

Référence : 26074292

APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL18-224 CONCERNANT UN ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION

Tenue au feu des planchers en bois massif ou mixtes en bois/béton

Demandeur :

CONCEPTS BOIS STRUCTURE

118 Avenue d'Alfortville
Parc d'activités Les Gondoles,
F-94600 CHOISY-LE-ROI
CP VILLE

Rédacteur(s)	Vérificateur	Approbateur	Version	Date
Amine LAHOUAR 	Dhionis DHIMA 	Olivier CHEZE	1.	22/07/2019

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral, sauf accord particulier du CSTB.

Ce document comporte 50 pages dont 5 pages d'annexes.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL18-224 CONCERNANT UN ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION

Tenue au feu des planchers en bois massif ou mixtes en
bois/béton

Version	Date	Principales modifications effectuées	Partie modifiée
1.	22/07/2019	- Création	/
2.		-	

OBJET

L'objectif de cette appréciation de laboratoire est de définir une procédure de dimensionnement en situation d'incendie d'un ensemble de configurations de planchers en bois massif ou mixtes en bois béton développés par Concepts Bois Structure.

Cette appréciation de laboratoire comporte différentes solutions constructives. Les durées maximales de résistance au feu de ces solutions doivent être déterminées suivant l'Eurocode 5 partie 1-2 et la procédure de dimensionnement présentée dans la présente appréciation de laboratoire. Les parois d'un bâtiment construit avec ces solutions constructives doivent également respecter les exigences réglementaires relatives à la réaction au feu.

Les principes de construction impliquant les produits couverts par la présente appréciation de laboratoire doivent répondre aux exigences de la norme NF DTU 31.2. Les dispositions constructives mises en œuvre sur ces produits doivent correspondre aux descriptions fournies par l'Instruction Technique N°249 (IT N°249) et au guide « Bois construction et propagation du feu par les façades ».

L'étude est établie sur la base du dossier présenté par le demandeur.

La présente appréciation est établie sur la supposition du dimensionnement normal de l'ouvrage vis-à-vis des actions mécaniques auxquelles il doit résister à froid. Ce dimensionnement n'a pas été vérifié par le laboratoire de résistance au feu.

TEXTES DE RÉFÉRENCE

- [1] Arrêté du 22 mars 2004 modifié et son annexe 4
- [2] Rapport d'essai de réaction au feu N°892/2010, Institut Scientifique de Service Publique (ISSeP), Liège 2010.
- [3] Rapport d'essai de réaction au feu N°2418/2010, Institut Scientifique de Service Publique (ISSeP), Liège 2010.
- [4] Rapport d'essai de résistance au feu N°EF/FH/1117, Université de Liège, Département ArGEnCo – Secteur Structural Engineering, 2009.
- [5] Avis de Laboratoire de Résistance au Feu pour Avis Technique N°CO11-1973, CSTB, 2012.
- [6] NF EN 1995-1-2, Eurocode 5 : conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu, Septembre 2005.
- [7] Règlement de sécurité contre l'incendie relatif aux établissements recevant du public, Dispositions générales et commentaires de la commission centrale de sécurité, 28^{ème} édition, 2015
- [8] Fire Safety in Timber Buildings, Technical Guideline for Europe, SP Report 2010 :19, ISBN 978-91-86319-60-1, SP Trätekt, Box 5609, SE-114 86 Stockholm, Sweden.
- [9] NF EN 1992-1-2, Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-2 : Règles générales - Calcul du Comportement au feu
- [10] NF DTU 31.2: Travaux de bâtiment - Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois, Janvier 2011.
- [11] Guide « Bois construction et propagation du feu par les façades », CSTB FCBA, février 2017.
- [12] Instruction Technique n° 249 relative aux façades, annexée à l'Arrêté du 24 mai 2010 portant approbation de diverses dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les Etablissements Recevant du Public, J.O. du 6 juillet 2010.
- [13] Avis Technique N°3.1/17-914_V2, Procédé D-DALLE, CSTB, 26 février 2019.

[14] NF EN 1995-1-1, Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments, mai 2010.

Table des matières

TEXTES DE RÉFÉRENCE	3
1. DESCRIPTION DES PLANCHERS.....	5
2. MÉTHODE DE CALCUL DE LA RÉSISTANCE AU FEU DES PLANCHERS.....	12
2.1. JUSTIFICATION DES PERFORMANCES AU FEU DES PLANCHERS.....	12
2.1.1. Essais de réaction au feu	12
2.1.2. Essais de résistance au feu.....	12
2.2. VITESSES DE COMBUSTION A CONSIDERER POUR LE DIMENSIONNEMENT DES PLANCHERS	13
2.2.1. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des dalles O'PORTUNE® /DEMI O'PORTUNE® / D-DALLE® / DEMI D-DALLE®	14
2.2.2. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des planchers SOLIVIUM® / SOLIVIUM MIXTE® 16	
2.2.3. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des planchers HERCU.III.E® / HERCU.III.E MIXTE® 17	
2.3. CRITERE DE RESISTANCE AU FEU DES PLANCHERS	18
2.4. DETERMINATION DU DEGRE COUPE-FEU DES PLANCHERS	19
2.4.1. Détermination du degré coupe-feu des planchers bois.....	19
2.4.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol par la méthode FIT	19
2.4.3. Détermination du degré coupe-feu de la chape en béton	25
2.5. EXEMPLE D'APPLICATION 1 : DETERMINATION DE LA SECTION RESIDUELLE DU PLANCHER O'PORTUNE®	26
2.5.1. Détermination de la section résiduelle du plancher.....	26
2.5.2. Détermination du degré coupe-feu du plancher	28
2.6. EXEMPLE D'APPLICATION 2 : DETERMINATION DE LA SECTION RESIDUELLE DU PLANCHER D-DALLE®	30
2.6.1. Détermination de la section résiduelle du plancher.....	31
2.6.2. Détermination du degré coupe-feu de la dalle en béton	32
2.7. EXEMPLE D'APPLICATION 3 : DETERMINATION DE LA SECTION RESIDUELLE DU PLANCHER SOLIVIUM MIXTE®	34
2.7.1. Détermination de la section résiduelle du plancher.....	34
2.7.2. Détermination du degré coupe-feu de la dalle en béton	36
2.8. EXEMPLE D'APPLICATION 4 : DETERMINATION DE LA SECTION RESIDUELLE DU PLANCHER HERCU.III.E®	38
2.8.1. Détermination de la section résiduelle du plancher.....	39
2.8.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol.....	41
2.9. EXEMPLE D'APPLICATION 5 : DETERMINATION DE LA SECTION RESIDUELLE DU PLANCHER O'PORTUNE® AVEC DES PLANCHES ALIGNEES.....	42
2.9.1. Détermination de la section résiduelle du plancher.....	43
2.9.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol.....	44
3. CONCLUSIONS.....	45

1. DESCRIPTION DES PLANCHERS

Les plans de l'élément de construction, objet de cette appréciation de laboratoire, sont ceux fournis par le commanditaire.

L'appréciation de laboratoire porte sur le comportement au feu du procédé de planchers de grande portée développés par Concepts Bois Structure. Les planchers, en bois ou mixtes en bois/béton, sont destinés à être employés dans des habitations individuelles ou collectives, des bureaux, des bâtiments commerciaux et/ou industriels, dans des établissements recevant du public (ERP), et dans les parkings.

En fonction de leur configuration, les planchers sont fabriqués soit en bois massif de classe de résistance minimale C24, d'une seule longueur ou aboutée, soit en bois contrecollé type DUO ou en bois lamellé-collé de classe de résistance minimale GL24. L'essence de bois principalement utilisée dans la réalisation des planchers est l'épicéa. Cependant, cette essence peut être remplacée par d'autres essences de bois présentant des propriétés physico-mécaniques et thermo-physiques supérieures ou au moins équivalentes.

Le béton des dalles employé dans le cas des planchers mixtes bois/béton est de classe de résistance minimale C20/25. Une armature légère de section minimale de type PAF10 est posée afin d'éviter la fissuration des dalles.

Huit déclinaisons de planchers sont étudiées dans le cadre de cette appréciation de laboratoire :

Les dalles O'PORTUNE® :

Les dalles O'PORTUNE® sont composées de planches décalées en créneaux sur la hauteur. Les planches sont de section allant de 60 mm x 120 mm jusqu'à 60 mm x 260 mm de classe C24 au minimum, si elles sont en bois massif, et de 80 mm x 260 mm jusqu'à 80 mm x 520 mm de classe GL24 au minimum, si elles sont en lamellé-collé. Les planches sont assemblées par des vis permettant d'augmenter l'inertie de la dalle tout en optimisant de la matière. Un panneau à base de bois d'épaisseur comprise entre 12 mm et 100 mm est fixé au-dessus des planches, permettant la pose d'un complexe support de revêtement de sol. Ce panneau à base de bois peut être un panneau en bois massif 3 plis, un panneau OSB, un panneau contreplaqué, un panneau MDF ou de particules, un LVL ou un panneau CLT.

Les dalles O'PORTUNE® peuvent atteindre de grandes portées allant jusqu'à 12 m, sans appuis intermédiaires.

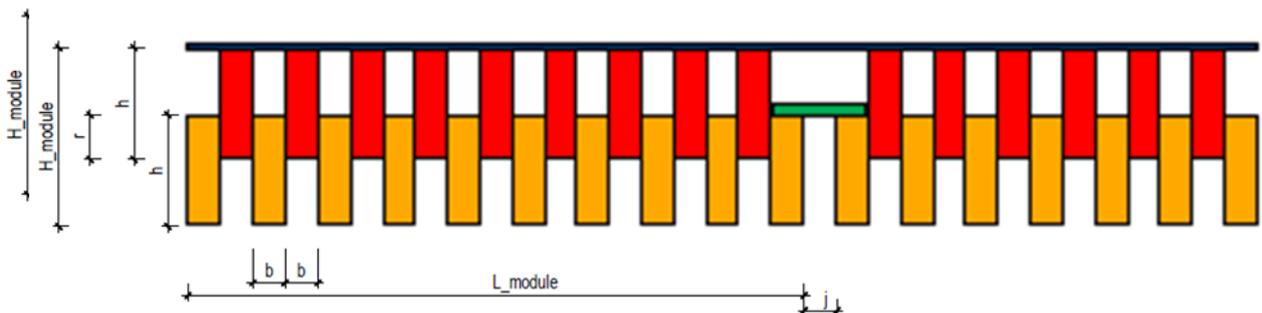


Figure 1: Vue en coupe de la dalle O'PORTUNE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des dalles O'PORTUNE®.

b	h		L_module	j	r		H_module
	min.	max.			min.	max.	
60	120	260	1140 +/-20	60 +/- 20	80	160	$h_{PH} + h_{PB} - r$
80	280	520	1200 +/-20	80 +/- 20	100		

Tableau 1 : Dimensions extrêmes des dalles O'PORTUNE®

Les dalles DEMI O'PORTUNE®

La dalle DEMI O'PORTUNE® est une déclinaison des dalles O'PORTUNE® standards. Ces dalles se distinguent par la présence de planches intermédiaires de petites sections et d'une longueur de recouvrement égal à la hauteur totale de ces dernières. Les planches sont de section allant de 60 mm x 80 mm jusqu'à 60 mm x 260 mm de classe C24 au minimum, si elles sont en bois massif, et de 80 mm x 100 mm jusqu'à 80 mm x 520 mm de classe GL24 au minimum, si elles sont en lamellé-collé. Les planches principales sont assemblées aux planches intermédiaires par des vis, de la même façon que sur les dalles O'PORTUNE®. Le complexe accueille un panneau à base de bois sur sa partie supérieure, d'épaisseur comprise entre 12 mm et 100 mm.

Les dalles DEMI O'PORTUNE® peuvent également atteindre de grandes portées allant jusqu'à 12 m, sans appuis intermédiaires.

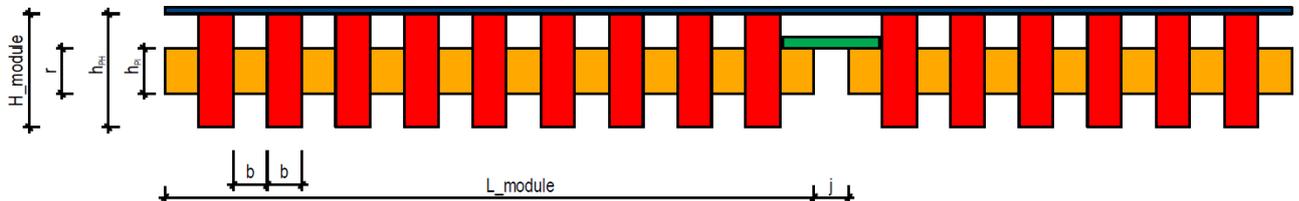


Figure 2 : Vue en coupe de la dalle DEMI O'PORTUNE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des dalles DEMI O'PORTUNE®.

b	h		L_module	j	r		H_module
	min.	max.			min.	max.	
60	80	260	1140 +/-20	60 +/- 20	80	160	h_{PH}
80	100	520	1200 +/-20	80 +/- 20	100		

Tableau 2 : Dimensions extrêmes des dalles DEMI O'PORTUNE®

Les dalles SOLIVIUM® :

Les dalles SOLIVIUM® sont fabriquées sur le même principe que les dalles O'PORTUNE®, avec des planches décalées et vissées, de même section et en nombre allant de 3 à 9 planches par solive. Cette configuration de plancher présente un joint de module plus important, permettant d'alléger le poids global de la dalle.

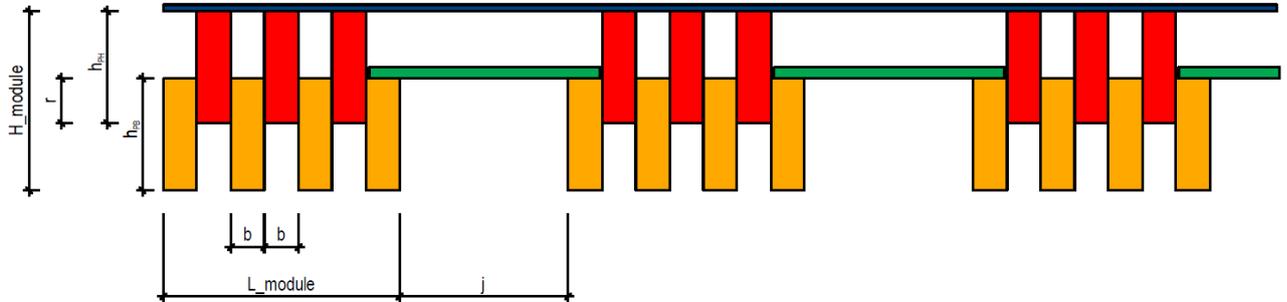


Figure 3 : Vue en coupe de la dalle SOLIVIUM®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des dalles SOLIVIUM®

b	h		L_module		j		r		H_module
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	
60	120	260	180	1140	240	800	80	160	$h_{ph} + h_{pb} - r$
80	280	520	240	1200			100		

Tableau 3 : Dimensions extrêmes des dalles SOLIVIUM®

*Les valeurs en gris sont identiques à celles de la dalle O'PORTUNE®

Les dalles HERCU.III.E® :

Les dalles HERCU.III.E® sont des dalles partielles fabriquées à partir d'un bloc structural de solives, composées de planches assemblées et décalées horizontalement, et séparées par des cales en bois fermant les cavités. Les planches principales sont de section allant de 80 mm à 100 mm de large, et de 320 mm à 800 mm de haut, de classe C24 au minimum, si elles sont en bois massif, et de classe GL24 au minimum, si elles sont en lamellé-collé. Les planches intermédiaires sont de section allant de 80 mm x 80 mm jusqu'à 80 mm x 200 mm, et de 100 mm x 80 mm jusqu'à 100 mm x 200 mm de classe C24 ou GL24 au minimum.

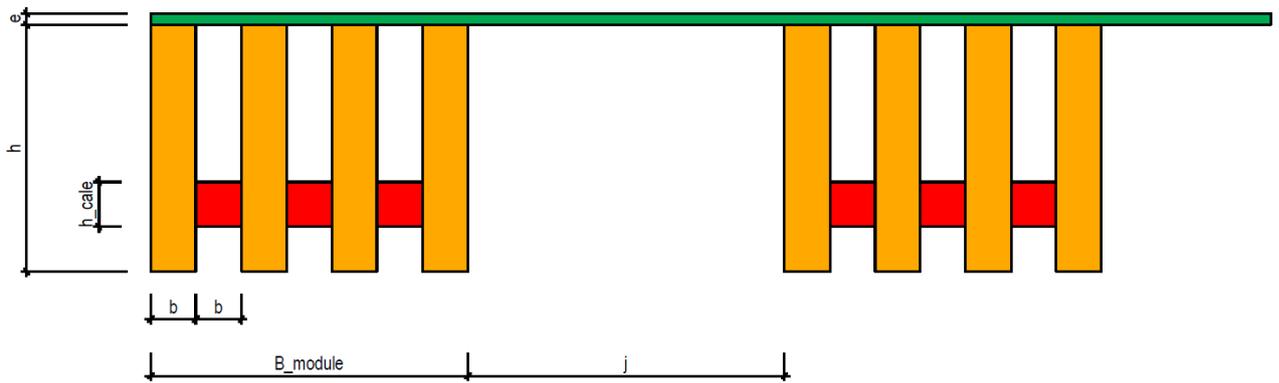


Figure 4 : Vue en coupe des dalles HERCU.III.E®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des dalles HERCU.III.E®.

b	h		L_module		j		h_cale		e	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
60	320	800	560	880	300	800	80	200	12	120
100			700	1100						

Tableau 4 : Dimensions extrêmes des dalles HERCU.III.E®

Les D-DALLE® :

La D-DALLE® est un plancher mixte bois/béton composé d'une prédalle en bois massif permettant de reprendre les efforts de traction, et d'une dalle en béton, permettant de reprendre les efforts de compression.

