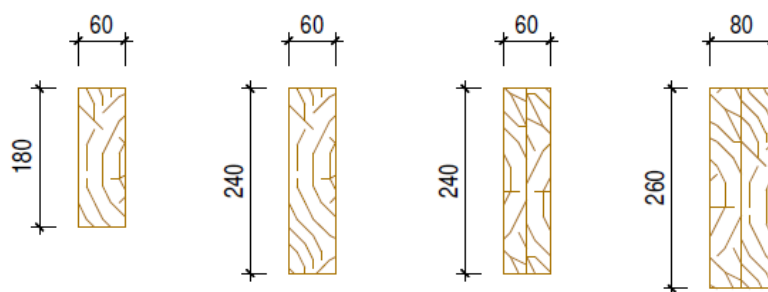


Figure 3 : Exemples de sections pour des planches de grandes longueurs bois massif abouté ou type Duo, séchées et classées mécaniquement

D

2.3 Le connecteur de liaison

Dans les concepts de structure mixte bois-béton, le connecteur de liaison est un point extrêmement sensible.

Dans le cas de la D-Dalle®, le décalage des planches forme un créneau supérieur. L'ajout d'une plaque d'acier perpendiculaire aux planches supérieures permet de créer facilement un appui performant pour le béton. Pour la mise en œuvre, la dalle bois est sciée transversalement pour recevoir le connecteur selon figure 4 et 5.

Pour améliorer l'encastrement de la partie béton, cette plaque d'acier est perforée, selon la figure 6, de façon à enclaver le béton dans cette zone et bloquer ainsi les glissements horizontaux et verticaux.

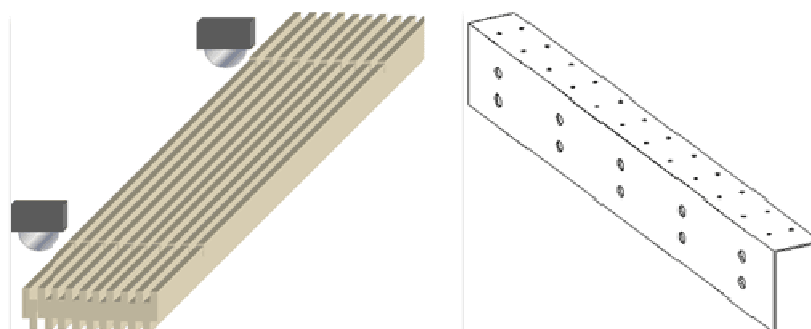


Figure 4 : Entaille dans la dalle pour accueillir les connecteurs et vue d'ensemble d'un connecteur type



Figure 5 : Photo des connecteurs une fois fixés à la dalle



Figure 6 : Détail des percements dans le connecteur pour permettre d'enclaver le béton dans la dalle bois et réaliser ainsi une section composée 100 % efficace.

Pour assurer la reprise des efforts d'ouverture de la section composée (traction verticale), la plaque métallique est en forme de L et est vissée sur le champ des planches supérieures.

Le nombre de plaques métalliques mis en œuvre sur la longueur de la dalle dépend du flux de cisaillement à reprendre. Les connecteurs sont disposés en priorité proche des appuis, dans les zones de flux de cisaillement maximum.

Un connecteur (ou des vis dans le créneau supérieur) est toujours disposé à mi-travée, pour garantir l'intégrité de la section mixte en créant une zone de liaison supplémentaire au droit de la section la plus déformée.

Des plaques métalliques peuvent être rajoutées, au cas par cas, quand il y a un besoin d'améliorer l'isotropie de la dalle et permettre ainsi des structures intégrant des chevêtres. Avec ce type de connecteur, les essais à échelle 1/1 réalisés en laboratoire ont démontré une efficacité de 100% de la liaison mixte bois-béton. En effet, aucun glissement relatif des deux matériaux n'a été observé, ni dans le domaine des charges admissibles, après sollicitations cycliques, ni même à la rupture de la poutre mixte.

2.4 Le béton

Le béton utilisé dans le cas de la section mixte de la D-Dalle® est un béton à faible rapport eau/ciment de façon à ne pas ramener d'eau libre à l'interface bois-béton, ce qui aurait comme incidence de faire gonfler la dalle bois, ou encore de générer des coulures venant tacher le plafond.

