

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3124_V1

ATEx de cas a

Validité du 25/11/2022 au 30/11/2024



Copyright : Société CRUARD Charpente

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. (*extrait de l'art. 24*)

A LA DEMANDE DE :

Société CRUARD Charpente
5 Rue des sports, 53360 SIMPLE

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3124_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de plancher mixte bois/béton en tant qu'élément porteur de toitures étanchées.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 25/11/2022, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : Société CRUARD Charpente
- Technique objet de l'expérimentation : Procédé de planchers mixte bois/béton utilisés en planchers support d'étanchéité. L'utilisation du procédé est destinée en climat plaine aux :
 - Toitures-terrasses inaccessibles, avec chemins ou aires de circulation éventuelle, sans rétention temporaire d'eaux pluviales ;
 - Toitures-terrasses avec procédés d'étanchéité photovoltaïques sous Avis Technique ou ATEX en cours de validité visant les éléments porteurs béton (modules souples, modules rigides sur plots ou sur rails) ;
 - Toitures-terrasses techniques ou à zones techniques ;
 - Toitures-terrasses végétalisées ;
 - Toitures-terrasses jardins, avec une épaisseur de terre limitée à 60 cm ;
 - Toitures-terrasses accessibles aux piétons et au séjour avec protection par dalles sur plots.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3124_V1 et résumée dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **30 novembre 2024**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulés au §4.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Les planchers peuvent être utilisés en tant que planchers porteurs entrant dans la composition d'ouvrage et assurant la fonction diaphragme de ces ouvrages et support d'étanchéité.

Les raideurs et les résistances de la connexion ont été vérifiées par des essais push-out.

Le dimensionnement du système est réalisé conformément à la norme NF EN 1995-1-1 et à son annexe B. Sur la base des notes de calculs fournies et des essais réalisés, il a été vérifié que le plancher mixte était correctement dimensionné vis-à-vis des différents efforts statiques.

1.2 – Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants est considérée comme normalement assurée moyennant l'utilisation des dispositifs de manutention et le respect des prescriptions décrits dans le dossier technique.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

La vérification du plancher en situation d'incendie est menée en ne considérant pas la connexion bois-béton. Dans ce cas, seules les solives bois sont vérifiées pour satisfaire au critère de stabilité au feu « R ». Le calcul est réalisé conformément à la norme NF EN 1995-1-2.

Le degré coupe-feu « EI » est vérifié par application de la norme NF EN 1992-1-2 pour la dalle de béton lorsque celle-ci constitue la totalité de l'isolement au feu. Le degré coupe-feu du plancher est subordonné à sa stabilité au feu pour un degré au moins égal.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3124_V1

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Le domaine d'emploi du procédé est limité à une utilisation en France métropolitaine pour des catégories d'importance I, II, III, IV, situés zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Le plancher mixte bois/béton HYBRIDAL fait l'objet d'un autocontrôle lors de sa fabrication. Les solives sont usinées par la société CRUARD Charpente et la réalisation de la dalle de compression par la société JOUSSELIN ou, dans le cas d'une réalisation complète dans l'usine de CRUARD Charpente, par la société Low Concrete Technologies.

Le Plan d'Assurance Qualité des usines a été fourni par le demandeur.

Le procédé HYBRIDAL fait également l'objet d'un contrôle externe réalisé par le CSTB dans le cadre d'un suivi d'ATEX.

2.2 – Mise en œuvre

La mise en œuvre des planchers mixtes peut être réalisée par la société CRUARD Charpente ou toute autre entreprise de maçonnerie – gros œuvre ou de charpente bois/métallique avec l'assistance de la société CRUARD Charpente.

La mise en œuvre du complexe d'étanchéité doit être assurée par des entreprises d'étanchéité qualifiées, ayant reçu une formation aux techniques de pose des procédés utilisés, après pontage des joints entre caissons HYBRIDAL.

Un Plan d'Assurance Qualité au chantier a été établi et intègre les éléments techniques spécifiques au procédé (réception des planchers, conditions de réception des supports, tolérances, détails des points singuliers).

2.3 – Assistance technique

La conception est réalisée exclusivement par le bureau d'étude de l'entreprise CRUARD Charpente.

3°) Risques de désordres

Le procédé ne présente pas de risques de désordres particuliers, dans les conditions normales d'utilisation.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Respecter les modalités de coulage du béton de la poutre porteuse en bois, dans le cas d'une pose du plancher HYBRIDAL sur poutre bois.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

Conclusion FAVORABLE

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est probable,
- Les désordres sont minimes.

Champs sur Marne, le 25 novembre 2022
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3124_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société CRUARD Charpente - 5 Rue de sports, 53360 SIMPLE

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Le procédé HYBRIDAL est un plancher mixte bois-béton préfabriqué ayant pour dimensions standards 2,40 m de largeur et de 6,00 à 15,00 m de longueur. Ces dalles sont composées des éléments suivants :

- De solives en bois massif conformes à la norme NF EN 14081-1 ou en lamellé-collé conformes à la norme NF EN 14080 (les classes de résistances des solives sont d'au minimum GL24h pour le lamellé collé et C20 ou D30 respectivement pour les bois massifs résineux et les feuillus) ;
- D'une résine époxy bi-composant BOSTIK Eponal 371 V1. Cette résine, n'étant pas utilisée pour le collage structural bois/bois, elle ne relève pas de la norme NF EN 15425 ;
- De sable siliceux de granulométrie comprise entre 0,8 et 1,8 mm pour la connexion bois-béton ;
- D'armatures conformes aux exigences décrites dans la norme NF EN 1992-1 et son annexe C.
- D'une dalle de compression d'au moins 7 cm. Le béton utilisé est de classe de résistance minimale C40/50 selon la norme NF EN 206/CN. La dimension maximale du granulat est de 16 mm et la classe de consistance du béton peut être S3, S4 ou béton autoplaçant.

Des panneaux formant un platelage sont disposés entre les solives et n'ont pas d'autre fonction que de former le fond de coffrage de la dalle en béton. Ce fond de coffrage peut être de natures différentes :

- Des panneaux OSB selon norme NF EN 300 d'octobre 2006 ;
- Des panneaux de contreplaqué selon la norme NF EN 636+A1 de mai 2015 ;
- Des panneaux de particules P5 et P7 selon la norme NF EN 312 de novembre 2010 ;
- Ou tout autre panneau structural couvert par une norme produit.

Le procédé est assimilé à un élément porteur de type D suivant la norme NF DTU 20.12.

Le procédé est destiné aux bâtiments à usage d'habitation ou de bureaux sur le territoire métropolitain entrant dans le champ réglementaire des 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} famille (a et b), bâtiments industriels, Etablissements Recevant du Public (ERP) en réhabilitation (remplacement du plancher existant) ou en construction neuve, soumis exclusivement à des charges statiques ou quasiment statiques (en comprenant par ces dernières les effets dynamiques courants dus au déplacement des personnes et des appareils légers qui ne produisent pas de vibrations) pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, D1 et E1 au sens de la norme NF EN 1991-1-1 et pour des charges ponctuelles limitées à 5 kN.

Les planchers HYBRIDAL sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible et moyenne hygrométrie avec un $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$ selon le cahier du CSTB N°3567, avec :

- W = quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
- n = taux horaire de renouvellement d'air.

Le procédé ne vise pas l'utilisation en DROM-COM.

Le procédé peut être utilisé sur des structures en bois ou en béton/maçonnées.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2856_V1.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 37 pages.

Plancher mixte en bois et béton HYBRIDAL® Élément porteur de toitures étanchées.