Le procédé D-DALLE® présenté dans cette appréciation de laboratoire est décrit par l'ATec 3.1/17-914-V2 [13].

La prédalle, identique à la dalle O'PORTUNE®, est composée de planches décalées en bois massif de section allant de 60 mm x 120 mm jusqu'à 60 mm x 260 mm, ou bien en lamellé-collé de section allant de 80 mm x 260 mm jusqu'à 80 mm x 520 mm. Les planches sont assemblées entre elles par des vis.

La dalle en béton est d'épaisseur minimale 50 mm. La jonction entre la dalle en béton et les planches en bois est assurée par des connecteurs plats en acier perforé de 3 mm d'épaisseur.

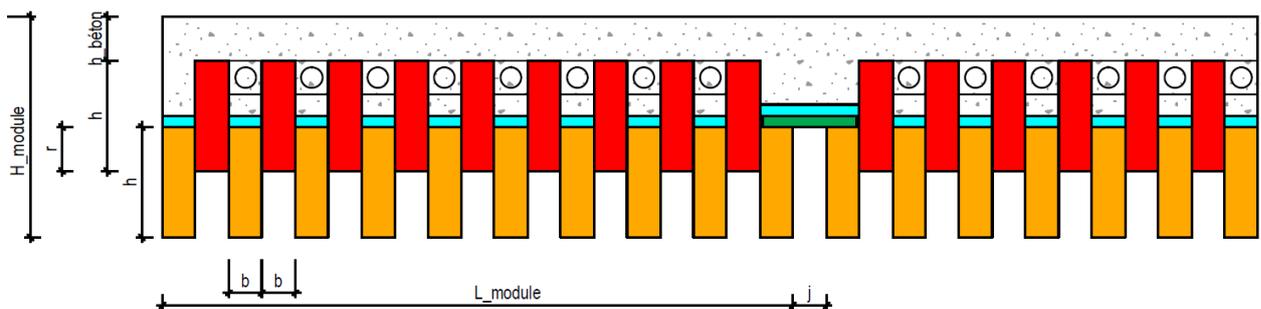


Figure 5 : Vue en coupe de la D-DALLE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des D-DALLES®

b	h		L_module	j	r		H_module	h_béton	
	min.	max.			min.	max.		min.	max.
60	120	260	1140 +/-20	60 +/- 20	80	160	$h_{PH} + h_{PB} - r$	50	120
80	280	520	1200 +/-20	80 +/- 20	100				

Tableau 5: Dimensions extrêmes de la D-DALLE®

Les DEMI D-DALLE® :

La DEMI D-DALLE® est une déclinaison de la D-DALLE®, composée d'une prédalle en bois massif reprenant les efforts de traction, identique à la configuration de la DEMI O'PORTUNE®, et d'une dalle de compression en béton, d'épaisseur minimale 50 mm. La jonction entre la dalle en béton et les planches en bois est assurée par des connecteurs plats en acier perforé de 3 mm d'épaisseur.

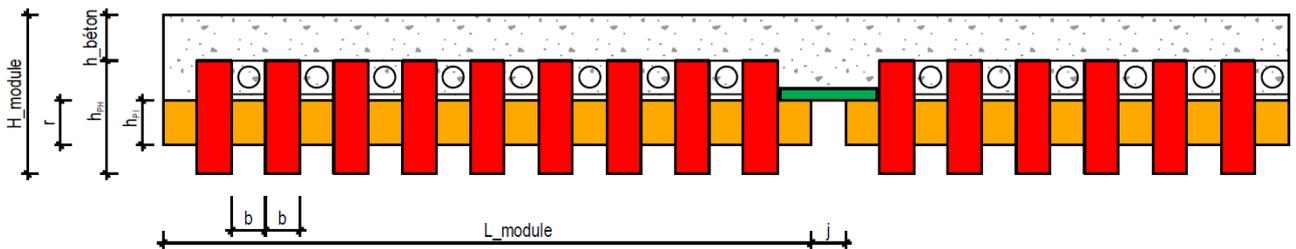


Figure 6: Vue ne coupe de la DEMI D-DALLE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes des DEMI D-DALLE®

b	h		L_module	j	r		H_module	h_béton	
	min.	max.			min.	max.		min.	max.
60	80	260	1140 +/-20	60 +/- 20	80	160	h_{PH}	50	120
80	100	520	1200 +/-20	80 +/- 20	100				

Tableau 6 : Dimensions extrêmes de la DEMI D-DALLE®

La dalle SOLIVIUM MIXTE® :

Le plancher SOLIVIUM MIXTE® est un plancher mixte bois/béton, résultant de la fusion entre le concept de la dalle SOLIVIUM® et la D-DALLE®. Le plancher est composé d'un bloc structural formé par des planches décalées sur la hauteur, assurant la reprise des efforts de traction, et par une dalle de compression en béton.

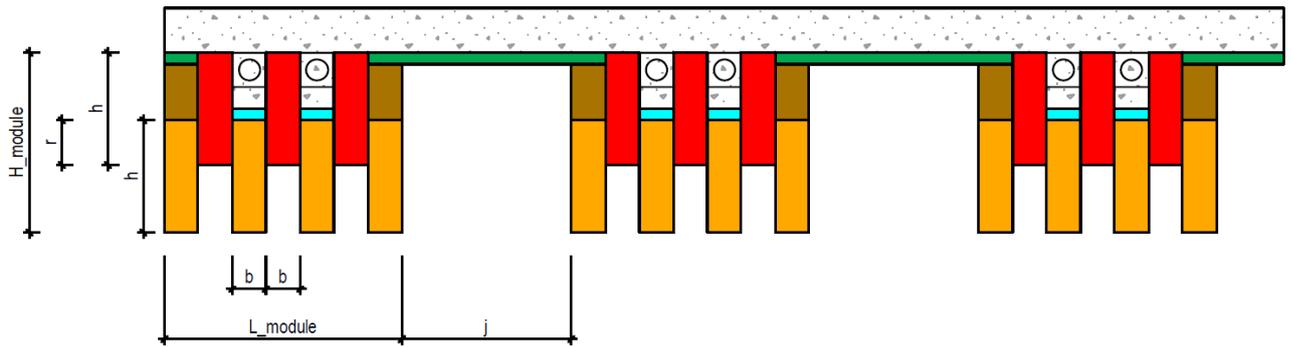


Figure 7: Vue en coupe d'un SOLIVIUM MIXTE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes d'un SOLIVIUM MIXTE®.

b	h		L_module		j		r		H_module	h_béton	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.		min.	max.
60	120	260	180	1140	240	800	80	160	$h_{PH} + h_{PB} - r$	50	120
80	280	520	240	1200			100				

Tableau 7: Dimensions extrêmes d'un SOLIVIUM MIXTE®

*Les valeurs en gris sont identiques à celles de la dalle SOLIVIUM®

La dalle HERCU.III.E MIXTE®

La dalle HERCU.III.E MIXTE® n'est que la version bois/béton de la dalle HERCU.III.E® avec une dalle de compression en béton. Cette dalle se distingue par la présence de planches intermédiaires supplémentaires positionnées en dessous de la dalle de remplissage en béton, servant comme fond de coffrage.

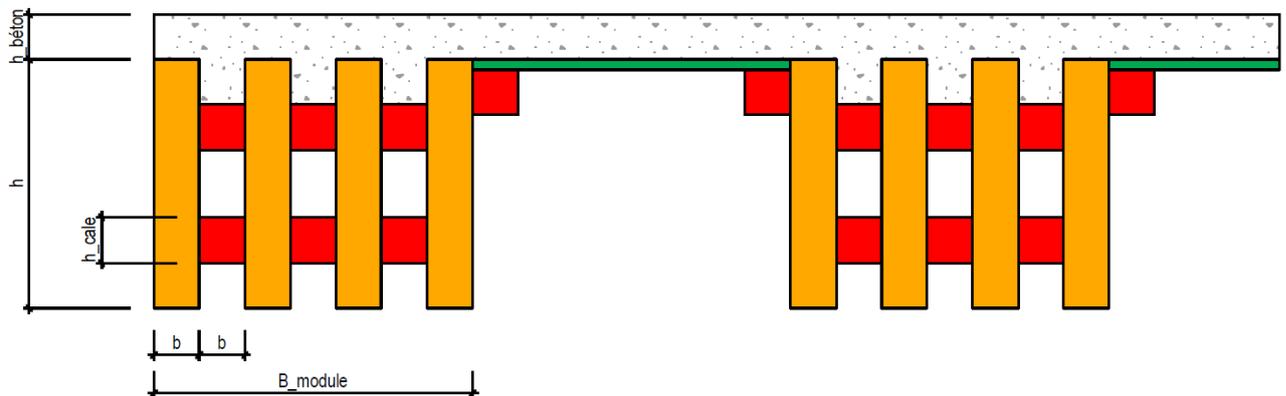


Figure 8 : Vue en coupe de la dalle HERCU.III.E MIXTE®

Le tableau ci-dessous présente les dimensions extrêmes de la dalle HERCU.III.E MIXTE®.

b	h		L_module		j		h_cale		e		h_béton	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
80	320	800	560	880	300	800	80	200	12	120	80	160
100			700	1100								

Tableau 8: Dimensions extrêmes de la dalle HERCU.III.E MIXTE®

*Les valeurs en gris sont identiques à celles de la dalle HERCU.III.E®

Complexe de sol :

Toute la gamme de planchers présentée ci-dessus peut accueillir un complexe de sol. Le tableau ci-dessous présente quelques exemples de complexe de sol pouvant être intégrés sur les dalles développées par Concepts Bois Structure.

TOUTES DALLES ET TOUS JOINTS DE MODULES POSSIBLES (REPRÉSENTATION O'PORTUNE EN GRIS POUR EXEMPLE)		
REVÊTEMENT TYPE 1	Revêtement de sol 10 mm Chape béton 50 à 120 mm Résilient en laine minérale 20 à 40 mm Panneau bois 12 mm à 100 mm	
REVÊTEMENT TYPE 2	Revêtement de sol 10 mm Chape béton 50 à 120 mm Résilient en laine minérale 20 à 80 mm Ravoilage 40 à 100 mm Panneau bois 12 mm à 100 mm	
REVÊTEMENT TYPE 3	Revêtement de sol 10 mm Chape béton 50 à 120 mm Panneau bois 12 mm à 100 mm	
REVÊTEMENT TYPE 4	Revêtement de sol 10 mm Chape sèche 10 à 30 mm Résilient en laine minérale 20 à 80 mm Panneau bois 12 mm à 100 mm	

Tableau 9: Exemples de complexes de sol sur les planchers Concepts Bois Structure

Jonction entre modules

La jonction entre les modules est assurée pour chaque gamme de plancher par un panneau à base de bois (panneau OSB, panneau 3 plis, panneau contreplaqué ou planche en bois massif) de longueur (j) variable selon la gamme du plancher. Les joints de modules sont fixés par des vis sur la première planche basse du premier module, et simplement posés sur la planche basse du module adjacent, avec une distance d'appui minimale de 40 mm et un jeu maximal de 20 mm. En effet, la distance d'appui de 40 mm permet d'éviter le déchaussement du joint en cas de retrait de ce dernier, tandis que le jeu de 20 mm permet d'absorber un éventuel gonflement du module à la suite d'une variation de l'humidité dans le bois.

Remarque : Dans le cas d'utilisation du polystyrène ou d'un résilient en fibres de verre dans les complexes de sol, il est indispensable de substituer ces matériaux par une bonde en laine de roche au droit des joints entre les modules (Figure 9) ou bien de remplir la cavité du joint par un bourrage de laine de roche. Cette solution permet d'éviter la propagation du feu latéralement dans le complexe de sol dans le cas d'un percement par le feu du joint de module et du panneau en bois au-dessus de la dalle.

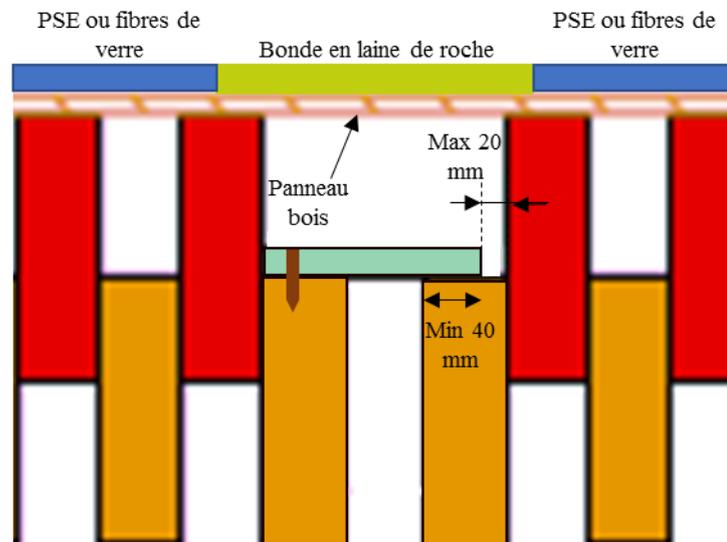


Figure 9 : Disposition des joints de jonction entre deux modules adjacents

2. MÉTHODE DE CALCUL DE LA RÉSISTANCE AU FEU DES PLANCHERS

2.1. Justification des performances au feu des planchers

2.1.1. Essais de réaction au feu

Deux essais de réaction au feu suivant la norme ISO 9705 ont été réalisés sur les dalles O'PORTUNES® dans les laboratoires de l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP) de Liège entre 2009 et 2010.

Un des deux essais a été conduit sur des dalles fabriquées à partir de planches d'épicéa de classe C24 et de section 60 x 200 mm², connectées entre elles par des vis 6/200 mm à raison de 20 vis par m². Les planches étaient assemblées de façon à assurer un recouvrement de 80 mm. Le rapport d'essai 892/2010 [2] a permis de classer les dalles O'PORTUNE® en classe C selon l'annexe A (informative) de la norme EN 13501-1.

Les essais de réaction au feu ont conclu que les planchers O'PORTUNE® non traités M1 présentent un risque d'embrasement généralisé au bout d'une dizaine de minutes d'exposition au feu. Par conséquent, lorsque le plafond doit respecter une exigence en réaction au feu, ce type de plancher non-traité M1 ne peut être employé que dans des pièces de petit volume, permettant l'évacuation des occupants en moins de 5 minutes.

2.1.2. Essais de résistance au feu

Un essai de résistance au feu a été réalisé en 2009 dans les laboratoires de l'université de Liège sur un plancher de dalle O'PORTUNE® constitué de 3 modules de dimensions 1020 mm x 4000 mm x 400 mm chacun. Chaque module était constitué de 17 planches en bois massif de section 60 mm x 240 mm, connectées entre-elles par des vis de façon à assurer un recouvrement de 80 mm et une épaisseur totale du plancher de 400 mm.

Les modules étaient entièrement recouverts par un panneau OSB de 15 mm d'épaisseur, en plus d'un panneau OSB supplémentaire de 18 mm d'épaisseur couvrant uniquement la moitié du plancher (Figure 7). La jonction entre deux modules adjacents était réalisée par une planche en bois massif de section 240 mm x 260 mm et de 4000 mm de longueur.

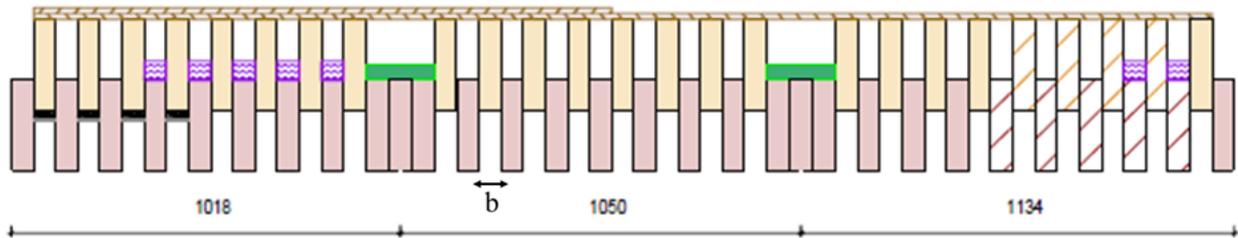


Figure 10: Vue en coupe de la dalle O'PORTUNE® testée au feu ISO 834

L'ensemble était chargé mécaniquement par des vérins hydrauliques appliquant un chargement de l'ordre de 40 kN/ml, et était sollicité thermiquement suivant la courbe ISO 834.

L'essai de résistance au feu [4] a permis de justifier la tenue au feu des dalles O'PORTUNE® au-delà d'une durée de 60 minute d'exposition au feu ISO.

L'appréciation de laboratoire N°CO11-1973 [5] émise par le CSTB en 2012 a permis d'exploiter les résultats de l'essai de résistance au feu réalisé sur les dalles O'PORTUNE® [4] pour proposer une méthode de dimensionnement au feu des planchers D-DALLE®.

L'appréciation de laboratoire a permis de conclure que la vitesse de combustion varie en fonction de la position des planches dans le plancher. En effet, il a été démontré que lorsque le plancher n'est pas protégé, les planches basses directement exposées au feu présentent une vitesse de combustion de l'ordre de **0.8 mm/min**. Tandis que les planches hautes présentent une vitesse de combustion de l'ordre de **0.4 mm/min**, pour une distance entre deux planches basses (b) de 60 mm, due probablement à une concentration de CO_2 au niveau des cavités (entre deux planches basses successives), réduisant ainsi l'apport en oxygène en sous face des planches hautes.