Pour faciliter la mise en œuvre de ce béton, le faible rapport eau/ciment sera compensé par des adjuvants (plastifiants).

Un béton type serait par exemple :

- Béton C25/30
- Dosage 300 kg/m³ de ciment classique
- Granulométrie : 0,16 (diamètre max des granulats 16 mm)
- Ajout de plastifiants et de stabilisateurs
- Vibrage consistant à la mise en œuvre

L'intérêt d'un faible rapport eau/ciment est également marqué sur l'efficacité de la liaison mixte bois-béton. En effet, on a remarqué qu'un béton à très faible retrait et bien vibré peut se coller sur la surface développée par le profil de la section bois, et augmenter encore la qualité de la section composée, pour atteindre 100% de mixité sur toute la longueur de la dalle et conserver cette performance dans le temps.

La chape béton est coulée en phase chantier sur la prédalle bois qui sera étayée en conséquence.



D

La figure 7 montre l'essai d'une poutre échelle 1, sur 15 m de portée. Un système d'anti fissuration du béton type treillis soudé sera posé sur la prédalle bois avant le coulage de la chape béton.



Figure 7 : Essai à la rupture d'une poutre mixte, élément D-Dalle® pour une portée de 15 m

2.5 Vérification en cas de feu

Pour le cas accidentel de comportement au feu, la section du bois de la D-Dalle® est vérifiée en considérant une combustion de 0,8 mm/mn de la partie bois pour la planche inférieure et 0.4 mm/mn pour la planche supérieure.

Ces données résultent d'un essai feu, échelle 1, réalisé pendant 130 mn, avec mesure de combustion des planches basses et hautes et mesure de l'aspect coupe-feu.

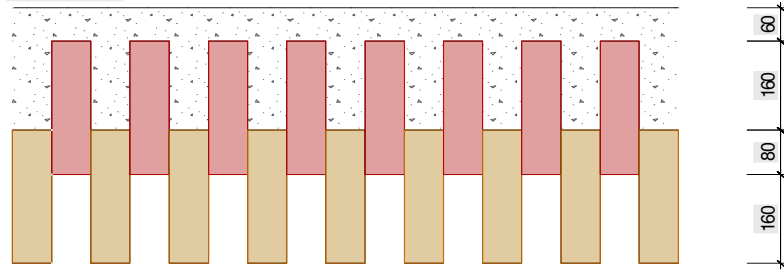
Les planches inférieures seront les premières à carboniser, jusqu'à atteindre le noyau bois (zone de recouvrement entre la planche inférieure et la planche supérieure).

Avec une zone de croisement de 80 mm, la résistance au feu sera de 30 mn au minimum. La section résiduelle selon schéma figure 8 est vérifiée sous les charges normalisées pour le cas accidentel du feu.

Avec cette section résiduelle, et pour 12 m de portée, la capacité portante de la dalle est encore aux environs de 500 kg/m² (350 kg/m² de poids propre et 150 kg/m² de charges utiles) après 120 mn de combustion.

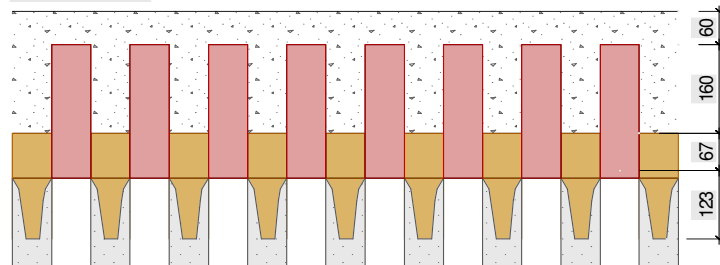
On peut également remarquer que la structure mixte bois-béton permet d'assurer l'isolation de la partie supérieure du plancher. La D-Dalle® fonctionne donc parfaitement comme élément coupe-feu (même sans béton, la dalle O'portune® couplée à un panneau OSB est déjà elle-même coupe-feu 30 mn).