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 25 novembre 2022

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3124_V1

Fin du rapport

ATEx de cas a n° 3124_V1

Dossier Technique

**Plancher mixte en bois et béton HYBRIDAL®
Elément porteur de toitures étanchées**

A LA DEMANDE DE :

Société CRUARD Charpente

5 Rue des sports, 53360 SIMPLE

Table des matières

1	Description du plancher HYBRIDAL®	6
1.1	Description succincte	6
1.2	Fixations.....	6
1.3	Pianotage.....	6
1.4	Ouverture de joint aux appuis de plancher.....	6
1.5	Désaffleure entre éléments de planchers et état de surface.....	6
1.6	Résistance thermique.....	7
2	Domaine d'emploi en élément porteur de toitures étanchées	7
3	Caractéristiques des composants du plancher HYBRIDAL®	8
3.1	Solives en bois	8
3.2	Colle utilisée pour la connexion bois-béton	8
3.3	Sable utilisé pour la connexion bois-béton	8
3.4	Béton utilisé pour la dalle de compression	8
3.5	Armature de la dalle de compression	9
3.6	Panneaux de coffrage.....	9
4	Principes de fabrication des planchers et de contrôle de cette fabrication	9
4.1	Description du processus de fabrication des planchers.....	9
4.1.1	Variante de préfabrication n°1 : réalisation des caissons bois à l'Usine CRUARD Charpente et bétonnage à l'Usine JOUSSELIN	9
4.1.2	Variante de préfabrication n°2 : réalisation complète des caissons à l'Usine CRUARD Charpente.....	11
4.1.3	Variante de préfabrication n°3 : réalisation des éléments constitutifs du squelette bois à l'usine CRUARD Charpente, assemblage du caisson bois et bétonnage dans une usine agréée. 11	
4.2	Description du système de contrôle de production et du suivi éventuel par tierce partie ..	12
5	Dispositions constructives des planchers.....	12
5.1	Description des planchers : gamme d'épaisseurs, de portées.	12
5.2	Description des modalités d'ouvertures dans les planchers.....	12
5.3	Description du collage entre bois et béton	13
5.4	Description des jonctions entre planchers et supports	13
5.5	Description des interfaces avec les éléments de second œuvre	16
5.6	Description des incorporations de gaines et fourreaux.....	16
5.7	Description du plancher permettant d'assurer un bon comportement hygrothermique de la paroi	16
5.8	Description des modalités de réalisation des appuis de continuité.....	17

5.9	Principes de justifications permettant d'atteindre les performances vis-à-vis de la sécurité incendie	17
5.10	Systèmes de fixation.....	17
6	Organisation de la mise en œuvre	18
7	Principes de dimensionnements :	19
7.1	Cas général (pente $\geq 1\%$).....	19
7.2	Cas des toitures à pente nulle (Pente $< 1\%$).....	19
8	Matériaux spécifiques pour l'emploi d'HYBRIDAL® en élément porteur de toiture étanchée.....	19
8.1	Traitement des joints entre éléments HYBRIDAL® par l'entreprise en charge de la pose des planchers :	19
8.2	Bande de pontage des joints	19
8.3	Pare-vapeur	19
8.4	Isolant	20
8.5	Revêtement d'étanchéité.....	20
8.6	Protection des parties courantes	20
9	Réception et préparation des planchers	21
9.1	Traitement des joints entre éléments HYBRIDAL®	21
9.2	Réception du support par l'étancheur	21
9.3	Préparation du support avant la mise en œuvre du complexe d'étanchéité	21
10	Points singuliers.....	22
10.1	Reliefs support de relevé.....	22
10.2	Gestion des eaux pluviales	26
10.3	Trop-plein :	27
10.4	Joints de dilatation	27
10.5	Seuils.....	27
10.6	Jardinières	27
10.7	Traversées	27
10.8	Piètements techniques de charges lourdes	27
10.8.1	Principe de justification des platines de support en toiture avec tiges traversantes et contre-plaque :	27
10.8.2	Principe de justification des platines de support en toiture avec fixations spécifique béton :	29
11	Spécificités des toitures végétalisées	30
11.1	Généralités	30
11.2	Dimensionnement	30
11.3	Points singuliers.....	30
12	Spécificités des toitures jardin	30

12.1	Généralités	30
12.2	Dimensionnement	30
12.3	Points singuliers.....	31
13	Habillage ou plafond suspendu	31
14	Assistance technique.....	31
15	Résultats expérimentaux.....	31
Annexe 1 : Principe de dimensionnement		33

Traçabilité du document

Version	Description	Rédigé par	Approuvé par	Date
1	Création du Dossier Technique	T. Brebion	F. Lefevre	18/10/2022
2	Modifications suite remarques du Comité d'Atex du 25/11/2022.	T. Brebion	F. Lefevre	08/12/2022
3	Cette révision intègre les modifications suivantes : - Ajout de la traçabilité du document ; - Ajout des flèches actives au §7.1.	T. Brebion	F. Lefevre	06/01/2023

1 Description du plancher HYBRIDAL®

1.1 Description succincte

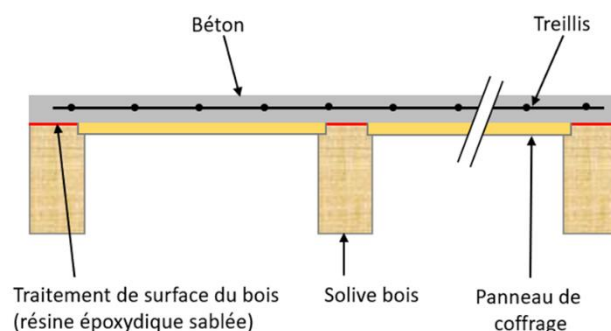
Le procédé HYBRIDAL® est un plancher mixte bois-béton réalisé à partir d'éléments préfabriqués en usine ayant pour dimensions typiquement de 2,40 m à 3 m de largeur et de 6,00 à 15,00 m de longueur. Ces dimensions sont adaptées selon la configuration du chantier.

Chaque élément est constitué d'un squelette en bois (solives) en partie tendue et d'une dalle de compression en béton armé d'au moins 7 cm en partie supérieure. L'ensemble est liaisonné et forme un caisson.

L'entraxe entre les solives bois peut varier jusqu'à 1,35 m. Cette dimension est adaptée selon la configuration du chantier.

La liaison bois-béton est assurée par l'intermédiaire d'un traitement de surface du bois avant coulage du béton. Ce traitement consiste à appliquer une couche de résine époxydique sablée à refus sur la face supérieure des solives qui sera en contact avec le béton.

Des panneaux formant un platelage sont disposés entre les solives et n'ont pas d'autre fonction que de former le fond de coffrage de la dalle en béton.



1.2 Fixations

Les éléments de planchers HYBRIDAL® sont fixés entre eux par couturage, des solives de rives, réalisé à l'aide de vis ASSY Kombi de la société WURTH (ou équivalent). Ces vis disposent d'un ETA et sont justifiées mécaniquement.

1.3 Pianotage

Les éléments de plancher HYBRIDAL® étant fixés entre eux par un couturage des solives de rives, les mouvements relatifs de deux panneaux juxtaposés sont bloqués mécaniquement.

1.4 Ouverture de joint aux appuis de plancher

L'ouverture de joints au droit des appuis des éléments préfabriqués HYBRIDAL® est estimé à 0,2 mm (sur la base de la rotation aux appuis induite par les déformées à long terme calculées).

1.5 Désaffleure entre éléments de planchers et état de surface

Le désaffleure entre éléments préfabriqués HYBRIDAL® est quasi-nul du fait de la connexion mécanique des solives de rive.

Les éléments HYBRIDAL® présentent un état de surface « surfacé » selon le § 9.2.2 du NF DTU 21 P1-1.

1.6 Résistance thermique

La résistance du plancher HYBRIDAL® dépend de la nature et de l'épaisseur du fond de coffrage et de la dalle béton.

Par exemple, pour un plancher composé d'une dalle béton de 70 mm et d'un fond de coffrage OSB 3 de 15 mm, la résistance thermique du complexe est de 0,194 m²K/W

2 Domaine d'emploi en élément porteur de toitures étanchées

Cette ATEx vise l'utilisation des planchers HYBRIDAL® en tant qu'élément porteur de toitures étanchées. Il ne traite pas de leur utilisation en plancher intermédiaire.

Les critères de dimensionnement structurel des planchers HYBRIDAL® permettent d'assimiler les planchers mixte bois/béton HYBRIDAL® à des planchers porteurs en béton de type D au sens du NF DTU 20.12.