2.2. Vitesses de combustion à considérer pour le dimensionnement des planchers

L'essai de résistance au feu [4] et l'appréciation de laboratoire CO11-1973 [5] ont montré que la vitesse de combustion varie en fonction de la position des planches dans la hauteur du plancher. Par ailleurs, l'espacement entre deux planches basses successives intervient également dans la modification de la vitesse de combustion au niveau des planches hautes. En effet, le ralentissement de la combustion observé au niveau des planches hautes est probablement provoqué par un manque d'alimentation en oxygène au niveau de la cavité située entre deux planches basses. L'augmentation de cet espacement provoquerait par conséquent un apport plus important en oxygène et conduirait donc à une élévation de la vitesse de combustion au niveau des planches hautes.

Le tableau ci-dessous présente les vitesses de combustion des planches hautes à considérer, en fonction de la largeur (b) de ces dernières. Ces valeurs sont issues d'un calcul de transfert thermique par éléments finis, dans une section de plancher O'PORTUNE®. Pour des largeurs intermédiaires, une interpolation linéaire peut être utilisée. Les vitesses de combustion des planches hautes données dans le Tableau 10 sont valables pour le bois massif et le bois lamellé-collé.

Largeur des planches hautes (b) [mm]	Vitesse de combustion [mm/min]
60	0.4
80	0.5
100	0.55

Tableau 10 : Vitesses de combustions à considérer pour les planches hautes

Les vitesses de combustions communiquées dans les paragraphes suivants, permettent de déterminer la position du front de carbonisation en fonction de la durée d'exposition au feu. Pour un dimensionnement au feu, il faut également tenir compte de la profondeur de compensation ($S_0 = K_0 d_0$) dans le calcul de la section réduite (section efficace).

2.2.1. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des dalles O'PORTUNE® /DEMI O'PORTUNE® / D-DALLE® / DEMI D-DALLE®

L'essai de résistance au feu réalisé à l'université de Liège sur les dalles O'PORTUNE® non protégées [4] a permis de déterminer la vitesse de combustion au niveau des planches hautes et basses du plancher. Les vitesses de combustion à considérer dans le dimensionnement au feu sont donc **0.8 mm/min** pour les planches basses, et **0.4 mm/min** pour les planches hautes de 60 mm de large (Figure 11). Pour les planches hautes de largeur supérieure à 60 mm, il faut considérer les vitesses de combustion indiquées dans le Tableau 10. Le joint des modules de plancher est réalisé par un panneau bois vissé d'un seul côté sur l'une des planches basses d'extrémité du module, comme décrit sur la Figure 9. Vu le faible espacement entre deux modules (60 mm ou 80 mm \pm 20 mm), la vitesse de combustion à considérer d'une manière forfaitaire au niveau du joint est de **0.5 mm/min**.

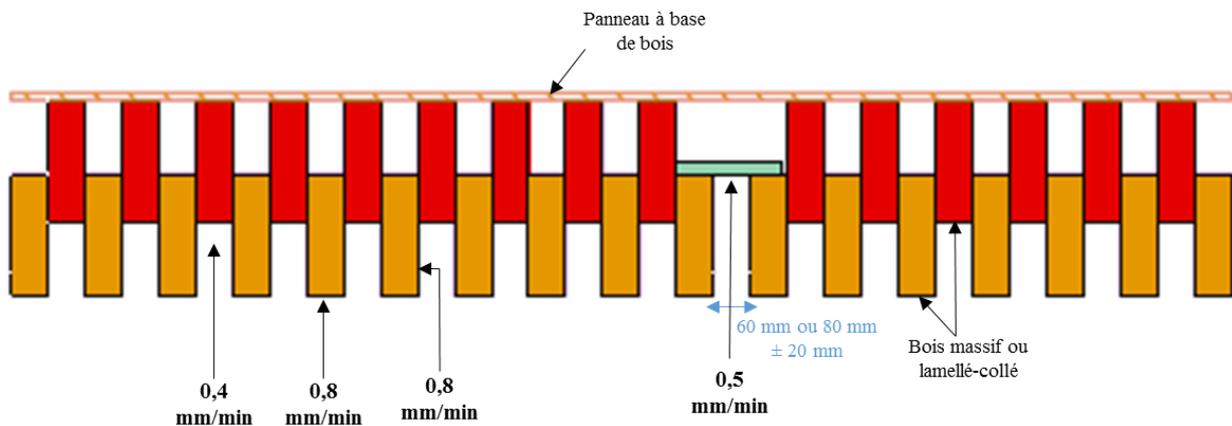


Figure 11: Vitesses de combustion à considérer lors du dimensionnement au feu des dalles O'PORTUNE®

Dans le cas de passage de flammes à travers le joint de module (Figure 9), les planches basses et hautes voisines deviennent directement exposées au feu. La vitesse de combustion à considérer à ces endroits est dans ce cas **1.6 mm/min** (Figure 9) sur les 25 premiers millimètres puis **0.8 mm/min** sur l'épaisseur restante de la planche.

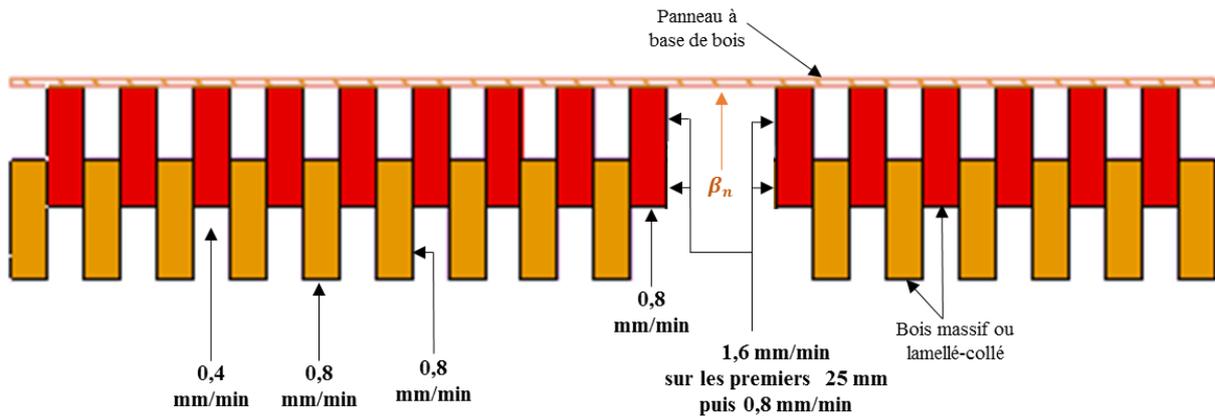


Figure 12: Vitesses de combustion à considérer dans le cas de chute des planches basses et/ou du joint de jonction dans le cas des dalles O'PORTUNE®

La chute des planches basses en rive des modules et/ou le passage de flammes au niveau du joint de jonction entraîne par conséquent l'exposition directe du panneau de revêtement au feu. La vitesse de combustion du panneau de revêtement à considérer dans ce cas est donnée par la formule suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } h_p > 20, \beta_n = 2 \cdot \beta_0 = 2 \text{ mm/min pour le contreplaqué et le panneau 3 plis} \\ \beta_n = 2 \cdot \beta_0 = 1.8 \text{ mm/min pour l'OSB} \\ \text{Si } h_p \leq 20 \text{ mm } \beta_n = 2 \cdot \beta_0 \cdot K_p K_h \end{array} \right. \quad (1)$$

Avec β_n la vitesse de combustion du panneau à base du bois après la chute du joint de module (cas de choc thermique), donnée par l'équation (1) et exprimée en fonction de β_0 .

β_0 étant la vitesse de combustion fournie par l'Eurocode 5 partie 1-2 [6] (Tableau 11). Pour les panneaux en CLT, la vitesse de combustion β_0 est donnée par l'appréciation de laboratoire associée au dimensionnement au feu de ce procédé.

$$K_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \text{ et } K_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \text{ avec } \rho_k \text{ la masse volumique caractéristique du panneau et } h_p \text{ l'épaisseur du panneau.}$$

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Résineux et hêtre		
Bois lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Bois massif avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Bois feuillu		
Feuillu massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Feuillu massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL avec une masse volumique caractéristique $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panneaux		
Panneautage bois	0,9 ^{a)}	—
Contreplaqué	1,0 ^{a)}	—
Panneaux à base de bois autres que contreplaqué	0,9 ^{a)}	—
<i>a) Les valeurs s'appliquent pour une masse volumique caractéristique de 450 kg/m^3 et une épaisseur de panneau de 20 mm ou plus, voir 3.4.2(8) pour d'autres valeurs d'épaisseur et de masse volumique.</i>		

Tableau 11 : Vitesses de combustion des éléments en bois données par l'Eurocode 5 partie 1-2 [6]

Lors de la combustion totale de l'épaisseur des planches basses, la cavité limitant l'apport en oxygène au niveau des planches hautes disparaît complètement. Par conséquent, les planches hautes et les planches basses deviennent exposées au feu au même niveau. Ainsi, la vitesse de combustion à considérer au niveau des planches hautes devient donc égale à **0.8 mm/min**.

Ces vitesses de combustion sont valables pour les planchers O'PORTUNE®, DEMI O'PORTUNE®, D-DALLE® et DEMI D-DALLE®.

2.2.2. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des planchers SOLIVIUM® / SOLIVIUM MIXTE®

Le plancher SOLIVIUM® n'est en effet qu'un cas particulier des dalles O'PORTUNE®, avec un espacement plus important au niveau de la jonction entre les modules (Figure 13). Les vitesses de combustion à considérer au niveau des planches sont donc identiques à celles des dalles O'PORTUNE®, à l'exception de celle au niveau du joint de module, où il faut considérer les vitesses fournies par l'Eurocode 5 partie 1-2 [6] en fonction de la nature et l'épaisseur du panneau (Tableau 11).

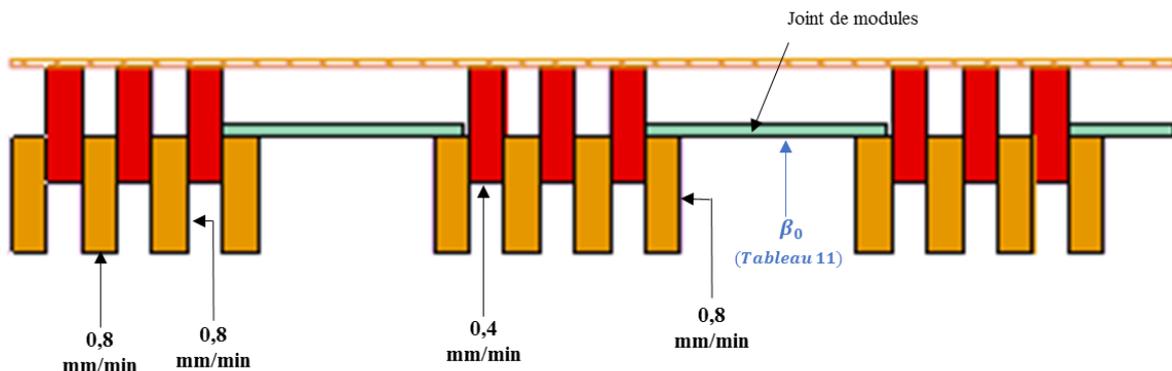


Figure 13: Vitesses de combustion à considérer lors du dimensionnement au feu des planchers SOLIVIUM®

Dans le cas de passage de flammes à travers le joint de module ou de délamination des planches basses (Figure 14), les planches basses et hautes voisines deviennent brusquement exposées au feu. La vitesse de combustion à considérer à ces endroits est dans ce cas **1.6 mm/min** sur les 25 premiers millimètres, puis **0.8 mm/min** sur l'épaisseur restante. La vitesse de combustion à considérer pour le panneau de revêtement β_n est donnée par l'équation (1).

Lors de la combustion totale de l'épaisseur des planches basses, la cavité limitant l'apport en oxygène au niveau des planches hautes disparaît complètement. Par conséquent, les planches hautes et les planches basses deviennent exposées au feu de la même façon. Ainsi, la vitesse de combustion à considérer au niveau des planches hautes à partir de ce moment est de **0.8 mm/min**.

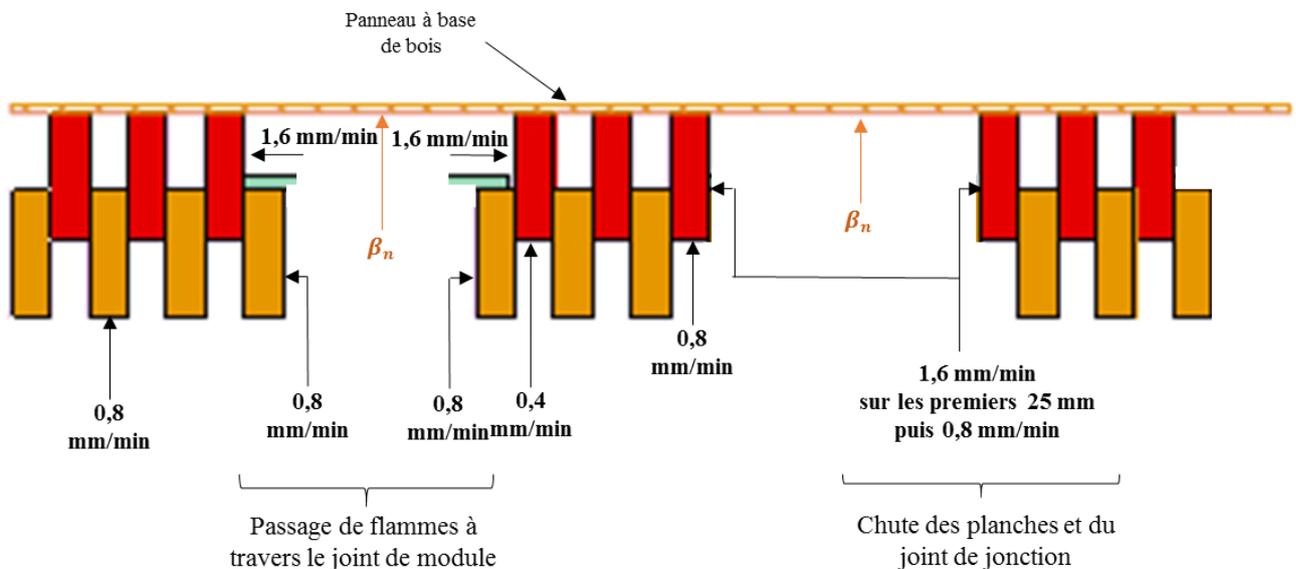


Figure 14: Vitesses de combustion à considérer dans le cas de chute des planches basses et/ou du joint de jonction dans le cas des dalles SOLIVIUM®

Ces vitesses de combustion sont également valables pour le plancher SOLIVIUM MIXTE®.

2.2.3. Vitesses de combustion à considérer dans le cas des planchers HERCU.III.E® / HERCU.III.E MIXTE®

Le plancher HERCU.III.E® est un plancher conçu sur un principe proche du concept des dalles O'PORTUNE®. Il est composé de planches principales et de calles intermédiaires (Figure 15), assemblées entre-elles par des vis. Les vitesses de combustion à considérer au niveau des planches sont donc identiques à celles de la dalle O'PORTUNE® (Figure 11), soit **0.8 mm/min** pour les planches principales et **0.5 mm/min** pour les planches intermédiaires, pour une largeur de planches (b) de 80 mm. Cependant, l'espacement entre les modules étant important, la vitesse de combustion à considérer sur la face latérale des planches est de **0.8 mm/min**. Quant à la vitesse de combustion au niveau du panneau à base de bois, il suffit de considérer les vitesses de combustion β_0 fournies par l'Eurocode 5 partie 1-2 [6] (Tableau 11).

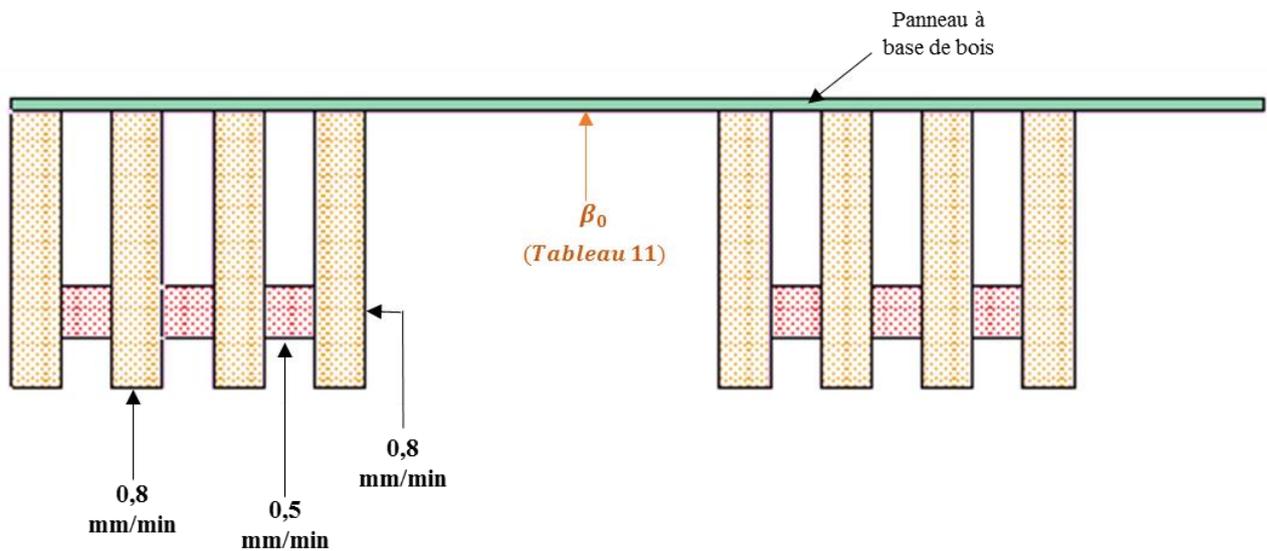


Figure 15: Vitesses de combustion à considérer lors du dimensionnement au feu des planchers HERCU.III.E®

Ces vitesses de combustion sont également valables pour le plancher HERCU.III.E MIXTE®.