A t=0



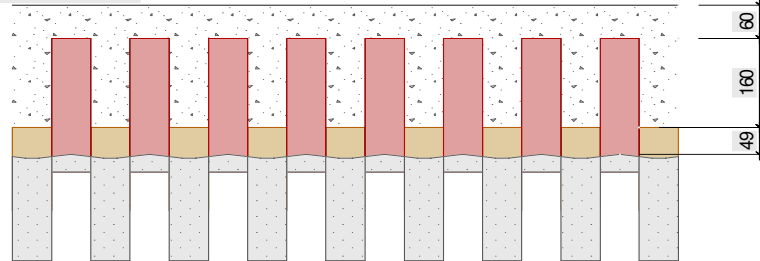
Planches 60x240 mm
Recouvrement 80 mm
Chape 60 mm

A t=30



Planches 60x240 mm
Recouvrement 80 mm
chape 60 mm

A t=60



Planches 60x240 mm
Recouvrement 80 mm
chape 60 mm

Figure 8: Evolution de la section résiduelle en fonction du temps de combustion dans le local inférieur.
Une nouvelle section mixte est obtenue, qui sera vérifiée pour les charges accidentelles du cas de feu



D

2.6 Comportement séismique

Le comportement idéal de la dalle D-Dalle® pendant une sollicitation accidentelle de type séismique sera garanti en développant un appui glissant réalisé par :

- Des longues vis, lors d'un contact bois-bois sur la structure porteuse verticale, permettant la ductilité de l'assemblage
- Des ferrures avec ovalisation des trous, pour des assemblages avec jeu de glissement.

Transversalement, la transmission d'effort se fera par les vis et les connecteurs. A ce titre, les vis d'assemblage de la partie bois (O'portune®) sont actives pour la transmission des efforts sismiques. Dans ce calcul, il faudra bien ajuster les connecteurs sur la liaison transversale des dalles préfabriquées.

La chape béton connectée, peut être, le cas échéant considérée comme un diaphragme indéformable. Il convient alors de calculer les liaisons périphériques de la chape sur la structure afin de garantir la bonne transmission des efforts. Il peut être envisagé de renforcer ponctuellement les aciers structuraux en périphérie de dalle.

3 ASPECT ARCHITECTURAL

3.1 Un rendu bien exprimé

Le rendu architectural de la dalle D-Dalle®, est extrêmement fort. Il s'exprime par le plafond apparent et est dessiné par les planches inférieures décalées.

Les paramètres de déclinaison architecturale seront :

- L'épaisseur des planches
- Le décalage
- La finition (naturelle ou colorée) des planches
- Des coupes proches des appuis pour développer des corniches négatives
- Des entailles possibles réalisées selon motifs
- Des incrustations en baquettes de bois dur
- Des éclairages intégrés
- Différents types de planches (planches massives simples aboutées ou non aboutées, bilames ou planche Duo, essences alternées pour zébrage de couleur naturelle, etc...).



Figure 9 : Exemple type d'un plafond obtenu avec une dalle O'portune® en planches décalées ou avec une D-Dalle® bois-béton



D

4 ASPECT ÉCONOMIQUE

4.1 Un concept simple

L'économie de la D-Dalle®, dalle mixte bois-béton, est garantie par son concept de base multifonctionnel, dalle avec plafond acoustique intégré, et par sa légèreté (250 kg/m^2 à 400 kg/m^2) qui permet d'optimiser les descentes de charge, donc le dimensionnement des murs et des fondations.

Basée sur l'utilisation de planches massives standardisées et sur un système de connecteurs extrêmement simple, l'économie se décompose avec les postes suivants :

- Un coût matière bois, fini posé, de l'ordre de $750.- \text{ €/m}^3$ à $1'100.- \text{ €/m}^3$ pour la partie bois en fonction des quantités, des contraintes techniques et de la complexité du projet. Notre BET se tient à votre disposition pour les prédimensionnements et estimations financières.
- Un coût de béton, en couche mince de six (6) à huit (8) cm, à $200.- \text{ €/m}^3$ – $250.- \text{ €/m}^3$ mis en œuvre, soit $25.- \text{ €/m}^2$ à $35.- \text{ €/m}^2$. Il faut remarquer que ce béton lié peut permettre des économies sur le traitement de l'acoustique et peut également se substituer à une chape flottante.
- Les connecteurs en tôle perforée, très simple, de l'ordre $5.- \text{ €/m}^2$ à $10.- \text{ €/m}^2$, en fonction des besoins d'isotropie et de résistance aux charges ponctuelles.
- Une préfabrication par modules transportables, un montage sec et très rapide pour la partie bois (jusqu'à $100 \text{ m}^2/\text{jour}$) et donc une qualité de mise en œuvre parfaitement maîtrisée
- Une économie de faux-plafond rapporté avec la dalle restant visible en sous face
- Une optimisation des murs et fondations avec des descentes de charges réduites