Le procédé HYBRIDAL® peut être utilisé en France métropolitaine (DROM exclus), en climat de plaine, comme élément porteur de toitures chaudes uniquement (toitures froides ventilées exclues), pour des toitures présentant une pente maximale de 5 %, pente nulle comprise.

Le procédé HYBRIDAL® est destiné aux toitures :

- Toitures-terrasses inaccessibles, avec chemins ou aires de circulation éventuelle, sans rétention temporaire d'eaux pluviales.
- Toitures-terrasses avec procédés d'étanchéité photovoltaïques sous Avis Technique ou ATEx en cours de validité visant les éléments porteurs béton (modules souples, modules rigides sur plots ou sur rails).
- Toitures-terrasses techniques ou à zones techniques.
- Toitures-terrasses végétalisées.
- Toitures-terrasses jardins, avec une épaisseur de terre limitée à 60 cm.
- Toitures-terrasses accessibles aux piétons et au séjour avec dalles sur plots.

La pente minimum en fonction de la destination de toiture doit respecter les prescriptions du NF DTU 43.1. En toiture végétalisée, la pente nulle est admise.

La fixation mécanique des complexes d'étanchéité (isolants, revêtements) est exclue.

L'isolation thermique en dessous des planchers HYBRIDAL est exclue.

L'isolation acoustique est admise, dans la limite du 10^{ème} de l'isolation thermique du complexe d'étanchéité.

La résistance thermique des panneaux isolants support d'étanchéité et d'isolation inversée est donnée dans leur DTA ou Fiches Techniques établies selon les RP de la CSFE « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protections lourde » de juillet 2021 édition n°3.

La résistance thermique des isolants placés sur les plafonds suspendus est donnée pour l'épaisseur donnée dans le certificat ACERMI de l'isolant. A défaut, il y a lieu de se reporter aux Règles Th-Bat.

Le procédé HYBRIDAL® en toiture est limité aux locaux à faible et moyenne hygrométrie.

3 Caractéristiques des composants du plancher HYBRIDAL®

3.1 Solives en bois

- Nature du bois

Les solives utilisées dans le système de plancher mixte peuvent être de type :

- Bois lamellé collé conforme à la norme NF EN 14080 (Août 2013).
- Bois massif résineux conforme à la norme NF EN 14081-1 (Avril 2016).

- Géométrie des poutres

La géométrie des poutres sera rectangulaire. Les sections seront définies suivant les calculs et suivront les standards dimensionnels des fabricants.

- Classe de résistance

La classe de résistance minimale du bois lamellé collé sera GL24 et celle des bois résineux C18.

- Résistance au cisaillement

La résistance caractéristique au cisaillement des bois utilisés dans la fabrication des caissons devra être au minimum égale à celle du GL24h.

La valeur de résistance au cisaillement caractéristique prise en compte dans le calcul sera égale à celle du GL24h.

- Conformité aux exigences de la norme produit, marquage CE

Les bois lamellés collés devront bénéficier d'un système d'Attestation de Conformité de niveau 1, selon les exigences de la norme européenne harmonisée NF EN 14080. Ils devront être marqués CE.

3.2 Colle utilisée pour la connexion bois-béton

- Nature de l'adhésif : résine époxydique bi-composant sans solvant.
- Appellation commerciale / industrielle : BOSTIK® Eponal 371 V1.
- Température de transition vitreuse : 56°C

A noter que le joint de colle n'est pas directement exposé à l'air ambiant. Il est en effet protégé des variations de température de l'air ambiant par la dalle béton au-dessus, par la solive bois au-dessous et par les panneaux de fond de coffrage en feuillure sur ses côtés.

De plus, les planchers HYBRIDAL® sont employés exclusivement à l'intérieur des bâtiments, dans des environnements à température modérée (classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1).

Ceci nous amenant à proposer une limite de température d'utilisation des planchers à Tg-10°C, soit 46°C.

3.3 Sable utilisé pour la connexion bois-béton

- Sable siliceux de granulométrie comprise entre 0,8 et 1,8 mm.

3.4 Béton utilisé pour la dalle de compression

- Béton conforme à la norme NF EN 206/CN.

- Classe de résistance à la compression minimale C40/50.
- Granulométrie : $D_{max} \leq 16\text{mm}$.
- Classe de consistance : S2, S3, S4 ou béton autoplaçant.
- Classe d'exposition minimale : XC1.
- Epaisseur minimale : 70 mm.

3.5 Armature de la dalle de compression

La dalle de compression est armée à minima avec un treillis soudé type PAF C.

3.6 Panneaux de coffrage

Les panneaux utilisés pour le coffrage peuvent être :

- Des panneaux OSB selon norme NF EN 300 d'octobre 2006.
- Des panneaux de contreplaqué selon la norme NF EN 636+A1 de mai 2015.
- Des panneaux de particules P5 et P7 selon la norme NF EN 312 de novembre 2010.
- Ou tout autre panneau structural couvert par une norme produit dans le cadre d'une application en classe de service 1 à 2.

Seuls les panneaux de platelage pouvant être utilisés en milieu humide sont utilisables en fond de coffrage.

De manière générale, seuls les panneaux utilisables pour la classe 2 minimum pourront être employés pour application en classe de service 1 à 2.

4 Principes de fabrication des planchers et de contrôle de cette fabrication

4.1 Description du processus de fabrication des planchers

4.1.1 Variante de préfabrication n°1 : réalisation des caissons bois à l'Usine CRUARD Charpente et bétonnage à l'Usine JOUSSELIN

Etapes de préfabrication 1/2 : réalisation des caissons bois à l'Usine CRUARD Charpente de Simplé (53) :

Etape 1 : débit / usinage des solives bois : mise à longueur les solives et création de feuillures en partie haute sur toute la longueur de la pièce. Ces feuillures seront destinées à recevoir les panneaux de fond de coffrage.

Etape 2 : sablage des solives bois : le sablage consiste à déposer un film de résine époxydique sur la totalité de la face supérieure de la solive, puis d'y appliquer par gravité du sable à refus.

Etape 3 : séchage de la colle et brossage des solives : une fois que la résine époxydique est complètement polymérisée, l'excédent de sable est éliminé sur l'ensemble de la solive bois par brossage.

Etape 4 : assemblage du squelette des caissons : les solives bois sont ensuite assemblées pour former le squelette du caisson.

Etape 5 : réalisation du fond de coffrage : cette opération consiste à fixer des panneaux bois sur le squelette du caisson. Ces panneaux apportent la rigidité nécessaire aux caissons pour les opérations de manutention. Ils serviront également dans un second temps de fond de coffrage pour le coulage du béton.

Etape 6 : les caissons bois sont ensuite mis en colis puis transportés vers l'usine JOUSSELIN Préfabrication.

Etapes de préfabrication 2/2 : bétonnage à l'Usine JOUSSELIN Préfabrication de Chazé-Henry (49) :

Après réception, les caissons bois sont alors préparés dans l'atelier JOUSSELIN Préfabrication pour le bétonnage de la façon suivante :

Etape 7 : mise en place des coffrages latéraux.

Etape 8 : mise en place des armatures de renfort de la dalle de compression.

Etape 9 : fabrication du béton par la centrale à béton de l'usine et coulage de la dalle béton.

Etape 10 : décoffrage après séchage de la dalle béton.

Etape 11 : les caissons sont ensuite mis en colis, stockés puis transportés sur le chantier.