2.3. Critère de résistance au feu des planchers

La durée de résistance au feu des planchers développés par Concepts Bois Structure est déterminée en utilisant la méthode de la section réduite, définie dans l'Eurocode 5 partie 1-2 [6]. La méthode de calcul adoptée consiste à considérer le plancher comme un solivage bois. Uniquement les planches hautes sont supposées reprendre les efforts appliqués sur le plancher, en négligeant la présence des planches basses, pour un raisonnement plus sécuritaire. Ce calcul ignore toute interaction entre les planches hautes et les planches basses, et suppose que les planches hautes sont exposées au feu uniquement sur leur sous-face.

Cette dernière hypothèse n'est vérifiée que lorsque les planches basses restent en place pendant toute la durée de l'incendie, afin d'empêcher le passage de flammes dans les cavités entre les planches hautes, et l'exposition de ces dernières suivant leurs trois faces.

La connexion entre les planches basses et les planches hautes est assurée par des vis d'assemblage. Dès lors que le feu atteint la position des vis, on peut supposer que le maintien des planches basses n'est plus assuré, et que l'hypothèse du modèle de calcul change. Les planches hautes deviennent, en effet, exposées au feu suivant leurs 3 faces, avec une vitesse de combustion doublée sur les 25 premiers millimètres.

La résistance au feu des planchers développés par Concepts Bois Structure requiert donc essentiellement la satisfaction de ces deux critères simultanément :

1. La position du front de carbonisation demeure en dessous de la position des vis d'assemblage, qui assurent la connexion entre les planches hautes et les planches basses (Figure 16).
2. La section réduite calculée en utilisant les vitesses de combustion indiquées dans le §2.2 de ce document, propres à chaque configuration de plancher, est capable de reprendre les efforts de sollicitation. Le calcul de la capacité portante de la section réduite du plancher est effectué selon l'Eurocode 5 partie 1-1 [14].

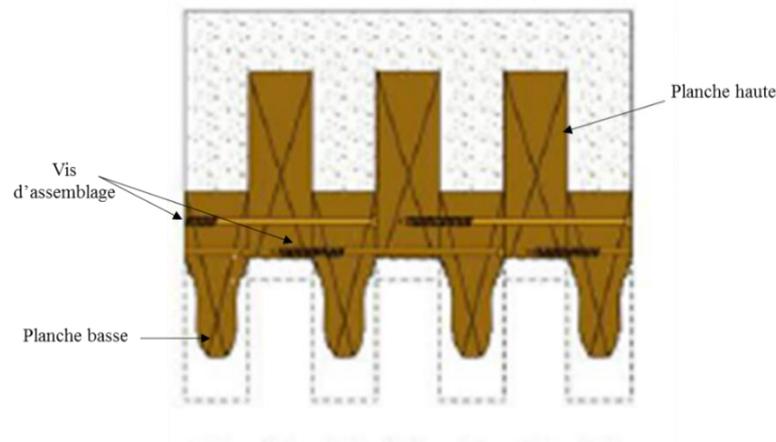


Figure 16: Illustration du premier critère de résistance au feu des planchers

On note qu'il est possible d'améliorer la durée de résistance au feu des planchers en déplaçant les vis d'assemblage vers le haut, à condition que les calculs prouvent que la section résiduelle des planches haute est capable de reprendre les efforts de sollicitation.

2.4. Détermination du degré coupe-feu des planchers

2.4.1. Détermination du degré coupe-feu des planchers bois

La méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » n'est pas applicable dans le cas des planchers développés par Concepts Bois Structure en raison d'absence d'essais au feu justifiant la pertinence de l'applicabilité de la méthode dans le cas de planches décalées en créneaux. La détermination du degré coupe-feu des planchers présentés dans cette étude se limitera donc à la détermination du degré de stabilité au feu de ses composants, en suivant un raisonnement identique à celui adopté dans le cas des éléments en béton.

Ce raisonnement supposera donc que le degré coupe-feu des planchers est assuré tant que la stabilité au feu des éléments qui le compose est assurée (condition nécessaire mais pas suffisante).

En revanche, la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » est applicable dans la suite de cette étude pour la détermination du degré coupe-feu des complexes de sol et des joints de modules.

2.4.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol par la méthode FIT

La méthode FIT ou la méthode du guide européen « Fire Safety In Timber Building » [8] est une méthode permettant de déterminer le temps d'isolation (critère I) et d'étanchéité (critère E) des éléments en bois. Cette méthode repose sur la connaissance de la composition des éléments en bois et sur un ensemble de données d'entrée caractéristiques à chaque matériau, récoltées à partir d'un nombre important d'essais au feu.

La contribution de chaque couche de matériaux dépend principalement de ses propriétés d'isolation et de sa position dans le plancher par rapport au flux de chaleur incident. Ainsi, la contribution de chaque couche $t_{ins,i}$ est calculée en fonction de sa valeur basique d'isolation $t_{ins,0,i}$, de son coefficient de position $k_{pos,i}$ et du coefficient du joint $k_{j,i}$, comme l'indique l'équation (2) :

$$t_{ins,i} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,i} \cdot k_{j,i} \quad [min] \quad (2)$$

Ainsi, la résistance totale de l'élément en bois est déterminée à partir de la somme de la contribution des différentes couches, tout en prenant en compte la direction du flux de chaleur et de la fonction et des interactions de chaque couche (3).

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n} \quad (3)$$

Avec :

$\sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i}$ La somme des temps de protection des couches (dans la direction du flux de chaleur), précédant la dernière couche sur la face non exposée au feu [min]

$t_{ins,n}$ Le temps d'isolation de la dernière couche dans la direction non exposée au feu [min]

Le temps d'isolation et de protection de chaque couche peuvent être calculés suivant les équations ci-dessous (4)(5), en prenant en considération le temps de protection de base de chaque couche, son coefficient de position et le coefficient du joint présent sur la configuration.

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad (4)$$

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n} \quad (5)$$

Avec :

$t_{prot,0,i}$ Le temps de protection de base de la couche i [min]

$t_{ins,0,n}$ Le temps de protection de base de la dernière couche de matériau sur sa face non exposée au feu [min]

$k_{pos,exp,i}$, $k_{pos,exp,n}$ Coefficient de position prenant en compte l'influence des couches précédant la couche considérée

$k_{pos,unexp,n}$ Coefficient de position prenant en compte l'influence des couches derrière la couche considérée

Δt_i , Δt_n Temps de correction à considérer pour les couches protégées par du placoplâtre type F ou par un panneau de fibres de plâtre [min]

$k_{j,n}$ Coefficient des joints

Les tableaux de 12 à 17 ci-dessous présentent les valeurs des différentes quantités à considérer dans la détermination des performances au feu des planchers par la méthode du guide « Fire Safety In Timber Buildings » [8].

Matériaux	Valeur d'isolation de base $t_{ins,0,n}$ [min]	Valeur de protection $t_{prot,0,i}$ [min]
Plaques de plâtre	$24 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$
Bois massif, bois croisé laminé (CLT), LVL	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Panneaux à base des fibres ou des particules	$22 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$33 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
OSB, contreplaqué	$16 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$23 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Laine de roche de $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$	0	$0,3 \cdot h_i^{(0,75 \cdot \log(\rho_i) - \rho_i/400)}$
Laine de verre de $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$	0	pour $h_i < 40 \text{ mm}$: 0 pour $h_i \geq 40 \text{ mm}$: $(0,0007 \cdot \rho_i + 0,046) \cdot h_i + 13 \leq 30$

Tableau 12 : Valeurs d'isolation $t_{ins,0}$ et de protection $t_{prot,0}$ de base à considérer pour les différents matériaux

Avec h_i l'épaisseur de la couche considérée [mm]

ρ_i masse volumique de la couche considérée [kg/m³]

β_0 vitesse de combustion unidirectionnelle ($\beta_0 = 0.65 \text{ mm/min}$)

Matériaux	Coefficient de Position $k_{pos,exp,i}$ et $k_{pos,exp,n}$
Bardage (bois, plaques de plâtre)	$k_{pos,exp,n}$ pour $t_{ins,n}$
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,n-1}}{t_{ins,0,n}}$ pour $\sum t_{prot,n-1} \leq \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,n}}{\sum t_{prot,n-1}}}$ pour $\sum t_{prot,n-1} > \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ pour $t_{prot,i}$
Laine de roche	$k_{pos,exp,i}$ pour $t_{prot,i}$
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$ pour $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$ pour $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ pour $t_{prot,i}$
Laine de verre $h_i \geq 40$ mm	$k_{pos,exp,i}$ pour $t_{prot,i}$
	$1 - 0,8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$ pour $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{4}$ $(0,001 \cdot \rho_i + 0,27) \cdot \left[\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}} \right]^{(0,75 - 0,002 \cdot \rho_i)}$ pour $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{4}$

Tableau 13 : Coefficients de position $k_{pos,exp,i}$ et $k_{pos,exp,n}$ à considérer

Matériaux	$k_{pos,unexp,i}$ pour les couches suivies de plaque de plâtre ou bois	$k_{pos,unexp,i}$ pour les couches suivies d'une couche d'isolant
Plaques de plâtre	1,0	$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Bois massif, CLT et LVL		$0,35 \cdot h_i^{0,21}$
Panneaux à base des fibres ou des particules		$0,41 \cdot h_i^{0,18}$
OSB, contreplaqués		$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Laine de roche		$0,18 \cdot h_i^{(0,001 \cdot \rho_i + 0,08)}$
Laine de verre		$0,01 \cdot h_i - \frac{h_i^2}{30000} + \rho_i^{0,09} - 1,3$

Tableau 14 : Coefficient de position $k_{pos,unexp,i}$

Matériaux	Parois horizontales	Parois verticales
Bardage (bois, plaques de plâtre)	Δt_n pour $t_{ins,n}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,n-1} + 1,1 \cdot t_{ins,0,n} - 5,0$ <i>pour $t_{ins,0,n} < 8$ min</i>	$0,03 \cdot t_{prot,n-1} + 0,9 \cdot t_{ins,0,n} - 2,3$ <i>pour $t_{ins,0,n} < 12$ min</i>
	$0,1 \cdot t_{prot,n-1} - 0,035 \cdot t_{ins,0,n} + 1,2$ <i>pour $t_{ins,0,n} \geq 8$ min</i>	$0,22 \cdot t_{prot,n-1} - 0,1 \cdot t_{ins,0,n} + 4,7$ <i>pour $t_{ins,0,n} \geq 12$ min</i>
	Δt_i pour $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,i-1} + 1,1 \cdot t_{prot,0,i} - 5,0$ <i>pour $t_{prot,0,i} < 8$ min</i>	$0,03 \cdot t_{prot,i-1} + 0,9 \cdot t_{prot,0,i} - 2,3$ <i>pour $t_{prot,0,i} < 12$ min</i>
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i} + 1,2$ <i>pour $t_{prot,0,i} \geq 8$ min</i>	$0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 4,7$ <i>pour $t_{prot,0,i} \geq 12$ min</i>
Laine minérale	Δt_i pour $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i}$	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} + t_{prot,0,i} - 1,0$ <i>pour $t_{prot,0,i} < 6$ min</i> $0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 3,5$ <i>pour $t_{prot,0,i} \geq 6$ min</i>

Tableau 15 : Temps de correction Δt_i et Δt_n des temps de protection $t_{prot,i}$ et d'isolation $t_{ins,n}$ des couches protégées par des plaques de plâtre type F et panneaux en fibre de plâtre

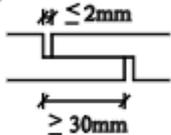
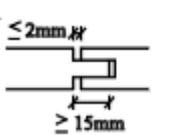
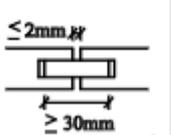
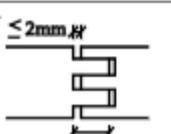
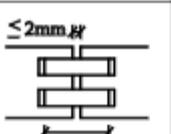
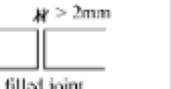
Matériaux	Type de joint	$k_{j,n}$ pour $t_{ins,n}$	$k_{j,i}$ pour $t_{prot,i}$	
			Couche suivie par un vide	Couche suivie par isolation, ou autre élément
Bardage bois		0,3	0,3	1,0
	 	0,4	0,4	1,0
	 	0,6	0,6	1,0
	Pas de joint	1,0	1,0	1,0
Panneaux à base des fibres, ou des particules	 	0,8	0,8	1,0
	Pas de joint	1,0	1,0	1,0
Isolation de type laine minérale		-	0,8	1,0
	Pas de joint	-	1,0	1,0

Tableau 16 : Coefficients de joint $k_{j,i}$ et $k_{j,n}$ à considérer*

*Ces valeurs sont uniquement valables pour des largeurs de joint inférieures à 2 mm selon les recommandations de l'Eurocode 5 partie 1-2 [6]

Matériaux	Couche qui délimite le vide du côté exposé au feu	Couche qui délimite le vide du côté non exposé au feu	
Bardage plâtre, bois	$k_{pos,unexp,i}$ référence tableau 14 , colonne 3	$1,6 \times k_{pos,exp,i}$ référence tableau 13	$3 \times \Delta t_i$ (ou $3 \times \Delta t_n$) et référence tableau 15
Isolation à base de laine minérale	$k_{pos,unexp,i} = 1,0$		Δt_i (ou Δt_n) référence tableau 15

Tableau 17 : Modification des coefficients de position $k_{pos,exp}$ et $k_{pos,unexp}$ pour les cavités vides

Une comparaison entre les degrés coupe-feu donnés par la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » et des calculs de transfert thermique par éléments finis sur le logiciel SAFIR2016 a permis d'évaluer l'écart de résultats entre ces deux méthodes.

L'exemple d'application considéré a consisté à évaluer le degré coupe-feu d'un complexe de sol de type 4, composé d'un panneau bois de 12 mm d'épaisseur, un panneau en laine de roche de 20 mm d'épaisseur et d'une chape sèche en plâtre de 10 mm d'épaisseur. Le degré coupe-feu donné par le calcul aux éléments finis sur cette configuration complexe de sol est de 36 minutes, soit un classement au feu EI30, tandis que la « méthode du guide Fire Safety in Timber Buildings » donne un degré coupe-feu de 20 minutes (Annexe 1), soit un classement au feu EI15.

La comparaison des résultats montre que les degrés coupe-feu donnés par la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » sont inférieurs à ceux obtenus par les calculs aux éléments finis. On peut alors conclure que l'utilisation de la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » dans la détermination du degré coupe-feu des complexes de sol est sécuritaire.

2.4.3. Détermination du degré coupe-feu de la chape en béton

L'ajout d'une chape en béton au-dessus du plancher en bois lui confère des performances au feu supplémentaires, notamment pour le critère coupe-feu. En effet, l'intégration d'une dalle en béton permet de stopper le passage des flammes et de gaz chaud. La contribution de la dalle en béton au critère coupe-feu du plancher peut être quantifiée en fonction de son épaisseur soit à partir des données fournies par l'Eurocode 2 partie 1-2 [9], soit par des calculs de transfert thermique. Les valeurs données par l'Eurocode 2 partie 1-2 [9] et par le calcul du transfert thermique dans une section de dalle en béton sont présentées dans le tableau 18.

Epaisseur de dalle [mm]	Degré coupe-feu selon calcul thermique [min]	Degré coupe-feu selon EC2 partie 1-2 [min]
50	32	*
60	42	EI 30
70	54	*
80	67	EI 60
90	82	*
100	98	EI90
110	116	*
120	135	EI120
130	155	*
140	178	*
150	201	EI180
160	226	*
175	+240	EI240

Tableau 18 : Performances au feu des dalles en béton en fonction de leur épaisseur [9]

2.5. Exemple d'application 1 : Détermination de la section résiduelle du plancher O'PORTUNE®

Ce paragraphe présente un exemple d'application de la méthode de détermination de la section résiduelle des planchers O'PORTUNE® à partir des vitesses de combustion présentées dans le paragraphe 2.2 et de la méthode de détermination du critère coupe-feu du plancher présentée dans le paragraphe 2.4.

Dans cet exemple, nous considérons un plancher O'PORTUNE® composé de planches en bois massif, décalées en créneaux de section 60 mm x 240 mm, avec un recouvrement entre les planches de 80 mm. Les planches sont fixées entre-elles par des vis positionnées à 40 mm de la face inférieure des planches hautes. Les planches sont recouvertes par un complexe de sol de type 3 composé d'un panneau OSB de 20 mm d'épaisseur, une chape en béton de 50 mm d'épaisseur et d'un revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur. La jonction entre les modules du plancher est assurée par un panneau 3 plis de 19 mm d'épaisseur et de la laine de roche de 100 mm d'épaisseur.

La Figure 17 et le Tableau 19 décrivent la composition du plancher O'PORTUNE® étudié dans le cadre de cet exemple.