5 ASPECTS THERMIQUES ET ACOUSTIQUES

5.1 Aspects thermiques

Pour la caractérisation du comportement physique de la D-Dalle®, la masse de bois mise en œuvre (environ 0,2 m³/m²) plus la masse de béton (250 kg/m²) sont très intéressantes pour l'inertie thermique globale.

En hiver, cette inertie fonctionne comme isolant contre les températures basses, et en été, elle isole des températures élevées de l'extérieur. En toiture plate, cette fonction isolante contre le chaud en été est très favorable pour le volume inférieur.

5.2 Aspect acoustique

Les dalles bois utilisées dans l'habitat simple ou étagé sont très sensibles aux phénomènes acoustiques. Pour définir les propriétés acoustiques de la D-Dalle®, il convient de distinguer la réaction aux bruits aériens et solidiens (bruits d'impact) du confort acoustique dans le volume sous la dalle.

5.2.1.1 Le confort acoustique

Le profil bois en créneau de la D-Dalle® joue un rôle prépondérant en matière de confort acoustique. Celui-ci peut être amélioré par l'ajout d'un correcteur acoustique selon les schémas suivants.

La sous face apparente de la D-Dalle® peut, même dans sa forme la plus brute, faire office de plafond acoustique.

Des essais en laboratoire, en salle complètement réverbérante, ont été réalisés, avec différents profils.

Les trois variantes testées ont été :



D

- Variante 1, le profil bois seul selon schéma de la figure 10 :

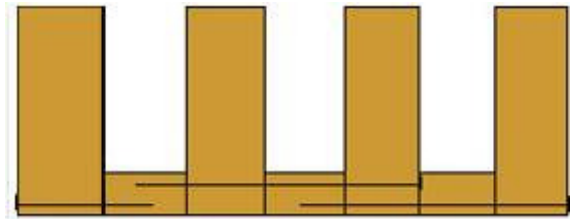


Figure 10 : Profil de la D-Dalle®, sans absorbant acoustique testé au bruit aérien

- Variante 2, le profil bois avec une bande de laine de pierre 20 mm d'épaisseur posée en fond selon figure 11 :

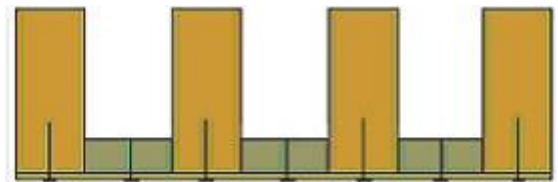


Figure 11 : Profil D-Dalle® amélioré avec une bande d'isolant en fond de décalage pour essais d'absorption au bruit aérien

Les résultats obtenus sont donnés sur les figures figure 14 et 15 avec le positionnement de la valeur d'absorption α_s (α Sabine), en fonction de la gamme de fréquence.