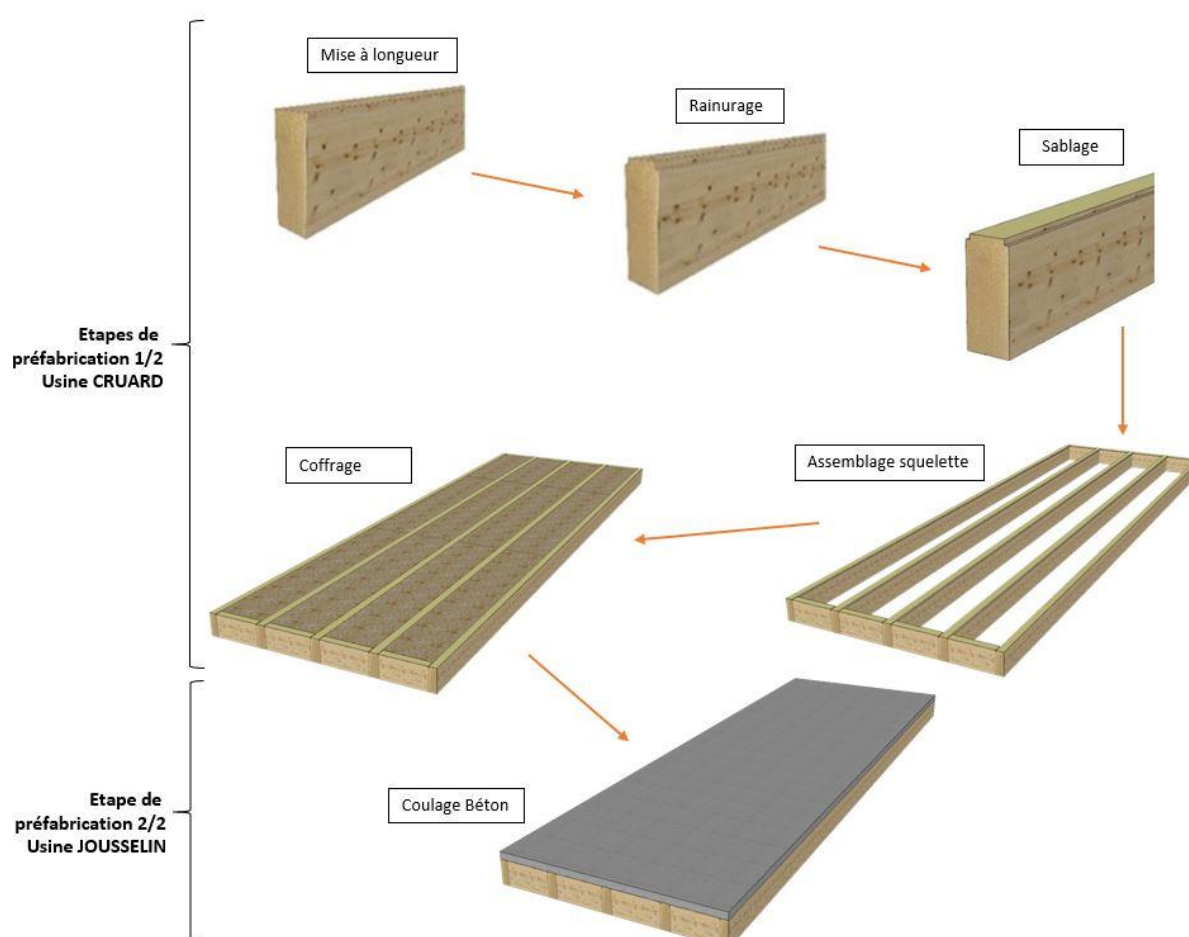


Figure 2: Représentation des différentes phases de fabrication des caissons HYBRIDAL® (variante de préfabrication n°1).

4.1.2 Variante de préfabrication n°2 : réalisation complète des caissons à l'Usine CRUARD Charpente

Pour cette variante, toutes les étapes de préfabrication sont réalisées à l'Usine CRUARD Charpente de Simplé (53).

Le processus de fabrication est identique à la variante n°1, hormis l'étape 6 qui est supprimée.

Production, mise en œuvre et contrôle du béton dans le cas de la variante de préfabrication n°2 :

Le béton sera un BPS produit par une centrale à béton située à proximité de l'usine.

La centrale à béton sera agréée par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

La formule de béton sera validée par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

La Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES assurera la formation du personnel de l'usine CRUARD CHARPENTE au contrôle et à la mise en œuvre du béton.

Les résultats des contrôles réalisés sur les bétons seront collectés par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

4.1.3 Variante de préfabrication n°3 : réalisation des éléments constitutifs du squelette bois à l'usine CRUARD Charpente, assemblage du caisson bois et bétonnage dans une usine agréée.

Pour cette variante, les étapes 1 à 3 sont réalisées à l'Usine CRUARD Charpente de Simplé (53).

Les éléments du squelette bois (solives sablées) sont ensuite mis en colis puis acheminés vers une usine agréée qui réalise l'assemblage du caisson bois, le bétonnage et le transport sur chantier.

Le processus de fabrication est ensuite identique à la variante n°1, hormis l'étape 6 qui est supprimée.

Agrément d'une usine :

Les étapes d'assemblage du caisson bois, de bétonnage et de transport sur chantier peuvent être réalisées par toute usine agréée par CRUARD Charpente et par JOUSSELIN Préfabrication suivant le Plan d'Assurance Qualité Usine associé.

L'agrément fait suite à une visite préalable permettant de s'assurer que le niveau d'équipement de l'usine convient pour la fabrication des planchers HYBRIDAL®.

Les sociétés CRUARD Charpente et JOUSSELIN Préfabrication assureront la formation du personnel de l'usine agréée. Elles sont tenues de lui apporter leur assistance technique lorsqu'elle en fait la demande.

Le maintien de l'agrément est subordonné au respect du plan de contrôle établi.

Production, mise en œuvre et contrôle du béton dans le cas de la variante de préfabrication n°3 :

Le béton sera un BPS produit par une centrale à béton.

La centrale à béton sera agréée par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

La formule de béton sera validée par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

La Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES assurera la formation du personnel de l'usine agréée au contrôle et à la mise en œuvre du béton.

Les résultats des contrôles réalisés sur les bétons seront collectés par la Société LOW CONCRETE TECHNOLOGIES.

4.2 Description du système de contrôle de production et du suivi éventuel par tierce partie

Un plan de contrôle a été mis en place à chaque étape de la production des planchers (voir les PAQ Usine).

Une procédure de contrôle de la qualité du collage bois-béton a été développée sur la base d'essai de cisaillement type push-out statique sur éprouvettes selon les normes NF EN 408 et l'Annexe B de l'EN 1994-1-1 adaptées et la norme NF EN 26891. Celle-ci est détaillée dans les PAQ Usine.

Ces essais push-out ainsi que les essais de résistance à la compression sur éprouvettes de béton sont confiés à un laboratoire interne ou extérieur.

Les caissons ne doivent pas être livrés avant l'obtention des résultats d'essais.

Le contrôle de production fait l'objet d'un suivi par un organisme compétent tiers.

La durée d'archivage des registres de contrôle est de 10 ans.

5 Dispositions constructives des planchers

5.1 Description des planchers : gamme d'épaisseurs, de portées.

La portée varie entre 6m et 15m selon le besoin.

L'épaisseur du plancher varie en fonction des charges d'exploitation définies selon le tableau ci-dessous (à titre indicatif : variable selon critères projet) :

	Portées	6,0 m	6,5 m	7,0 m	7,5 m	8,0 m	8,5 m	9,0 m	9,5 m	10,0 m	10,5 m	11,0 m	11,5 m	12,0 m	12,5 m	13,0 m	13,5 m	14,0 m	14,5 m	15,0 m
Habitation	150 kg/m²	21 cm	27 cm	27 cm	27 cm	27 cm	31 cm	31 cm	35 cm	35 cm	39 cm	39 cm	43 cm	43 cm	43 cm	47 cm	47 cm	51 cm	51 cm	55 cm
Bureaux	250 kg/m²	27 cm	27 cm	27 cm	31 cm	31 cm	35 cm	35 cm	39 cm	39 cm	39 cm	43 cm	43 cm	47 cm	47 cm	51 cm	51 cm	55 cm	55 cm	59 cm
Tertiaire	500 kg/m²	27 cm	31 cm	31 cm	35 cm	35 cm	39 cm	39 cm	43 cm	47 cm	47 cm	51 cm	51 cm	55 cm	55 cm	59 cm	59 cm	63 cm	67 cm	67 cm
	750 kg/m²	31 cm	31 cm	35 cm	39 cm	39 cm	43 cm	43 cm	47 cm	51 cm	51 cm	55 cm	59 cm	59 cm	63 cm	63 cm	67 cm	71 cm	71 cm	75 cm

5.2 Description des modalités d'ouvertures dans les planchers

Trémies et chevêtres :

Lorsque des réservations traversent la dalle, il faut vérifier si cela réduit la largeur de la table de compression mobilisée dans le calcul, et la réduire si nécessaire. De plus, on ajoutera des armatures de renforts en rive de ces réservations, en application des règles usuelles de la norme NF EN 1992-1-1 (Cf Figure 3).