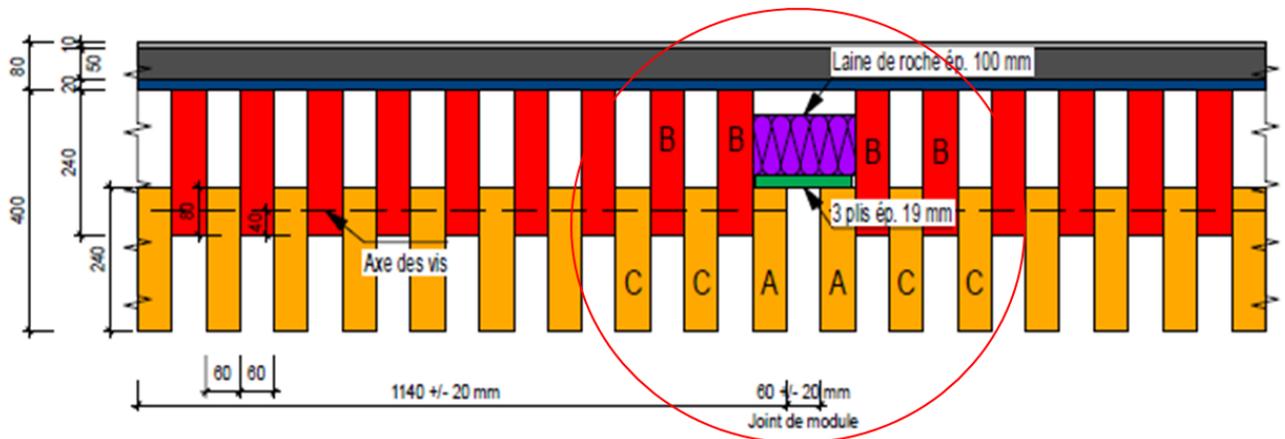


Figure 17 : Configuration du plancher O'PORTUNE® à étudier

b	60	mm
h	240	mm
L_module	1140	mm
j	60	mm
r	80	mm
H_module	400	mm
d	40	mm

Tableau 19 : Paramètres de la configuration étudiée

2.5.1. Détermination de la section résiduelle du plancher

La détermination de la section résiduelle du plancher O'PORTUNE® est effectuée sur la zone entre deux modules (cerclée de rouge sur la Figure 17). Cette zone représente en effet la partie la plus défavorable à considérer lors du dimensionnement du fait de la présence d'un joint de module et l'exposition des planches de rives (planches A) suivant leurs 3 faces. La combustion des planches en situation d'incendie s'effectue de

3 façons différentes, selon la position des planches dans le plancher, comme le décrit la Figure 18 (les parties en gris sont carbonisées).

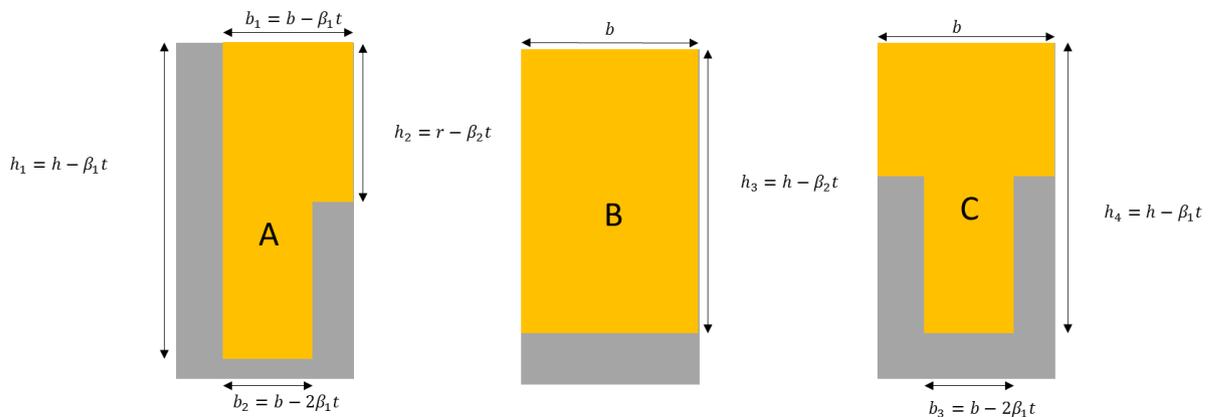


Figure 18 : Combustion des planches de la dalle en fonction de leur position

La section résiduelle des planches en situation d'incendie peut être déterminée en utilisant les équations présentées sur la Figure 18. Si le calcul démontre que la section résiduelle du plancher demeure capable de résister aux efforts de sollicitation, une vérification de la position du front de carbonisation vis-à-vis de la position des vis d'assemblage reste essentielle pour répondre aux critères de résistance au feu des planchers cités dans le §2.3 de ce document.

Ainsi, la durée de résistance au feu du plancher correspond au moment à partir duquel le front de carbonisation atteint la position des vis d'assemblage. Deux scénarios sont alors possibles (Figure 19) :

1. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir des planches hautes
2. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir de la partie basse des planches basses

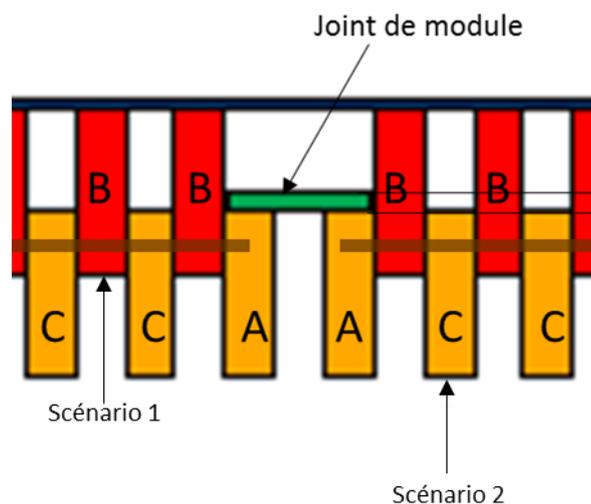


Figure 19 : Scénarios d'atteinte du critère de résistance au feu sur le plancher O'PORTUNE®

Ainsi, le front de carbonisation est susceptible d'atteindre la position des vis d'assemblage à un temps t_s , calculé à partir de l'équation (5) ci-dessous :

$$t_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{\beta_2} = \frac{40}{0.4} = 100 \text{ min} \\ \frac{(h-r+d)}{\beta_1} = 250 \text{ min} \end{array} \right. \quad (5)$$

Avec

t_s : temps nécessaire pour atteindre la position des vis d'assemblage

d : La position des vis d'assemblage par rapport à la face inférieure de la planche haute

r : Distance de recouvrement

h : Hauteur des planches

β_1 : La vitesse de combustion des planches basses ($\beta_1 = 0.8 \text{ mm/min}$)

β_2 : La vitesse de combustion des planches hautes ($\beta_2 = 0.4 \text{ mm/min}$)

Cependant, ces valeurs sont uniquement valables dans le cas où les planches A et C restent en place pendant toute la durée d'exposition au feu. En se référant au calcul de la section résiduelle, et en utilisant les équations de la Figure 18, on s'aperçoit que l'épaisseur des planches A et C est entièrement consommée après 38 minutes d'exposition au feu.

Ainsi, à partir de 38 minutes d'exposition au feu, la cavité réduisant initialement l'apport en oxygène disparaît complètement. Par conséquent, le front de carbonisation avance avec une vitesse de **0.8 mm/min** sur la partie basse des planches hautes (planches B).

Le moment où le front de carbonisation atteint la position des vis peut être déterminé en utilisant les équations (6) et (7) ci-dessous :

Hauteur des planches B carbonisée avant la disparition totale de l'épaisseur des planches C :

$$h_3 = h - \beta_2 t_1 = 240 - (0.4 * 38) = 224.8 \text{ mm} \quad (6)$$

Hauteur des planches B carbonisée après la disparition du créneau :

$$h'_3 = h_3 - \beta_1 (t - t_1) = 224.8 - 0.8 * (t - 38) \quad (7)$$

Le front de carbonisation atteint la position des vis quand $(h - h'_3)$ devient égale à $d = 40 \text{ mm}$, c'est-à-dire pour $h'_3 = 200 \text{ mm}$. Tout calcul fait, on trouve **$t_s = 69 \text{ minutes}$** .

2.5.2. Détermination du degré coupe-feu du plancher

Cette partie s'intéresse à l'étude du transfert thermique dans la section du plancher O'PORTUNE® étudiée dans le cadre de cet exemple et à la détermination de son degré coupe-feu. Pour rappel, la jonction entre les modules du plancher est assurée par un panneau 3 plis de section 19 mm x 180 mm, couvert par de la laine de roche de 100 mm d'épaisseur. Le complexe de sol mis en œuvre sur le plancher est de type 3, et est composé de bas en haut de :

- Un panneau OSB de 20 mm d'épaisseur,
- Une chape en béton de 50 mm d'épaisseur,
- Un revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur.

Le degré coupe-feu du panneau du joint de module et du complexe de sol est calculé en utilisant les formules données par la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings », présentées dans le §2.4.2. Ainsi, en appliquant cette méthode, le degré coupe-feu assuré par le complexe de sol est de $t_{ins} = 66 \text{ minutes}$. En effet,

le panneau OSB de 20 mm et le joint de module de 19 mm d'épaisseur permettent d'assurer seuls un degré coupe-feu $t_{ins}= 34$ minutes (Annexe 2). La dalle en béton assure quant à elle, un degré coupe-feu de 32 minutes, selon le Tableau 18. Ainsi, le complexe de sol permet d'assurer seul un degré coupe-feu EI60.

Un calcul numérique par éléments finis effectué sur le logiciel SAFIR2016, permettant de prendre en compte les fortes non linéarités des propriétés thermo-physiques des matériaux, a permis de vérifier les résultats obtenus par la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire.

Les calculs ont montré que le créneau disparaît après 34 minutes d'exposition au feu (Figure 20). On note que ce temps est légèrement inférieur à celui obtenu par la méthode analytique. Les calculs ont montré également que le front de carbonisation atteint la position des vis après 68 minutes d'exposition au feu, temps proche de celui obtenu par calcul analytique. Par ailleurs, la température à la face non exposée au feu du plancher à 68 minutes d'exposition au feu est de 20°C, et donc largement inférieure à 160°C.

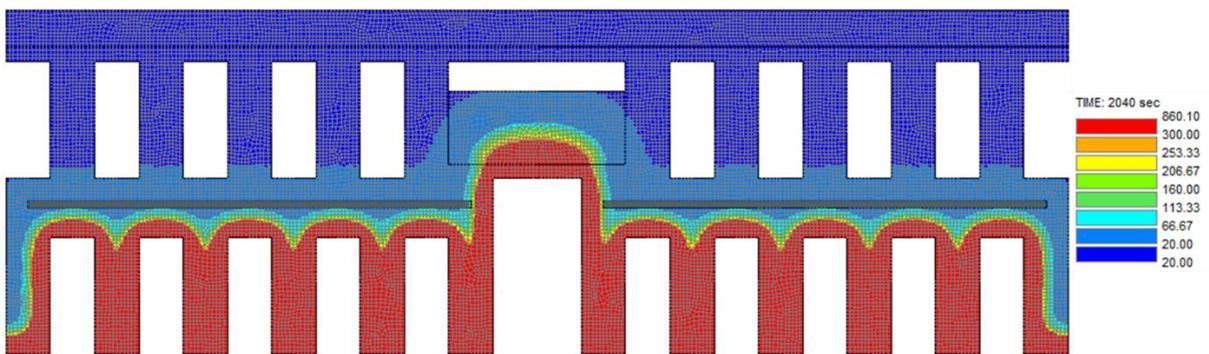


Figure 20 : Combustion totale des planches basses du plancher O'PORTUNE® étudié après 38 minutes d'exposition au feu ISO (calcul aux éléments finis)

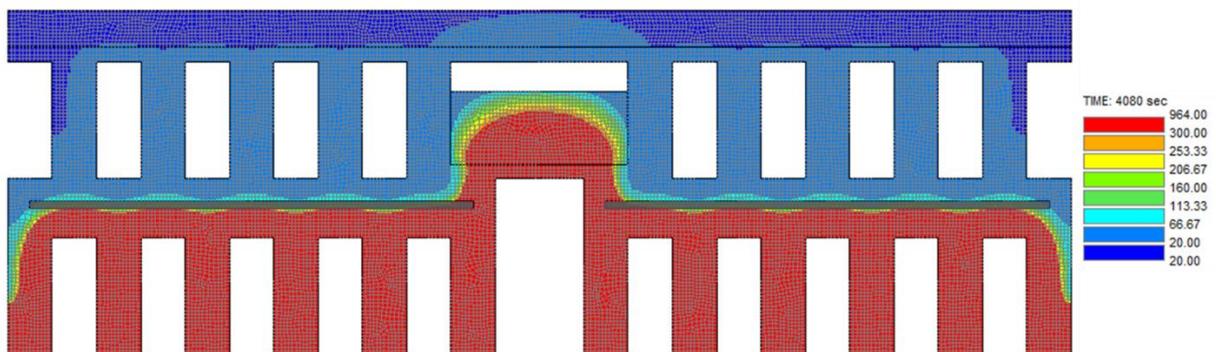


Figure 21: Le front de carbonisation atteint la position des vis après 68 minutes d'exposition au feu ISO d'après les calculs aux éléments finis

Après 68 minutes d'exposition au feu ISO 834, la température est de 20°C en face non exposée du plancher, et ne dépasse pas les 100°C au niveau du joint de module (panneau 3 plis + laine de roche de 100 mm d'épaisseur).

La comparaison entre les calculs numériques et les résultats obtenus par la méthode analytique a permis de conclure que la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire permet un dimensionnement sécuritaire des planchers O'PORTUNE® en situation d'incendie.

D'après la section résiduelle calculée dans le paragraphe 2.5.1 et le degré coupe-feu du complexe de sol calculé dans le paragraphe 2.5.2, la configuration étudiée du plancher O'PORTUNE® présente un classement

au feu **REI60**. Ce classement n'est valable que si le calcul montre que la section efficace du plancher est capable de résister aux efforts de sollicitation.

2.6. Exemple d'application 2 : Détermination de la section résiduelle du plancher D-DALLE®

Ce paragraphe présente un exemple d'application de la méthode de détermination de la section résiduelle des planchers D-DALLE® à partir des vitesses de combustion présentées dans le paragraphe 2.2 et de la méthode de détermination du critère coupe-feu du plancher présentée dans le paragraphe 2.4.

Dans cet exemple, nous considérons un plancher D-DALLE® composé de planches en bois massif, décalées en créneaux de section 60 mm x 240 mm, avec un recouvrement entre les planches de 100 mm. Les planches sont fixées entre-elles par des vis positionnées à 60 mm de la face inférieure des planches hautes. Le fond d'onde (cavité entre les planches basses et la dalle en béton) est rempli en partie par du polystyrène. Les planches sont recouvertes par une dalle en béton de 80 mm d'épaisseur. La jonction entre les modules du plancher est assurée par une planche en bois massif de 60 mm d'épaisseur. Le plancher D-DALLE® étudié est couvert par un complexe de sol de type I, composé d'un résilient en laine de roche de 30 mm d'épaisseur, d'une chape en béton de 50 mm d'épaisseur, et d'un revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur. Le complexe de sol et le fond d'onde en polystyrène ne seront pas pris en compte dans la modélisation du transfert thermique par éléments finis. Leurs capacités d'isolation et d'étanchéité seront déterminées séparément, par un calcul selon la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings ».

La Figure 22 et le Tableau 20 décrivent la composition du plancher D-DALLE® étudié dans le cadre de cet exemple.

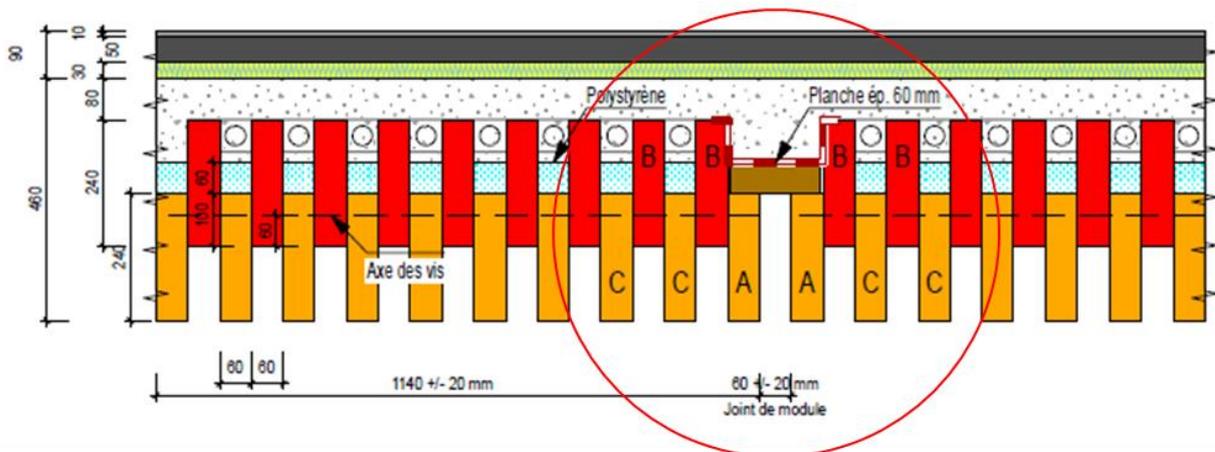


Figure 22 : Configuration du plancher D-DALLE® à étudier

b	60	mm
h	240	mm
L_module	1140	mm
j	60	mm
r	100	mm
H_module	460	mm
H_béton	60	mm
d	60	mm

Tableau 20 : Paramètres de la configuration étudiée

2.6.1. Détermination de la section résiduelle du plancher

La détermination de la section résiduelle du plancher D-DALLE® est effectuée sur la zone entre deux modules (cerclée de rouge sur la Figure 22). Cette zone représente en effet la partie la plus défavorable à considérer lors du dimensionnement du fait de la présence d'un joint de module et de l'exposition des planches de rives (planches A) suivant leurs 3 faces. La combustion des planches en situation d'incendie s'effectue de 3 façons différentes, selon la position des planches dans le plancher, comme le décrit la Figure 23.