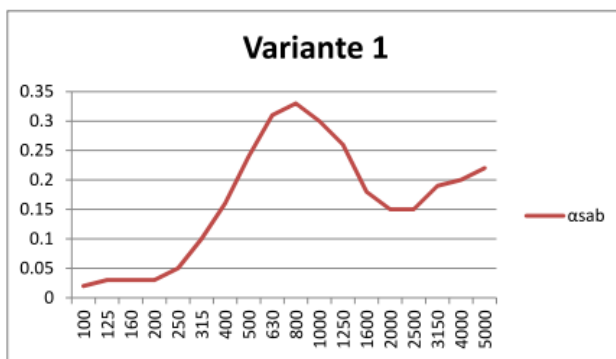


Figure 14 . Performance acoustique de la variante 1

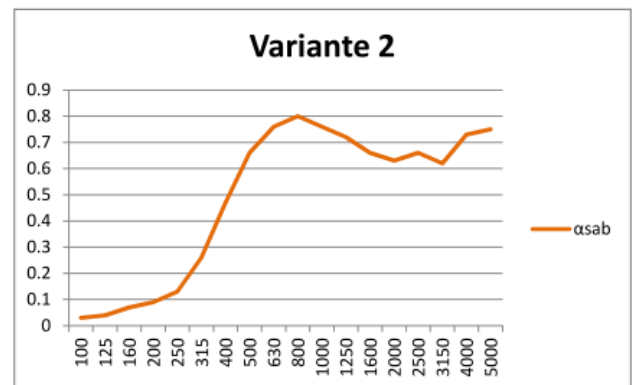


Figure 15 : Performance acoustique de la variante 2,

Le tableau 1 donne les valeurs mesurées pour chaque type de fréquence :

Variante 1		Variante 2	
f	α_{sab}	f	α_{sab}
100	0.02	100	0.03
125	0.03	125	0.04
160	0.03	160	0.07
200	0.03	200	0.09
250	0.05	250	0.13
315	0.1	315	0.26
400	0.16	400	0.47
500	0.24	500	0.66
630	0.31	630	0.76
800	0.33	800	0.8
1000	0.3	1000	0.76
1250	0.26	1250	0.72
1600	0.18	1600	0.66
2000	0.15	2000	0.63
2500	0.15	2500	0.66
3150	0.19	3150	0.62
4000	0.2	4000	0.73
5000	0.22	5000	0.75

Tableau 1 : Valeur d'absorption, α_s , pour les variantes 1 à 4 en fonction de la fréquence

On remarque que le profil bois seul a déjà un excellent comportement, avec un α_s supérieur à 0,3 dans le bande de fréquence 550 – 1000 hz.

Ce coefficient augmente jusqu'à une valeur supérieure à 0,8 pour la même bande de fréquence, avec les variantes contenant un isolant acoustique.

Ainsi la dalle D-Dalle® peut être améliorée du point de vue du confort acoustique avec l'ajout en fond d'onde d'un absorbant acoustique selon figure 18.

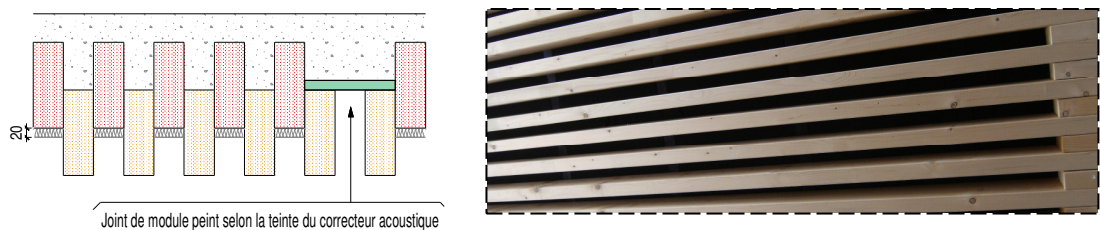


Figure 18 : Correcteur acoustique en fond d'onde avec feutrine de couleur (teinte au choix)



D

5.2.1.2 Le bruit d'impact (solidien)

Pour améliorer la performance acoustique de la D-Dalle®, dans le domaine du bruit d'impact, un système de sol multi-couche fonctionnant selon le principe de masse – ressort – masse, peut être développé.

La figure 19 montre une section type intégrant sur la chape connectée un résilient acoustique de 20 mm à 40 mm d'épaisseur (type laine de bois, un panneau Pavatex, panneau Domisol, etc...), une couche dure, telle qu'une chape de 60 mm à 80 mm (permettant également l'intégration du chauffage au sol) et un revêtement de sol final, posé directement sur la chape, ou sur un feutre mince.

Avec ce type de composition, le bruit d'impact normalisé atteint des valeurs très élevées, explicitées en annexe 1.