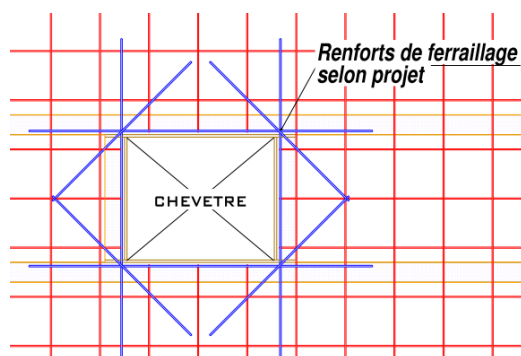


Figure 3: Vue horizontale sur les renforts de ferrailage

Dans certains cas, il peut être nécessaire de créer un chevêtre recoupant plusieurs solives et repris par des solives d'enchevêtrement, dont la section devra être dimensionnée pour être capable de supporter la charge ponctuelle amenée par le chevêtre (Cf Figure 4). Les liaisons chevêtres/enchevêtrements s'effectuent de manière habituelle, conformément aux règles données dans la norme NF EN 1995.

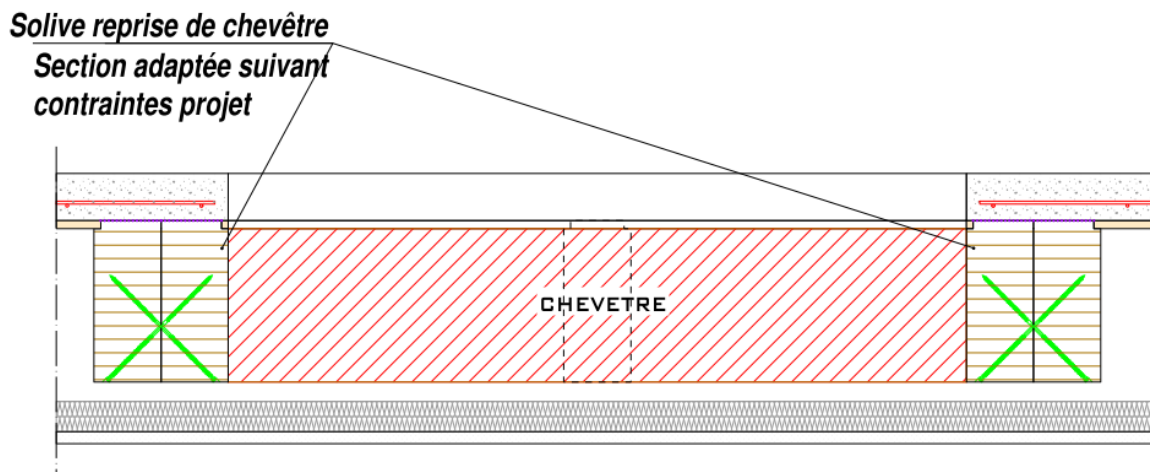


Figure 4: Coupe verticale sur chevêtre

Réservations horizontales :

Il est préférable d'éviter les trous dans les solives. Si le trou est inévitable, il convient de le renforcer et de respecter les règles énoncées dans la norme DIN EN 1995-1-1/NA pour la conception du trou, en l'absence de norme française à ce sujet.

Le trou sera systématiquement conçu avec renfort. Lors de la justification du renfort de réservation horizontale, seule l'inertie de la poutre bois sera considérée dans le calcul (la dalle béton est considérée portée par la poutre, cas le plus pénalisant).

5.3 Description du collage entre bois et béton

Une couche de résine époxydique (BOSTIK® Eponal 371 V1) est appliquée sur les solives bois au niveau de l'interface avec le béton. La résine est sablée à refus avant séchage afin de créer une surface d'adhérence. Le béton est coulé directement sur la surface sablée après polymérisation de la résine.

5.4 Description des jonctions entre planchers et supports

Plusieurs types de jonctions sont possibles, en dépend de la conception souhaitée.

- Support type mur :
 - Pose contre/sur mur ossature bois.
 - Pose contre/sur mur CLT.
 - Pose contre/sur voile béton armé.
 - Pose contre/sur mur maçonné.
 - Pose contre/sur prémur béton armé.
 - Pose contre/sur mur ossature métallique.

Des exemples de liaisons sont représentées dans le chapitre 10.

- Support type structure poteau/poutre :
 - Pose contre/sur poutre bois.
 - Pose contre/sur poutre béton armé.
 - Pose sur poutre acier.

Des exemples de ces liaisons sont représentées dans les figures 5 à 8.