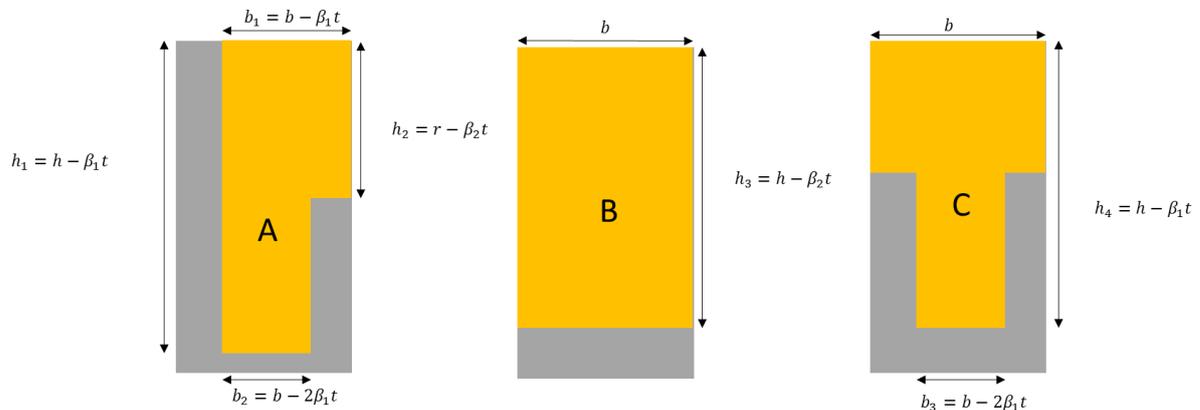


Figure 23 : Combustion des planches de la dalle en fonction de leurs positions

La section résiduelle des planches en situation d'incendie peut être déterminée en utilisant les équations présentées sur la Figure 23. Si le calcul démontre que la section résiduelle du plancher demeure capable de résister aux efforts de sollicitation, une vérification de la position du front de carbonisation vis-à-vis de la position des vis d'assemblage reste essentielle pour répondre aux critères de résistance au feu des planchers cités dans le §2.3 de ce document.

Ainsi, la durée de résistance au feu du plancher correspond au moment à partir duquel le front de carbonisation atteint la position des vis d'assemblage. Deux scénarios sont alors possibles (Figure 24) :

1. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir des planches hautes
2. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir de la partie basse des planches basses

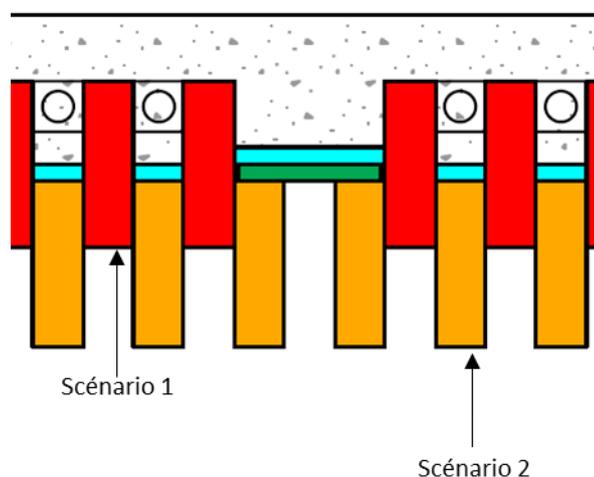


Figure 24 : Scénarios d'atteinte du critère de résistance au feu sur le plancher D-DALLE®

Ainsi, le front de carbonisation est susceptible d'atteindre la position des vis d'assemblage à un temps t_s , calculé à partir de l'équation (8) ci-dessous :

$$t_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{\beta_2} = \frac{60}{0.4} = 150 \text{ min} \\ \frac{(h-r+d)}{\beta_1} = 250 \text{ min} \end{array} \right. \quad (8)$$

Avec

t_s : temps nécessaire pour atteindre la position des vis d'assemblage

d : La position des vis d'assemblage par rapport à la face inférieure de la planche haute

r : Distance de recouvrement

h : Hauteur des planches

β_1 : La vitesse de combustion des planches basses ($\beta_1 = 0.8 \text{ mm/min}$)

β_2 : La vitesse de combustion des planches hautes ($\beta_2 = 0.4 \text{ mm/min}$)

Cependant, ces valeurs sont uniquement valables dans le cas où les planches A et C restent en place pendant toute la durée d'exposition au feu. En se référant au calcul de la section résiduelle, et en utilisant les équations de la Figure 23, on s'aperçoit que l'épaisseur des planches A et C est entièrement consommée après 38 minutes d'exposition au feu.

Ainsi, à partir de 38 minutes d'exposition au feu, la cavité réduisant initialement l'apport en oxygène disparaît complètement. Par conséquent, le front de carbonisation avance avec une vitesse de **0.8 mm/min** sur la partie basse des planches hautes.

Le moment où le front de carbonisation atteint la position des vis peut être déterminé en utilisant les équations (9) et (10) ci-dessous :

Hauteur des planches B carbonisée avant la disparition totale de l'épaisseur des planches C :

$$h_3 = h - \beta_2 t_1 = 240 - (0.4 * 38) = 224 \text{ mm} \quad (9)$$

Hauteur des planches B carbonisée après la disparition du créneau :

$$h'_3 = h_3 - \beta_1 (t - t_1) = 224 - 0.8 * (t - 38) \quad (10)$$

Le front de carbonisation atteint la position des vis quand $(h - h'_3)$ devient égale à $d = 60 \text{ mm}$, c'est-à-dire pour $h'_3 = 180 \text{ mm}$. Tout calcul fait, on trouve $t_s = \mathbf{93 \text{ minutes}}$.

2.6.2. Détermination du degré coupe-feu de la dalle en béton

Cette partie s'intéresse à l'étude du transfert thermique dans la section du plancher D-DALLE® étudiée dans cet exemple et à la détermination de son degré coupe-feu (Figure 22). Pour rappel, le complexe de sol et le fond d'onde en polystyrène ne seront pas pris en compte dans la modélisation du transfert thermique par éléments finis. En effet, d'après le Tableau 18, la dalle de 80 mm d'épaisseur et la chape de 50 mm d'épaisseur confèrent seules au plancher D-DALLE® étudié un degré coupe-feu de 155 minutes.

Un calcul numérique par éléments finis effectué sur le logiciel SAFIR2016, permettant de prendre en compte les fortes non linéarités des propriétés thermo-physiques des matériaux a permis de vérifier les résultats obtenus par la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire.

Les calculs par éléments finis ont montré que le front de carbonisation atteint la position des vis après 105 minutes d'exposition au feu, temps supérieur à celui obtenu par calcul analytique.

Les calculs ont montré également que le créneau disparaît entièrement après 38 minutes d'exposition au feu (Figure 25). Par ailleurs, ces calculs ont permis de vérifier que pour 120 minutes d'exposition au feu, la température à la face non exposée au feu du plancher est de 21°C, et donc largement inférieure à 160°C.

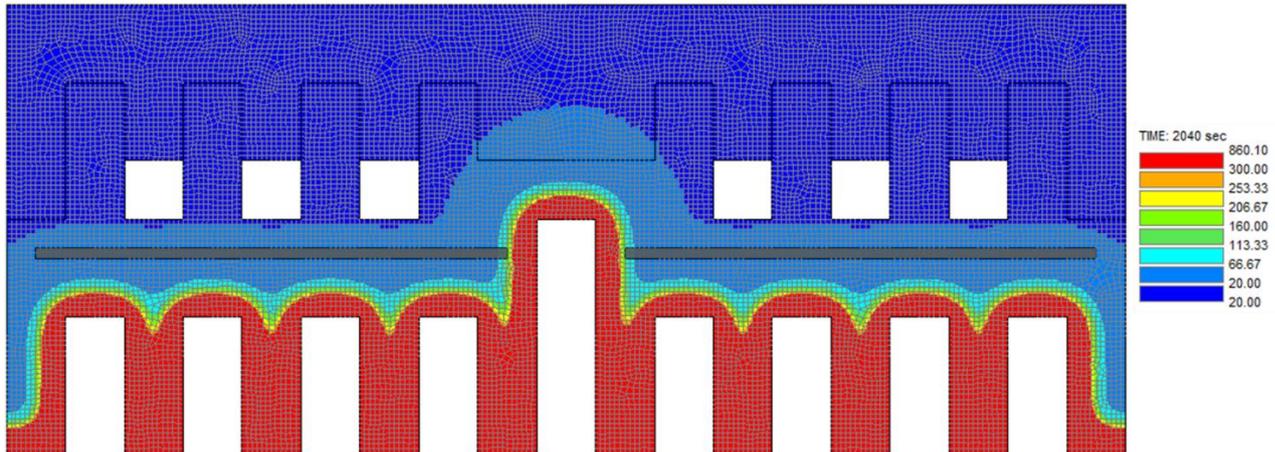


Figure 25 : Disparition du créneau sur le plancher D-DALLE® étudié après 38 minutes d'exposition au feu

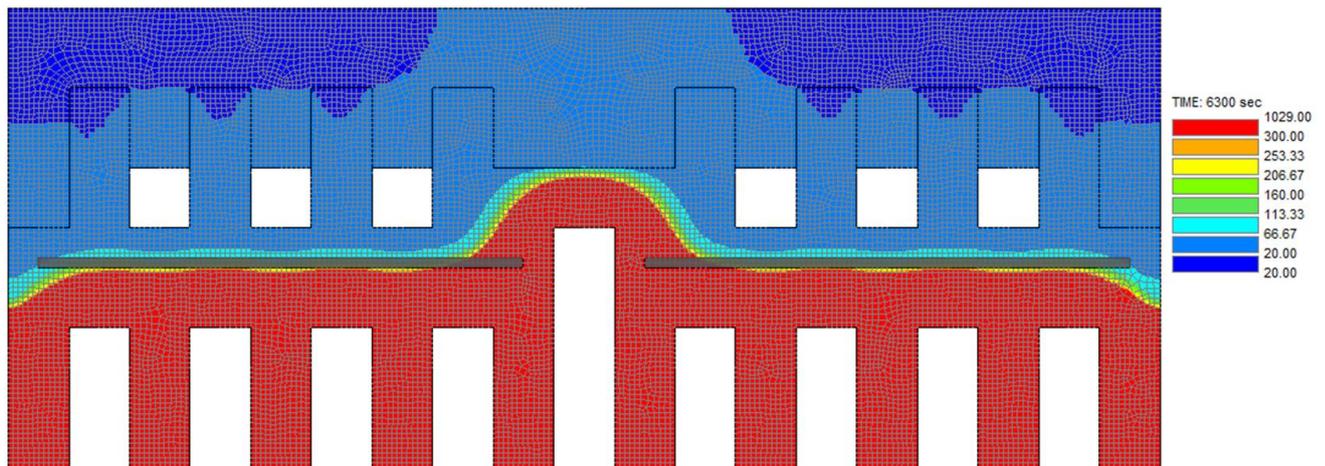


Figure 26 : Le front de carbonisation atteint la position des vis après 105 minutes d'exposition au feu ISO d'après les calculs aux éléments finis

La comparaison entre les calculs numériques et les résultats obtenus par la méthode analytique a permis de conclure que la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire permet un dimensionnement sécuritaire des planchers D-DALLE® en situation d'incendie.

D'après la section résiduelle calculée dans le paragraphe 2.6.1 et le degré coupe-feu du complexe de sol calculé dans le paragraphe 2.6.2, la configuration étudiée du plancher D-DALLE® présente un classement au feu **REI90**. Ce classement n'est valable que si le calcul montre que la section résiduelle du plancher est capable de résister aux efforts de sollicitation.

2.7. Exemple d'application 3 : Détermination de la section résiduelle du plancher SOLIVIUM MIXTE®

Ce paragraphe présente un exemple d'application de la méthode de détermination de la section résiduelle des planchers SOLIVIUM MIXTE® à partir des vitesses de combustion présentées dans le paragraphe 2.2 et de la méthode de détermination du critère coupe-feu du plancher présentée dans le paragraphe 2.4.

Dans cet exemple, nous considérons un plancher SOLIVIUM MIXTE® composé de 4 poutres avec des planches en lamellé-collé, décalées en créneaux sur la hauteur, recouvertes par une dalle en béton de 60 mm d'épaisseur. Chaque poutre est composée de 4 planches basses et 3 planches hautes, de section 60 mm x 260 mm. Les planches sont fixées entre-elles par le biais de vis positionnées à 40 mm de la face inférieure de la planche haute, assurant un recouvrement de 80 mm entre deux planches successives, comme décrit sur la Figure 27 et le Tableau 21.

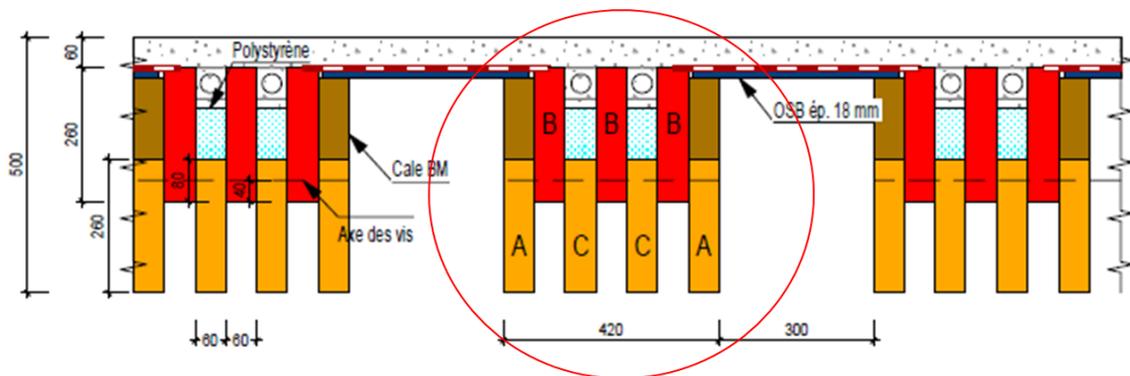


Figure 27: Configuration de plancher à étudier

b	60	mm
h	260	mm
L_module	420	mm
j	300	mm
r	80	mm
H_module	500	mm
H-béton	60	mm
d	40	mm

Tableau 21: Paramètres de la configuration d'étude

2.7.1. Détermination de la section résiduelle du plancher

L'étude de détermination de la section résiduelle du plancher SOLIVIUM MIXTE® est effectuée sur les poutres centrales (cerclée de rouge sur la Figure 27). Les poutres centrales représentent en effet la partie la plus défavorable à considérer lors du dimensionnement du fait qu'elles soient sollicitées suivant les 3 faces. La combustion des planches en situation d'incendie s'effectue de 3 façons différentes, selon la position des planches dans le plancher, comme le décrit la Figure 28.

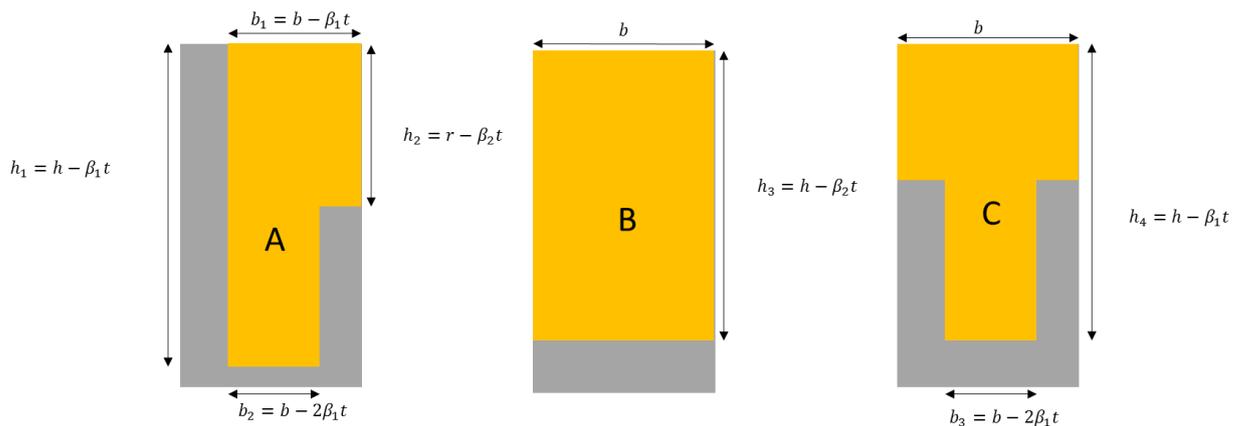


Figure 28: Combustion des planches de la dalle en fonction de leurs positions

La section résiduelle des poutres en situation d'incendie peut être déterminée en utilisant les équations présentées sur la Figure 28. Si le calcul démontre que la section résiduelle du plancher demeure capable de résister aux efforts de sollicitation, une vérification de la position du front de carbonisation vis-à-vis de la position des vis d'assemblage reste essentielle pour répondre aux critères de résistance au feu des planchers cités dans le §2.3 de ce document.

Ainsi, la durée de résistance au feu du plancher correspond au moment à partir duquel le front de carbonisation atteint la position des vis d'assemblage. Deux scénarios sont alors possibles (Figure 29) :

1. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir des planches hautes
2. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir de la partie basse des planches basses.