Chape sèche 30mm
 Panneau de sol type Flumroc 30mm
 Dalle de compression béton avec treillis, 60mm
 Dalle bois, planches 60/240, recouvrement 100mm

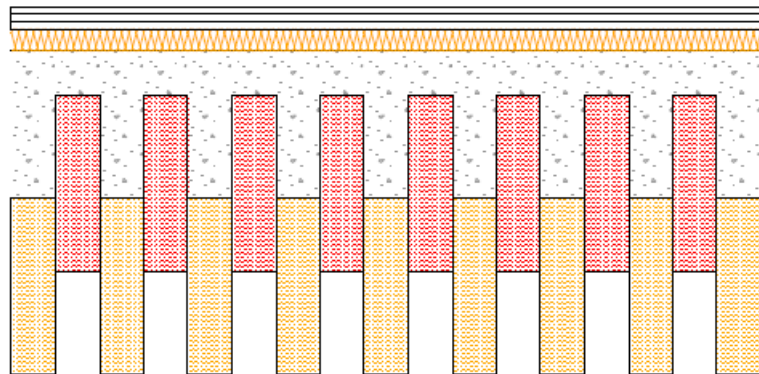


Figure 19 : Coupe type d'une D-Dalle® avec traitement du sol en couches dure-mou-dure, permettant l'absorption et la résilience du bruit d'impact

6 ASPECT ECOLOGIQUE

"Réaliser une dalle de 100 m², avec 12 m de portée libre, en D-Dalle® plutôt qu'en béton armé, c'est environ 20 tonnes de CO₂ en moins dans l'atmosphère (émission du béton comprise)."

6.1 Consommation, bilan énergétique et proximité

La D-Dalle® a un bilan extrêmement favorable sur les deux critères environnementaux, énergie et CO₂.

Par rapport à une dalle béton armé (ciment + acier), en considérant le bois comme stock de CO₂ et la planche massive comme matière première à faible niveau de transformation, le coût énergétique de la dalle D-Dalle® est très faible.

De plus quand les industriels recyclent les déchets de bois, le coût énergétique peut encore chuter.

Par ailleurs, la légèreté de la D-Dalle® par rapport à d'autres procédés équivalents permet l'optimisation des structures verticales et des fondations, toujours très gourmands d'un point de vue énergétique.

6.2 Bois de forêts gérées durablement

Les bois utilisés pour construire les dalles D-Dalle® sont non seulement des bois locaux, mais aussi des bois issus de forêts certifiées, dont la provenance et la traçabilité sont garanties.

En fonction des régions, les labels écologiques exigés seront de type FSC, PEFC ou encore Q+ (pour la Suisse).

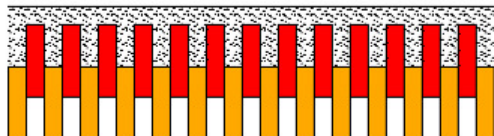
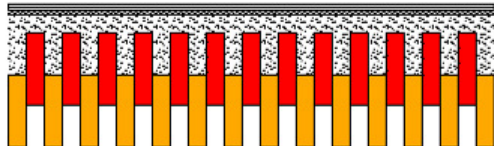
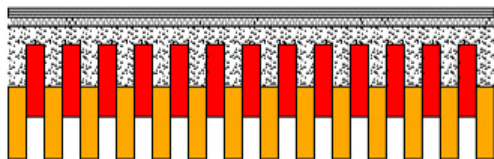




ANNEXE 1 : ESSAIS ACOUSTIQUES

ESSAIS ACOUSTIQUES D-dalle

4, rue Longs Champs
F - 25140 LES ECORCES
Géomètre Acousticien SIA 4402Z
Tel. +33 3 91 44 83 40
Fax +33 3 91 44 02 42
E-Mail: info@cbs-cbt.com

Essai (fiche)	Composition	Ln,w	Rw		
S 9551-16 (32 / 31)		60 mm 380 mm	béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	84 dB	53 dB
S 9551-18 (36 / 35)		20 mm 15 mm 60 mm 380 mm	2 x 10mm plâtre laine minérale béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	44 dB	61 dB
S 9551-17 (34 / 33)		30 mm 30 mm 60 mm 380 mm	3 x 10mm plâtre laine minérale béton C20/C24 60/240 mm rec. 100mm	42 dB	63 dB