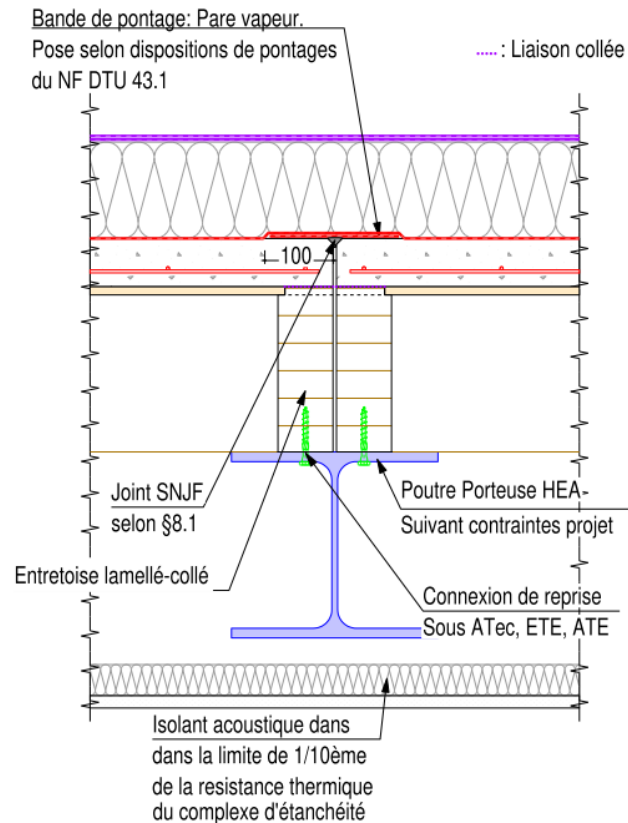


Figure 5: Liaison sur poutre métallique

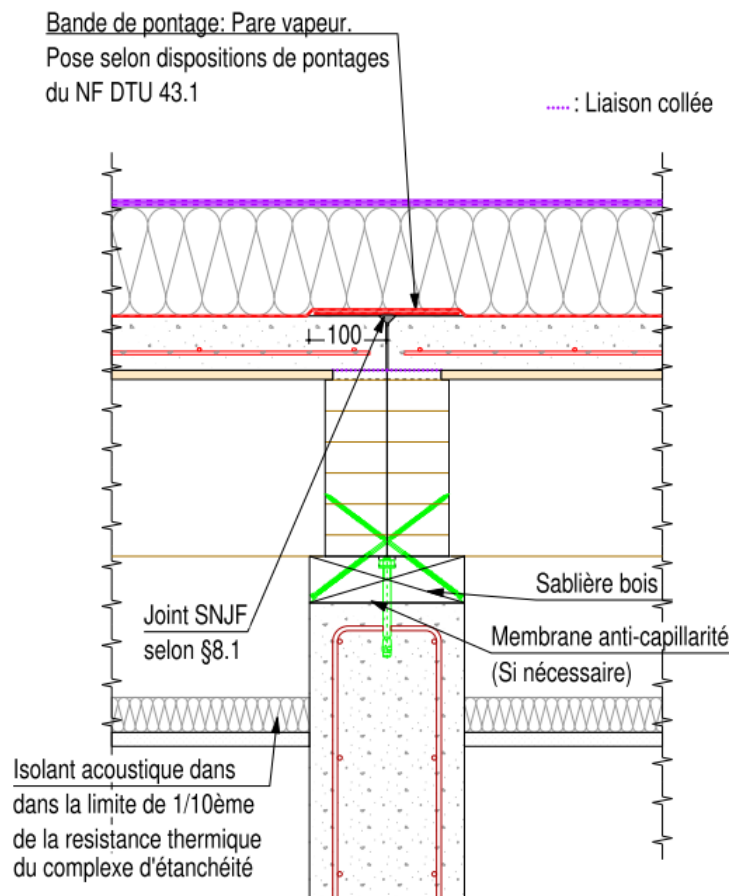


Figure 6: Liaison en tête de mur béton

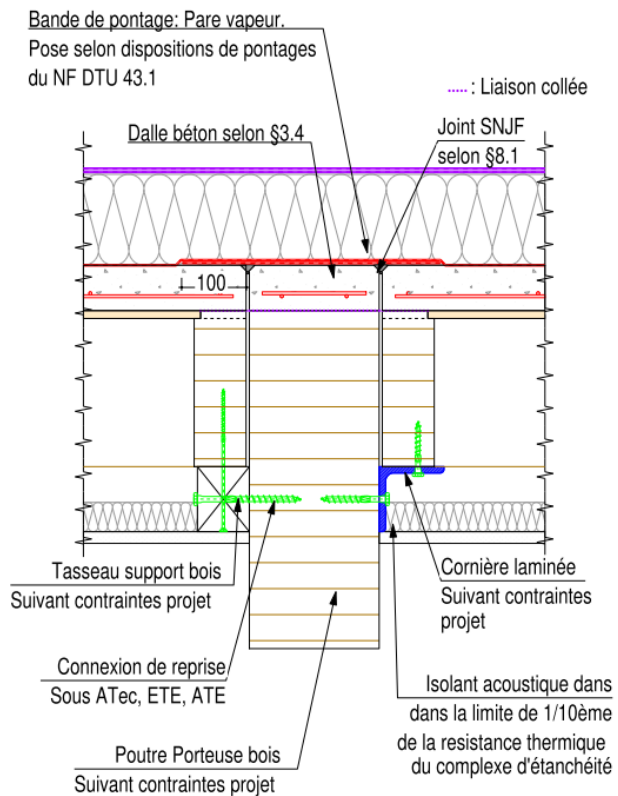


Figure 7: Pose sur poutre bois

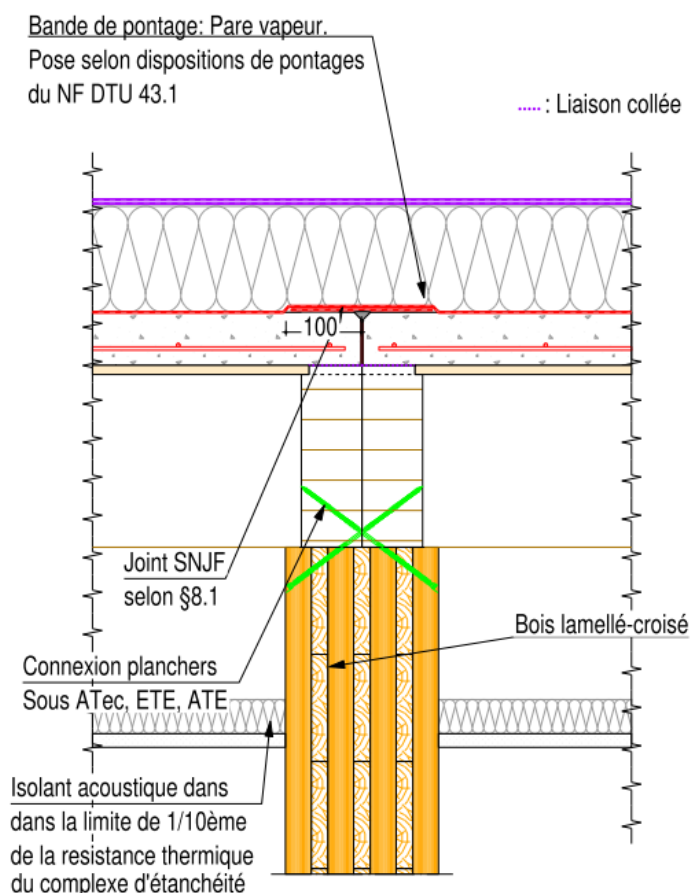


Figure 8: Pose sur mur CLT

5.5 Description des interfaces avec les éléments de second œuvre

La sous-face des planchers HYBRIDAL® est à considérer comme un plancher traditionnel avec des solives à espacement majoritairement constant permettant la mise en œuvre de nombreux types de plafonds (Cf § 13)

5.6 Description des incorporations de gaines et fourreaux

Ils sont disposés à l'intérieur des caissons. Les dispositions du chapitre 5.2 sont à respecter.

5.7 Description du plancher permettant d'assurer un bon comportement hygrothermique de la paroi

Les précautions permettant d'éviter la reprise d'eau par le bois sont les suivantes :

- En phase provisoire :

En cas de stockage provisoire avant pose, des précautions doivent être prises pour conserver les caissons sur chantier dans de bonnes conditions. Il convient à cet effet de les protéger des intempéries par une bâche étanche à l'eau ou de les mettre sous abri, et de ne pas les poser à même le sol (mise en place de cales).

Une fois le plancher posé, en cas de risque d'exposition du plancher aux intempéries, des jupes pare-pluie provisoires peuvent être mises en place sur les flancs des caissons pour permettre l'évacuation de l'eau entre caissons. Ces jupes pare-pluie sont scotchées sur le béton à l'aide de ruban adhésif

étanche. Une fois le plancher hors d'eau, elles sont recoupées. L'humidité des solives de rives est alors contrôlée à l'humidimètre à pointe. L'humidité doit être inférieure à 15% pour que le joint puisse être fermé.

- En phase définitive :

Le procédé HYBRIDAL® est destiné à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 (Eurocode 5). De plus, le procédé HYBRIDAL® sera utilisé exclusivement à l'intérieur des bâtiments et son domaine d'emploi est limité aux locaux à faible et moyenne hygrométrie.

5.8 Description des modalités de réalisation des appuis de continuité

Les caissons seront fixés entre eux à l'aide de connecteurs métalliques et support par contact direct des solives de rive des planchers ou par contact tasseaux/tasseaux délardés.

5.9 Principes de justifications permettant d'atteindre les performances vis-à-vis de la sécurité incendie

En situation d'incendie la dalle béton est considérée décollée de la solive porteuse. On ne tient pas compte de la mixité des matériaux pour le calcul dit « à chaud ». Le calcul se fait donc de manière traditionnelle conformément à l'EC5 partie 1.2 avec la méthode de la section réduite suivant les vitesses de combustion associées.

5.10 Systèmes de fixation

Fixations utilisables pour les assemblages entre éléments de planchers (couturage) :

- Vis de fixation ROTHBLAAS® HBS sous Agrément Technique Européen (ETA-11/0030), conformes à la norme NF EN 14 592 (août 2012) *.
- Vis de fixation SFS® WT-T sous Agrément Technique Européen (ETA-12/0063) *.

(* : ou équivalent)

Les fixations sont dimensionnées en fonction du projet selon la norme NF EN 1995-1.