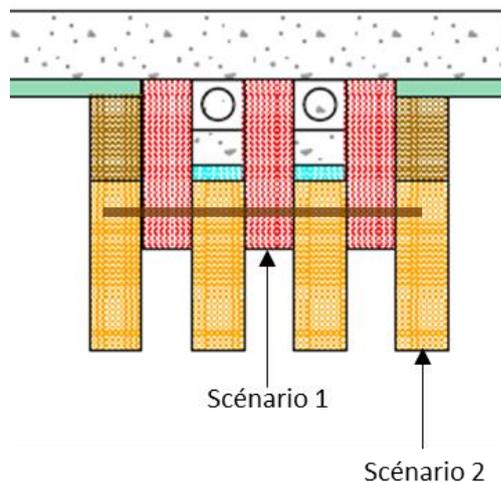


Figure 29: Scénarios d'atteinte du critère de résistance au feu sur le plancher SOLIVIUM MIXTE®

Ainsi, le front de carbonisation est susceptible d'atteindre la position des vis d'assemblage à un temps t_s , calculé à partir de l'équation (11) ci-dessous :

$$t_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{\beta_2} = \frac{40}{0.4} = 100 \text{ min} \\ \frac{(h-r+d)}{\beta_1} = \frac{260-80+40}{0.7} = 314 \text{ min} \end{array} \right. \quad (11)$$

Avec

t_s : temps nécessaire pour atteindre la position des vis d'assemblage

d : La position des vis d'assemblage par rapport à la face inférieure de la planche haute

r : Distance de recouvrement

h : Hauteur des planches

β_1 : La vitesse de combustion des planches basses ($\beta_1 = 0.7 \text{ mm/min}$)

β_2 : La vitesse de combustion des planches hautes ($\beta_2 = 0.4 \text{ mm/min}$)

Cependant, ces valeurs sont uniquement valables dans le cas où les planches A et C restent en place pendant toute la durée d'exposition au feu. En se référant au calcul de la section résiduelle, et en utilisant les équations de la Figure 28, on s'aperçoit que l'épaisseur des planches A et C est entièrement consumée après 42 minutes d'exposition au feu.

Ainsi, à partir de 42 minutes d'exposition au feu, la cavité réduisant initialement l'apport en oxygène disparaît complètement. Par conséquent, le front de carbonisation avance avec une vitesse de **0.7 mm/min** sur la partie basse de la planche haute.

Le moment où le front de carbonisation atteint la position des vis peut être déterminé en utilisant les équations (12) et (13) ci-dessous :

Hauteur des planches B carbonisée avant la disparition de l'épaisseur des planches C :

$$h_3 = h - \beta_2 t_1 = 260 - (0.4 * 42) = 243.2 \text{ mm} \quad (12)$$

Hauteur des planches B carbonisée après la disparition du créneau :

$$h'_3 = h_3 - \beta_1 (t - t_1) = 243.2 - 0.7 * (t - 42) \quad (13)$$

Le front de carbonisation atteint la position des vis quand $(h - h'_3)$ devient égale à $d = 40 \text{ mm}$, c'est-à-dire pour $h'_3 = 220 \text{ mm}$. Tout calcul fait, on trouve $t_s = 75 \text{ minutes}$.

2.7.2. Détermination du degré coupe-feu de la dalle en béton

Cette partie s'intéresse à l'étude du transfert thermique et du degré coupe-feu de la dalle en béton se trouvant dans la partie entre deux poutres du plancher SOLIVIUM MIXTE® (Figure 30). Cette partie est composée d'un panneau OSB de 18 mm d'épaisseur et d'une dalle en béton de 60 mm d'épaisseur.

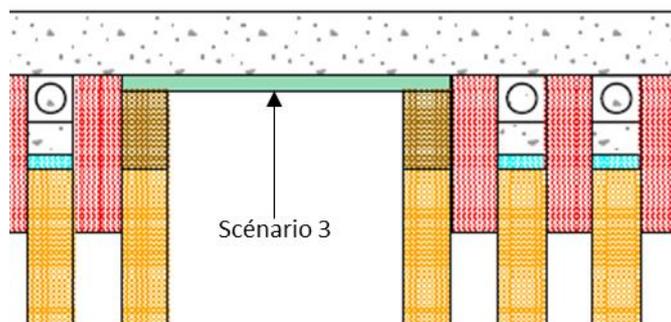


Figure 30 : Scénario d'atteinte du critère coupe-feu du plancher SOLIVIUM MIXTE®

Le degré coupe-feu du panneau OSB est déterminé à partir de la vitesse de combustion donnée par l'Eurocode 5 partie 1-2 [6]. Ainsi, le degré coupe-feu assuré par le panneau OSB dans cette configuration est

de 20 minutes. Le degré coupe-feu de la dalle en béton de 60 mm d'épaisseur est donné par le Tableau 18, et est de l'ordre de 42 minutes.

Ainsi, le complexe panneau OSB de 18 mm associé à une dalle en béton de 60 mm permet d'assurer un degré coupe-feu total de l'ordre de 62 minutes, soit classement coupe-feu EI60.

Un calcul numérique par éléments finis effectué sur le logiciel SAFIR2016, permettant de prendre en compte les fortes non linéarités des propriétés thermo-physiques des matériaux a permis de vérifier les résultats obtenus par la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire.

Les calculs ont montré que les planches A et C sont entièrement carbonisées après 42 minutes d'exposition au feu (Figure 31), soit pour un temps d'exposition égal à celui obtenu par la méthode analytique. Les calculs ont montré également que le front de carbonisation atteint la position des vis après exactement 75 minutes d'exposition au feu, temps correspondant à celui prédit par calcul analytique (Figure 32). Par ailleurs, ces calculs ont permis de vérifier que pour ce temps d'exposition au feu, la température à la face non exposée au feu du plancher est de l'ordre de 147°C, et donc inférieure à 160°C.

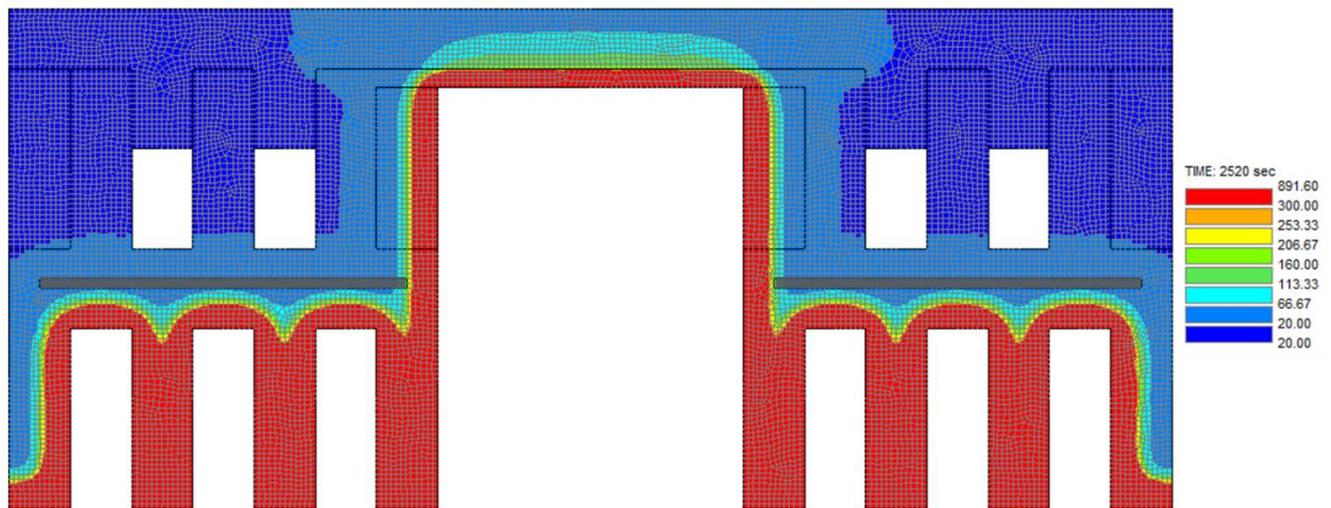


Figure 31 : Disparition du créneau sur le plancher SOLIVIUM MIXTE® étudié après 42 minutes d'exposition au feu

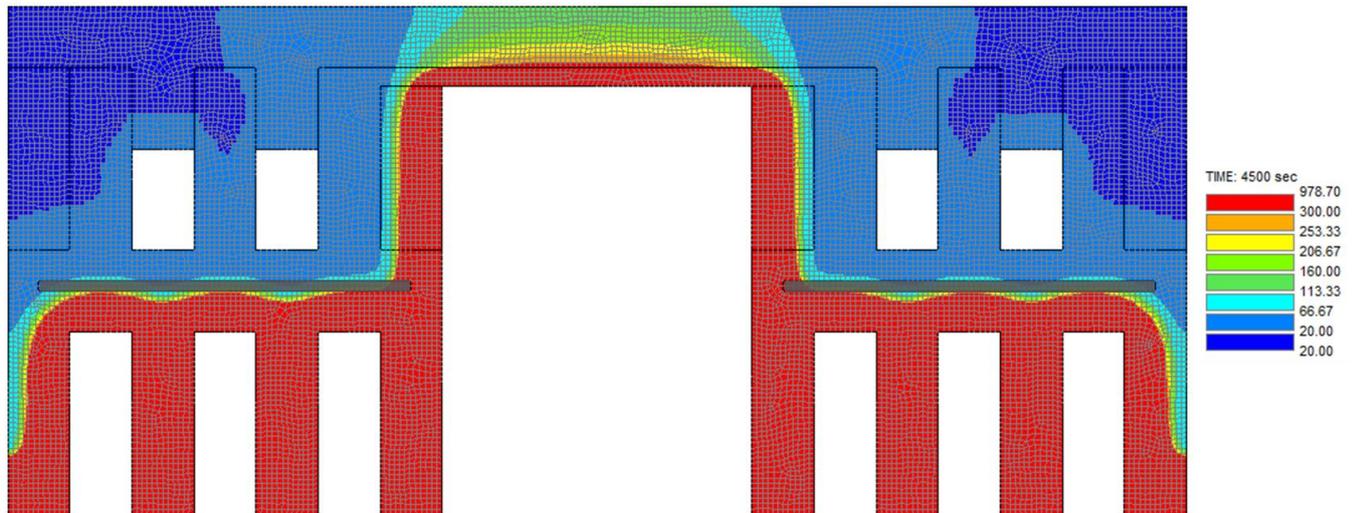


Figure 32 : Le front de carbonisation atteint la position des vis après 75 minutes d'exposition au feu ISO d'après les calculs aux éléments finis

Les résultats du calcul de transfert thermique par éléments finis dans la section du plancher SOLIVIUM MIXTE® ont permis de conclure que la méthode analytique proposée pour déterminer la section résiduelle et la position du front de carbonisation donne des valeurs cohérentes.

Ainsi, d'après la durée de résistance au feu calculée dans le paragraphe 2.7.1 et le degré coupe-feu calculé dans le paragraphe 2.7.2, la configuration étudiée du plancher SOLIVIUM MIXTE® présente un classement au feu **REI60**. Ce classement n'est valable que si le calcul montre que la section résiduelle du plancher est capable de résister aux efforts de sollicitation.

2.8. Exemple d'application 4 : Détermination de la section résiduelle du plancher HERCU.III.E®

Dans cet exemple, nous considérons un plancher HERCU.III.E® composé de 4 poutres avec des planches en lamellé-collé décalées en créneaux sur la hauteur, espacées de 440 mm et recouvertes d'un complexe de sol de type 4 (Tableau 9). Le complexe de sol est composé d'un panneau bois 3 plis de 45 mm d'épaisseur, un panneau en laine de roche de 45 mm d'épaisseur, d'une plaque de plâtre BA13 et d'un revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur. Chaque poutre est composée de 4 planches de section 80 mm x 320 mm et de 3 planches intermédiaires de section 80 mm x 100 mm (Figure 34 et Tableau 22). Les planches intermédiaires sont positionnées à une distance $p = 80$ mm de la face inférieure des planches principales et sont fixées par le biais de vis positionnées à 50 mm de leur face inférieure.

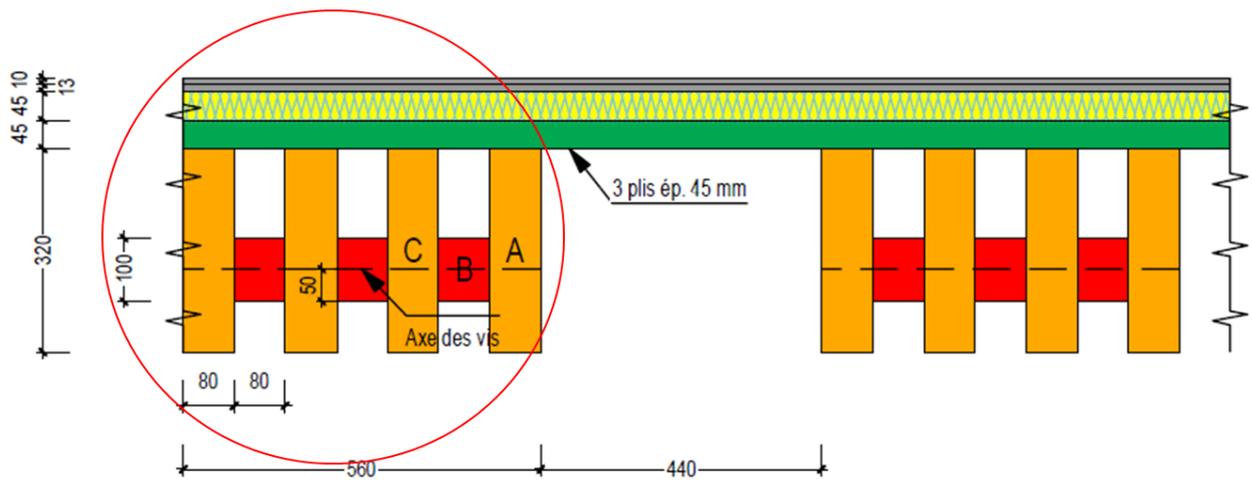


Figure 33 : Configuration du plancher HERCU.III.E® étudié

b	80	mm
h	320	mm
p	80	mm
H_planches B	100	mm
B_Module	560	mm
j	440	mm
d	50	mm

Tableau 22 : Paramètres de la configuration d'étude

2.8.1. Détermination de la section résiduelle du plancher

La détermination de la section résiduelle du plancher HERCU.III.E® est effectuée sur les poutres centrales (cerclées de rouge sur la Figure 33). Les poutres centrales représentent en effet la partie la plus défavorable à considérer lors du dimensionnement du fait qu'elles soient sollicitées au feu suivant les 3 faces. La combustion des planches en situation d'incendie s'effectue de 3 façons différentes, selon la position des planches dans le plancher, comme le décrit la Figure 34.

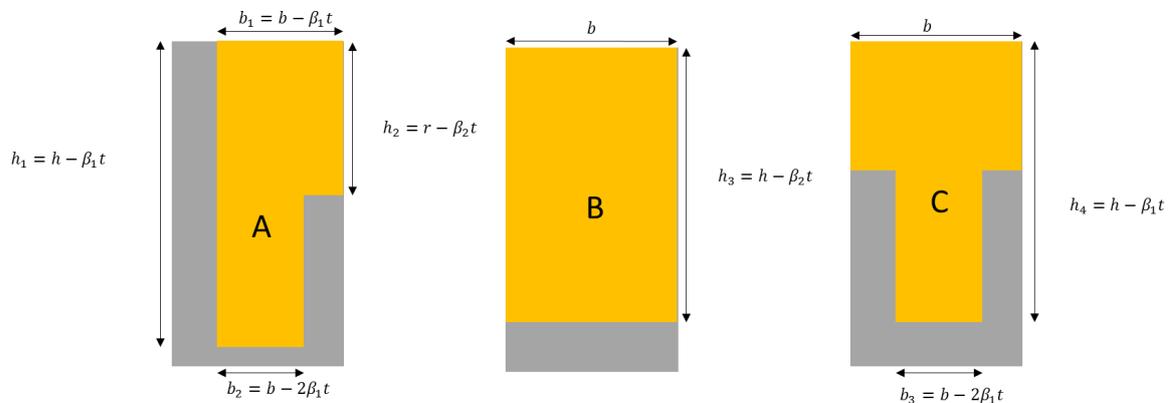


Figure 34 : Combustion des planches dans la dalle en fonction de leurs positions

La section résiduelle des poutres en situation d'incendie peut être déterminée en utilisant les équations présentées sur la Figure 34. Si le calcul démontre que la section résiduelle du plancher demeure capable de résister aux efforts de sollicitation, une vérification de la position du front de carbonisation vis-à-vis de la position des vis d'assemblage reste essentielle pour vérifier l'intégrité de l'assemblage des planches.