Fixations utilisables pour les assemblages planchers/murs :

- Goujon d'ancrage HSA – HILTI® sous Agrément Technique Européen (ETA-11/0374) *.
- Goujon d'ancrage HST3 – HILTI® sous Evaluation Technique Européenne (ETE-98/0001) *.
- Goujon d'ancrage HSL-3 – HILTI® sous Evaluation Technique Européenne (ETE-02/0042) *.
- Vis de fixation SFS® WT-T sous Agrément Technique Européen (ETA-12/0063) *.
- Vis de fixation ROTHBLAAS® HBS sous Agrément Technique Européen (ETA-11/0030), conformes à la norme NF EN 14 592 (août 2012) *.
- Vis ASSY 3.0 Kombi WURTH® sous Agrément Technique Européen (ETA-11/0190) *.
- Cornière métallique.
- Tasseau de bois.
- Ferrure mécano soudée.
- Connecteur type tige métallique.

- Boulon.
- Plat métallique.

(* : ou équivalent)

Les fixations sont dimensionnées en fonction du projet selon la norme NF EN 1995-1.

6 Organisation de la mise en œuvre

La société CRUARD Charpente réalise les études des éléments HYBRIDAL®, sur la base du CCTP, plans de synthèse des réservations, vues en plans et coupes.

Ces éléments, nécessaires aux études, sont transmis par l'entreprise en charge de la pose qui est généralement une entreprise de gros oeuvre ou de charpente bois/métallique. Les impacts sur les éléments extérieurs sont communiqués par le biais de détails et préconisations de liaisons.

La vérification du diaphragme de plancher est assurée par CRUARD Charpente. Les efforts sont transmis au bureau d'étude spécialisé en charge du chantier.

A partir des études des éléments HYBRIDAL®, des plans de fabrication sont réalisés.

La fabrication débute après la réception d'un visa définitif sur ces derniers.

Il convient que l'ensemble des détails constructifs et études de la structure porteuse soient transmis au bureau d'étude de CRUARD Charpente pour vérifications.

L'entreprise en charge de la pose des planchers HYBRIDAL® assure :

- L'assemblage des éléments HYBRIDAL®, pour constituer le plancher formant l'élément porteur de partie courante du complexe d'étanchéité.
- La mise en œuvre des vis anti pianotage.
- Le traitement des joints entre dalles selon les préconisations du § 9.1.

Après réception du support (cf. § 9.2), l'entreprise en charge de l'Étanchéité assure :

- La préparation du support.
- La pose des costières métalliques si nécessaire.
- La dépose des protections de réservations au fur et à mesure de l'avancement.
- La mise en œuvre du complexe d'étanchéité (pare-vapeur, isolant, revêtement d'étanchéité).
- Le traitement des points singuliers.
- La mise en œuvre de la protection éventuelle.

7 Principes de dimensionnements :

Le principe de dimensionnement est explicité en annexe 2.

7.1 Cas général (pente ≥ 1 %)

Les planchers travailleront de manière isostatique.

Les vérifications de solives permettront de satisfaire aux déformations maximales suivantes :

- Flèche nette finale ($w_{net,fin}$) due à toutes les actions :
 - $1\% \leq \text{Pente} < 3\%$: $L/500$.
 - $\text{Pente} \geq 3\%$: $L/250$.
- Flèche due aux actions variables seules ($w_{inst,Q}$) est limitée conventionnellement à :
 - $L/300$.
- En l'absence de charge fragile, la flèche active est limitée par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :
 - $L/350$ pour $L \leq 7,00$ m ;
 - $10 \text{ mm} + L/700$ pour $L > 7,00$ m.

7.2 Cas des toitures à pente nulle (Pente < 1 %)

La charge surfacique d'eau moyenne correspondant à $0,7 \times$ la flèche sous combinaison quasi permanente ($0,7 \times \delta \times p_{eau}$) sera prise en compte en complément des charges d'exploitation du projet dans le cas de terrasse à pente nulle.

Le reste du dimensionnement est identique au dimensionnement du § 7.1.

8 Matériaux spécifiques pour l'emploi d'HYBRIDAL® en élément porteur de toiture étanchée

8.1 Traitement des joints entre éléments HYBRIDAL® par l'entreprise en charge de la pose des planchers :

L'entreprise en charge de la pose du plancher doit traiter les joints entre éléments HYBRIDAL®.

Les joints entre dalle seront comblés avec un joint Mastic Bostik P790 ou Mastic polyuréthane multi usages servant de colle et joint avec label SNJF Façade F25E, allongement à la rupture 600 %.

En cas d'ouverture de plus de 5 mm, un fond de joint (joint mousse) devra être mis en œuvre.

8.2 Bande de pontage des joints

Feuille de bitume élastomérique 35 Alu identifiée dans un Avis Technique ou DTA de revêtement d'étanchéité.

8.3 Pare-vapeur

Seuls sont admis les pare-vapeur bitumineux.

Sont admis les pare-vapeur définis dans l'Avis Technique ou le DTA du revêtement d'étanchéité.

8.4 Isolant

Sont admis les panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité, et les isolants inversés, validés pour un emploi sur éléments porteurs en maçonnerie pour la destination considérée.

Sont admis :

- Les panneaux isolants thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique ou DTA comme support d'étanchéité, visant favorablement l'emploi envisagé, dans le cas d'un revêtement d'étanchéité en apparent ou d'un procédé d'isolation mixte sous protection lourde.
- Les panneaux isolants thermiques conformes aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2021 (fiche technique et certificat ACERMI correspondants) dans le cas d'un revêtement d'étanchéité sous protection lourde.
- Les panneaux isolants thermiques conformes aux Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture-terrasse » de juin 2021 (pour les isolants inversés) (fiche technique et certificat ACERMI correspondants).

La fixation mécanique des isolants, dans la dalle de compression béton, n'est pas admise.

Les isolants sont mis en œuvre conformément aux prescriptions des DTA ou règles professionnelles dont ils relèvent.

8.5 Revêtement d'étanchéité

Sont admis :

- les revêtements bitumineux,
- les revêtements synthétiques,

bénéficiant d'un DTA visant favorablement l'emploi sur éléments porteur en maçonnerie pour la destination considérée.

Les systèmes d'étanchéité liquide sont exclus.

La fixation mécanique des revêtements d'étanchéité n'est pas admise.

Dans le cas particulier des toitures terrasses à pente nulle, l'Avis Technique ou le DTA doit spécifiquement valider l'emploi du revêtement sur élément porteur en maçonnerie en pente nulle pour la destination considérée. Les prescriptions particulières du DTA du revêtement d'étanchéité en pente nulle s'appliquent.

Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément aux prescriptions de leurs DTA.

8.6 Protection des parties courantes

Sont admises :

- Les protections conformes aux prescriptions du NF DTU 43.1.
- Les procédés de végétalisation conformes aux Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées (édition n°3 Mai 2018), bénéficiant d'un Avis Technique.
- Les dalles céramiques conformes aux Règles Professionnelles « Dalles céramiques sur plots sur étanchéité » (édition juillet 2019).
- Les platelages bois conformes aux Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation

9 Réception et préparation des planchers

9.1 Traitement des joints entre éléments HYBRIDAL®

Dans tous les cas, les supports seront propres, secs, sains (non pulvérulents), dépoussiérés et dégraissés. Il devra être éliminé toutes les parties friables ou mal adhérentes.

Le mastic est mis en place par extrusion. Un fond de joint sera préalablement mis en place si l'ouverture dépasse 5 mm. Après extrusion, lisser le cordon de mastic dans les 10 minutes avec une spatule trempée dans de l'eau savonneuse tout en évitant que celle-ci ne s'intercale entre le mastic et les surfaces de contact, afin de préserver une bonne adhérence.

Ensuite, le joint ne doit pas subir de contraintes au collage pendant 12 heures. La prise sera définitive au bout de 48h.

9.2 Réception du support par l'étancheur

Une réception de support doit être effectuée entre l'entreprise en charge de la pose du plancher et l'entreprise d'étanchéité.

Les conditions de planéité générale et locale du NF DTU 20.12 devront être respectées sur l'élément porteur formé par les éléments HYBRIDAL assemblés, à savoir :

- La planéité générale est satisfaite si une règle de 2,00 m déplacée en tous sens ne fait pas apparaître de flèches de plus de 10 mm.
- La planéité locale est satisfaite si une réglette de 0,20 m déplacée en tous sens ne fait pas apparaître de flèches de plus de 3 mm.
- Le désaffleure au droit des joints doit être inférieur ou égal à 3 mm.