Ainsi, la durée de résistance au feu du plancher correspond au moment à partir duquel le front de carbonisation atteint la position des vis d'assemblage. 2 scénarios sont alors possibles (Figure 35) :

1. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir de la partie inférieure des planches
2. Arrivée du front de carbonisation à la position des vis à partir du bas des planches intermédiaires

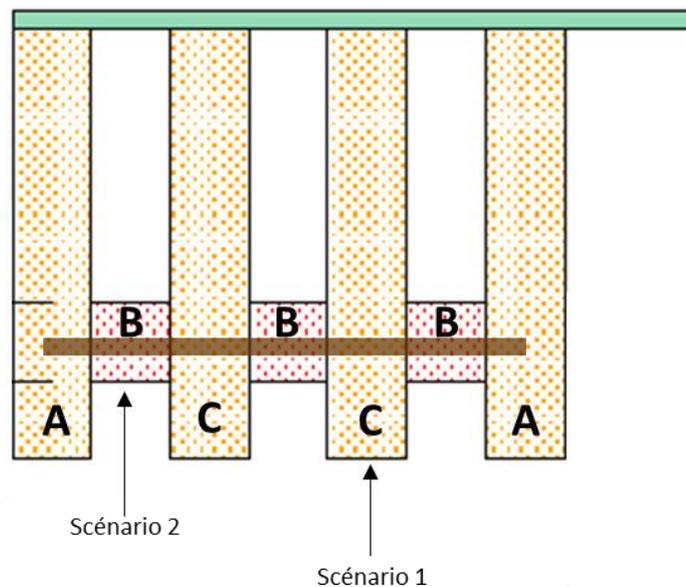


Figure 35: Scénarios d'atteinte du critère de résistance au feu sur le plancher HERCU.III.E®

Ainsi, le temps de résistance au feu du plancher peut être déterminé à partir de l'équation (14) ci-dessous

$$t_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{\beta_2} = \frac{50}{0.5} = 100 \text{ min} \\ \frac{(p+d)}{\beta_1} = \frac{(80+50)}{0.7} = 185 \text{ min} \end{array} \right. \quad (14)$$

Avec

t_s : temps nécessaire pour atteindre la position des vis d'assemblage

d : La position des vis d'assemblage par rapport à la face inférieure de la planche intermédiaire

p : La distance entre la face inférieure des planches A et C et la face inférieure des planches intermédiaires

h : Hauteur des planches

β_1 : La vitesse de combustion des planches principales ($\beta_1 = 0.7 \text{ mm/min}$)

β_2 : La vitesse de combustion des planches intermédiaires ($\beta_2 = 0.5 \text{ mm/min}$)

Cependant, ces valeurs sont uniquement valables dans le cas où les planches A et C restent en place pendant toute la durée d'exposition au feu. En se référant au calcul de la section résiduelle, et en utilisant les équations

de la Figure 35, on s'aperçoit que l'épaisseur des planches A et C est entièrement consommée après 57 minutes d'exposition au feu.

Ainsi, à partir de 57 minutes d'exposition au feu, la cavité réduisant initialement l'apport en oxygène disparaît complètement. Par conséquent, le front de carbonisation avance avec une vitesse de **0.7 mm/min** sur la partie basse de la planche haute.

Le moment où le front de carbonisation atteint la position des vis peut être déterminé en utilisant les équations (15) et (16) ci-dessous :

Hauteur des planches B carbonisée avant la disparition de l'épaisseur des planches C :

$$h_3 = h_{\text{planches B}} - \beta_2 t_1 = 100 - (0.5 * 57) = 71.5 \text{ mm} \quad (15)$$

Hauteur des planches B carbonisée après la disparition du créneau :

$$h'_3 = h_3 - \beta_1(t - t_1) = 71.5 - 0.7 * (t - 57) \quad (16)$$

Le front de carbonisation atteint la position des vis quand $(h_{\text{planches B}} - h'_3)$ devient égale à $d = 50 \text{ mm}$, c'est-à-dire pour $h'_3 = 50 \text{ mm}$. Tout calcul fait, on trouve **$t_s = 88 \text{ minutes}$** .

2.8.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol

Cette partie s'intéresse à l'étude du degré coupe-feu du complexe de sol mis en œuvre sur la configuration étudiée du plancher HERCU.III.E®. Le complexe de sol mis en place est de type 4, selon le Tableau 9 de ce document, et se compose de bas en haut de :

- Un panneau 3 plis bois massif de 45 mm d'épaisseur,
- Un panneau en laine de roche de 45 mm d'épaisseur de densité 36 kg/m³,
- Une chape sèche en plaque de plâtre BA13,
- Un revêtement de sol de 10 mm.

La détermination du critère coupe-feu de ce complexe de sol est effectuée suivant la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings », en utilisant les équations présentées dans le §2.4.2 de ce document. Le revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur posé sur la plaque de plâtre n'est pas pris en compte dans le calcul du degré coupe-feu du complexe de sol.

Ainsi, en appliquant cette méthode, le complexe panneau 3 plis en bois massif de 45 mm associé à un panneau en laine de roche de 45 mm d'épaisseur et une plaque de plâtre BA13 permet d'assurer un degré coupe-feu total de l'ordre de 81 minutes (Annexe 3), soit classement coupe-feu EI60.

Des calculs de transfert thermique dans la section du plancher HERCU.III.E® ont été effectués sur un logiciel aux éléments finis SAFIR2016, permettant de prendre en compte les fortes non-linéarités des propriétés thermo-physiques des matériaux. Ces calculs ont permis de comparer les résultats à ceux obtenus par la méthode analytique présentée dans cette appréciation de laboratoire.

La Figure 36 présente les champs de température dans la section de la configuration étudiée du plancher HERCU.III.E® à 61 minutes d'exposition au feu ISO. La Figure 36 montre que d'après les calculs aux éléments finis et à ce moment de sollicitation au feu, la totalité de la largeur des planches A et C se trouvant en dessous des cales est complètement carbonisée.

Le calcul du transfert thermique dans la section du plancher par un modèle aux éléments finis a montré que le front de carbonisation atteint la position des vis après 96 minutes d'exposition au feu, soit pour une durée d'exposition au feu supérieure à celle obtenue par calcul analytique.

Par ailleurs, le calcul du transfert thermique par éléments finis a permis également de vérifier que la température à la face non exposée au feu du complexe de sol est de l'ordre de 75°C pour 96 minutes d'exposition au feu, et donc bien inférieure à 160°C.

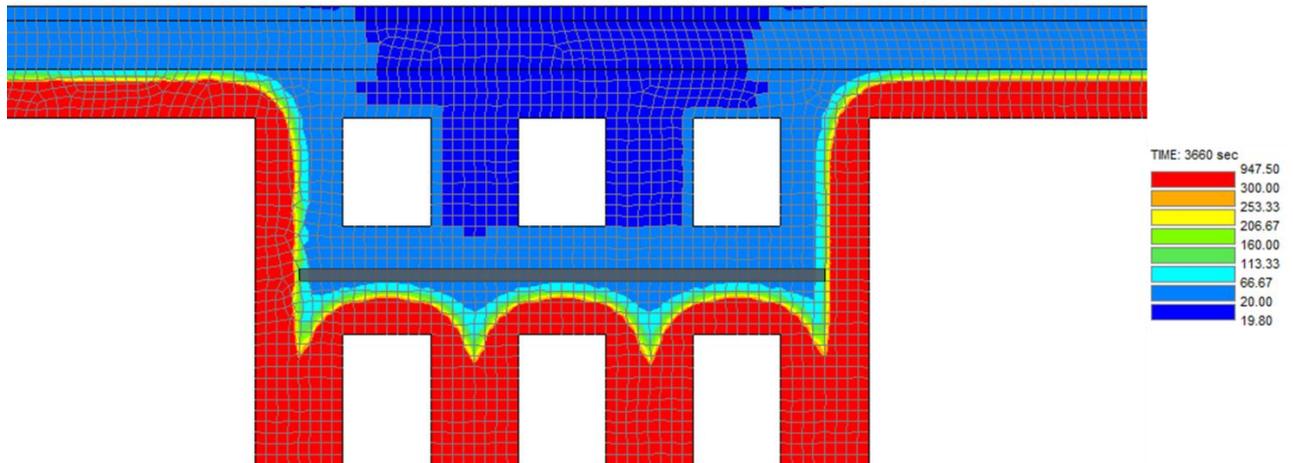


Figure 36: Disparition du créneau sur le plancher HERCU.III.E® étudié après 61 minutes d'exposition au feu

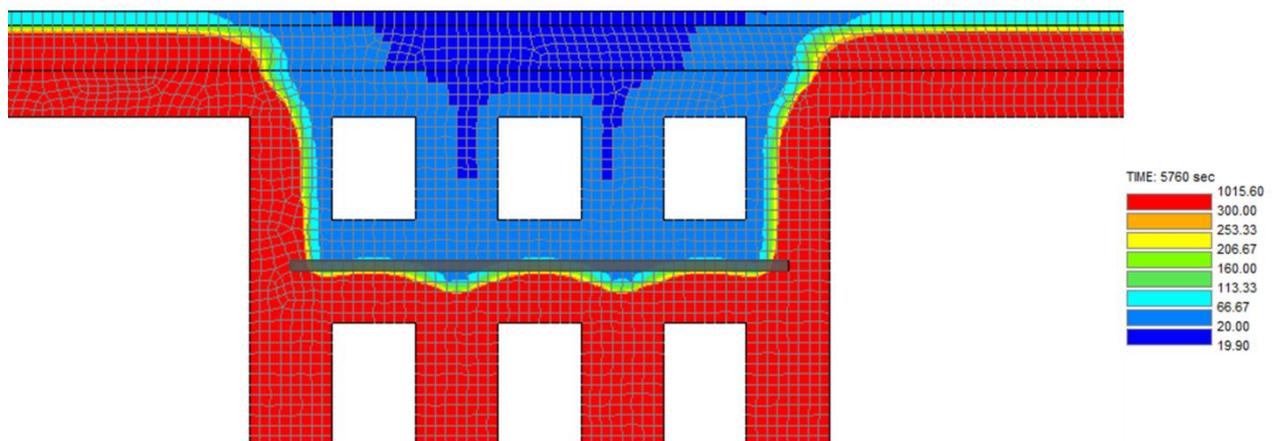


Figure 37 : Le front de carbonisation atteint la position des vis après 96 minutes d'exposition au feu ISO d'après les calculs aux éléments finis

Les résultats du calcul de transfert thermique par éléments finis dans la section du plancher HERCU.III.E® ont permis de conclure que la méthode analytique proposée pour déterminer la section réduite et la position du front de carbonisation donne des valeurs cohérentes et sécuritaires.

D'après la durée de résistance au feu calculée dans le paragraphe 2.8.1 et le degré coupe-feu du complexe de sol calculés dans le paragraphe 2.8.2, la configuration du plancher HERCU.III.E® étudié présente un classement au feu **REI60**. Ce classement n'est valable que si le calcul montre que la section résiduelle du plancher est capable de résister aux efforts de sollicitation.

2.9. Exemple d'application 5 : Détermination de la section résiduelle du plancher O'PORTUNE® avec des planches alignées

Cet exemple traite un cas particulier de planchers O'PORTUNE® avec des planches alignées. Dans le cadre de cet exemple, nous considérons un plancher composé de planches en bois massif de section 60 mm x 240 mm, assemblées entre-elles par des vis positionnées à 90 mm de la face inférieure des planches. Les

planches sont couvertes par un complexe de sol de type 1 (Tableau 9) composé d'un panneau OSB de 12 mm d'épaisseur, un panneau en laine de roche de 20 mm d'épaisseur, une chape en béton de 60 mm d'épaisseur et un revêtement de sol de 10 mm d'épaisseur.

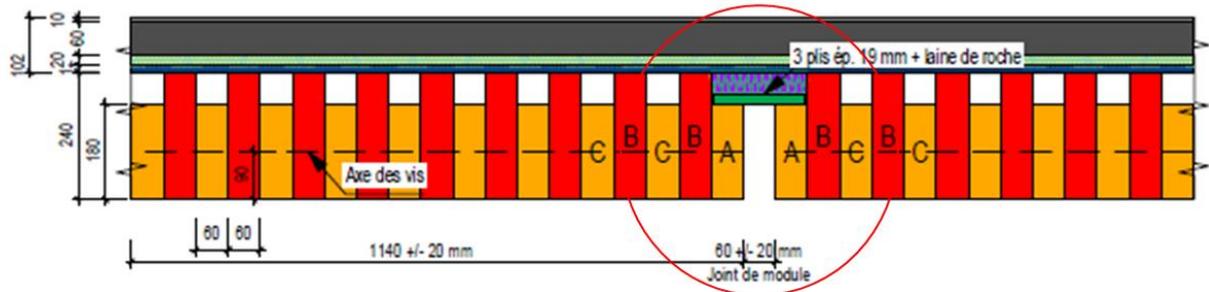


Figure 38 : Configuration du plancher O'PORTUNE® avec des planches alignées

2.9.1. Détermination de la section résiduelle du plancher

Dans ce cas de plancher, les planches sont sollicitées au feu uniquement suivant leur face inférieure. Comme toutes les planches sont positionnées à la même hauteur, la vitesse de combustion à considérer pour la détermination de la section résiduelle du plancher est 0.8 mm/min. Ainsi, la méthode de calcul de la section résiduelle est donnée par la formule sur la Figure 39 suivante.

Le temps de résistance au feu du plancher avec des planches alignées peut être déterminé à partir de l'équation (15) ci-dessous :

$$t_s = \frac{d}{\beta} = \frac{90}{0.8} = 112.5 \text{ min} \quad (15)$$

Avec

t_s : temps nécessaire pour atteindre la position des vis d'assemblage

d : La position des vis d'assemblage par rapport à la face inférieure des planches

h : Hauteur des planches

β : La vitesse de combustion des planches ($\beta = 0.8 \text{ mm/min}$)

Le temps de résistance au feu donné par l'équation (15) suppose bien évidemment, que la section résiduelle du plancher permet de résister aux efforts de sollicitation.

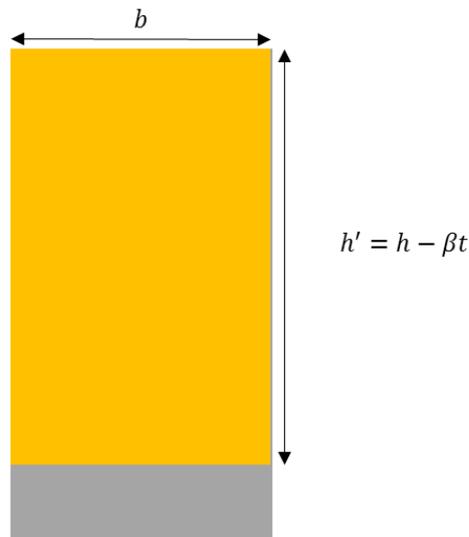


Figure 39 : Combustion des planches dans le cas de planches alignées

2.9.2. Détermination du degré coupe-feu du complexe de sol

Cette partie s'intéresse à l'étude du degré coupe-feu du complexe de sol mis en œuvre sur la configuration étudiée du plancher O'PORTUNE®. Le complexe de sol mis en place est de type 1, selon le Tableau 9 de ce document, et se compose de bas en haut de :

- Un panneau OSB de 12 mm d'épaisseur,
- Un panneau en laine de roche de 20 mm d'épaisseur,
- Une chape en béton de 60 mm d'épaisseur,
- Un revêtement de sol de 10 mm.

La détermination du critère coupe-feu de ce complexe de sol est effectuée suivant la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings », en utilisant les équations présentées dans le §2.4.2 de ce document. Le complexe de sol de 10 mm d'épaisseur posé sur la chape en béton n'est pas pris en compte dans le calcul du degré coupe-feu.

Ainsi, en appliquant cette méthode, le complexe panneau OSB 12 mm associé à un panneau en laine de roche de 20 mm d'épaisseur et une chape en béton de 60 mm d'épaisseur permet d'assurer à eux-seuls un degré coupe-feu total de l'ordre de 56 minutes (Annexe 4). Ce résultat est obtenu en combinant les résultats obtenus avec la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings » pour le panneau OSB et la laine de roche, avec les degrés coupe-feu donnés dans le Tableau 18 pour la chape en béton. Il faut noter que ce raisonnement conduit à des résultats sécuritaires.

Ainsi, d'après la durée de résistance au feu calculée dans le paragraphe 2.9.1 et le degré coupe-feu du complexe de sol et du plancher calculé dans le paragraphe 2.9.2, la configuration du plancher étudié présente un classement au feu **REI90**. Ce classement n'est valable que si le calcul montre que la section résiduelle du plancher est capable de résister aux efforts de sollicitation.

3. CONCLUSIONS

La présente appréciation de laboratoire porte sur l'étude du comportement au feu des planchers de grande portée développés par Concepts Bois Structure.

Ce document présente les vitesses de combustion à considérer lors du dimensionnement au feu des planchers, en se basant sur des résultats expérimentaux fournis par le demandeur. L'étude a permis d'établir des vitesses de combustion en fonction de la position des planches dans le plancher et de l'espacement entre-elles. L'étude a mis en évidence que la chute de planches périphériques ou de joints de module, et la combustion complète des planches basses, entraînent l'accélération de la combustion au niveau des planches hautes.

La présente appréciation de laboratoire élabore une méthode de calcul de la section résiduelle des planches, permettant la vérification de la tenue au feu des planchers, en utilisant la méthode de la section réduite de l'Eurocode 5 partie 1-2. La résistance au feu des planchers a été calculée en supposant que les planches hautes demeurent en place pendant toute la durée de l'incendie.

Cette appréciation de laboratoire présente également la méthode du guide « Fire Safety in Timber Buildings », permettant de déterminer le critère coupe-feu des complexes de sol, mis en œuvre sur les planchers. Le degré coupe-feu total des planchers est alors déterminé en additionnant le degré coupe-feu du complexe du sol au degré coupe-feu minimal assuré par les planches en bois, et/ ou la dalle en béton et le joint de module.

Enfin, ce document fournit cinq exemples d'application de la méthode de détermination des performances au feu de quelques planchers développés par Concepts Bois Structure. Les résultats obtenus par la méthode de calcul ont été confrontés à des calculs numériques par éléments finis, réalisés sur le logiciel SAFIR2016. La comparaison des résultats a permis de mettre en évidence la cohérence des résultats fournis par la méthode de calcul proposée dans ce document, et de conclure sur son aspect sécuritaire.

Remarque

Les autres exigences applicables aux planchers en bois ne font pas l'objet de cette appréciation de laboratoire. Il appartient au titulaire du document de vérifier en fonction des projets et de la destination des systèmes leur conformité aux exigences applicables des règlements de sécurité contre l'incendie en vigueur (réaction au feu, etc.).

L'acceptation et l'utilisation de cette appréciation engagent le demandeur sur l'exactitude des informations communiquées et utilisées par le laboratoire pour établir la présente appréciation. La conformité des réalisations des chantiers n'est pas vérifiée par le laboratoire de résistance au feu.

Annexe(s)