Ces critères correspondent à un état de surface « surfacé » selon le § 9.2.2 du NF DTU 21 P1-1.

9.3 Préparation du support avant la mise en œuvre du complexe d'étanchéité

La dalle doit être sèche, stable, plane et présenter une surface propre, libre de tout corps étranger et sans souillure (huile, plâtre, hydrocarbure, etc.).

La préparation de la dalle béton est effectuée selon les dispositions du NF DTU 43.1 P1-1 et des Avis Techniques et DTA des revêtements d'étanchéité.

Le pontage des joints entre éléments HYBRIDAL® par l'entreprise d'étanchéité, avant la mise en œuvre du pare-vapeur, est obligatoire, suivant le principe du § 6.2 du NF DTU 43.1 P1-1.

Les bandes de pontage, de largeur minimale 0,20 m et suffisante pour garantir un recouvrement de 100 mm minimal de part et d'autre de la jonction avec les éléments HYBRIDAL®, doivent être posées librement sur l'axe du joint, l'élément anti-adhérent (aluminium) au contact de l'élément porteur.

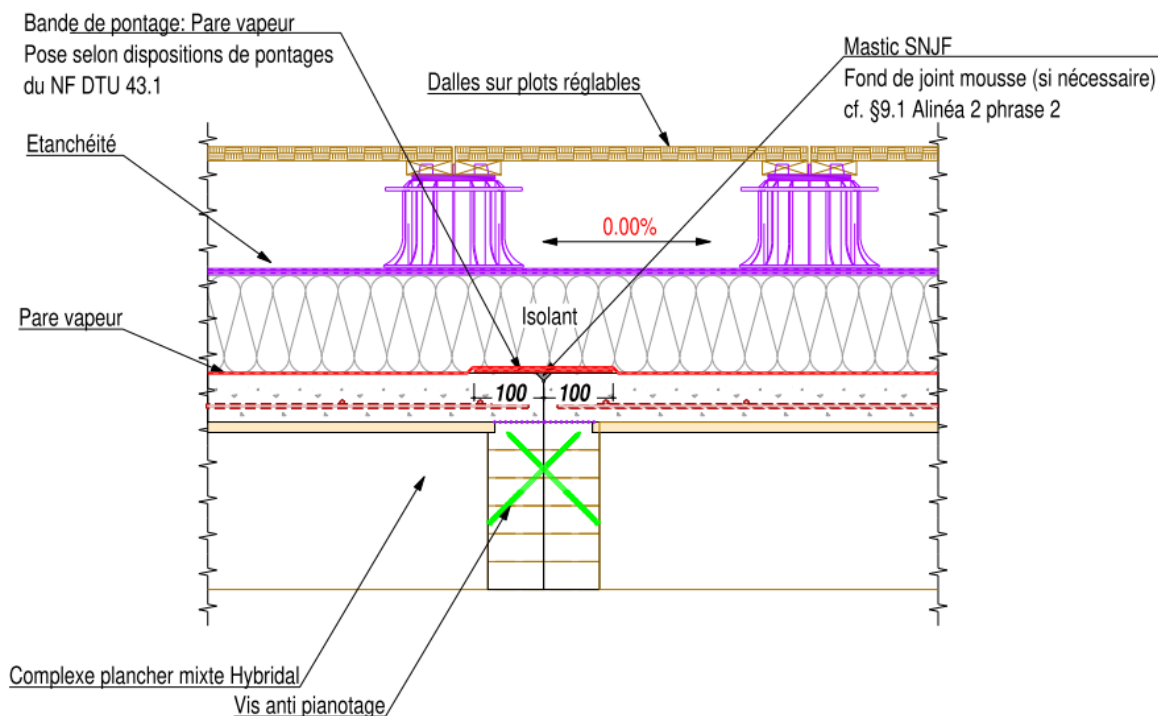


Figure 9: Détail au droit des joints entre dalles

10 Points singuliers

10.1 Reliefs support de relevé

Les relevés d'étanchéité sont réalisés sur des reliefs, qui peuvent être :

- Des reliefs en béton conformes aux prescriptions des NF DTU 20.12 et NF DTU 43.1 : acrotères et costières béton (parement courant).
- Des reliefs en panneaux massif structural bois relevant du Cahier 3814 et faisant l'objet d'un Avis Technique ou DTA visant l'utilisation en toiture terrasse.
- Des reliefs constitués d'une paroi COB conforme au NF DTU 31.2 avec panneau contreplaqué marqué NF Extérieur CTB-X comme support de relevé.
- Des reliefs constitués de costières métalliques dans la limite des prescriptions du NF DTU 20.12.

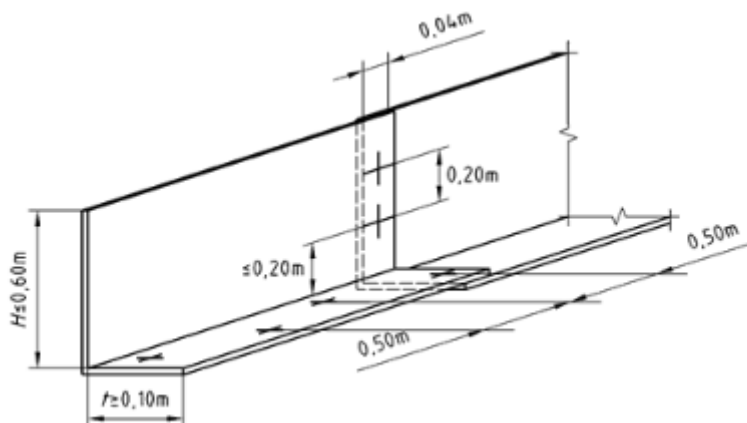


Figure 10: Principe de reliefs en costières métalliques.

La fixation des costières métalliques s'effectue en quinconce, au moins tous les 50 cm. Pour une dalle de 70 mm, il est préconisé l'utilisation de chevilles à frapper Ø 6 x 30 mm disposant d'un ETE/ETA. L'ancrage ne devra pas dépasser 40 mm.

Les types de reliefs de relevés admis avec le plancher HYBRIDAL® selon la destination des toitures terrasses sont ceux décrits au Tableau 1 ci-après.

Tableau 1: Compatibilité des types de reliefs et des destinations des toitures terrasses avec le procédé HYBRIDAL®

Destinations de toitures	Relief béton conforme au NF DTU 20.12 et NF DTU 43.1 (2)	Relief reliefs en panneaux massif structural bois bénéficiant d'un ATEc (2)	Relief paroi COB avec panneaux NF extérieur CTB-X (2)	Costière métallique dans les stricts cas visés par le NF DTU 20.12
Inaccessible sans rétention des eaux pluviales	Oui	Oui	Oui	Oui
Toitures avec procédés photovoltaïques	Oui	Oui	Oui	Oui
Techniques ou à zones techniques	Oui	Oui	Oui	Oui
Toiture végétalisée extensive	Oui	Oui	Oui	Oui
Toiture végétalisée semi-intensive	Oui	Non	Non	Non
Toitures jardin (épaisseur de terre maxi 60 cm)	Oui	Non	Non	Non
Toitures accessible avec dalles sur plots ou platelage bois	Oui	Oui (1)	Oui (1)	Oui (1)
(1) Niveau haut de la costière se situant sous le niveau supérieur des dalles sur plots ou du platelage sur plot				
(2) Le plancher HYBRIDAL® et le support vertical devront être liaisonnés mécaniquement				

Dans le cas de relevés sur reliefs en béton, en panneaux massifs ou sur panneaux bois, une liaison mécanique devra être assurée entre le plancher HYBRIDAL® et le support vertical. Elle est réalisée, par vissage, avec une équerre acier ou un tasseau bois et sera dimensionnée en fonction des charges à reprendre (charges gravitaires permanentes, charges d'exploitation, neige, vent en pression, vent en dépression, efforts de stabilité au vent et/ou sismique).

La hauteur des relevés sera conforme aux prescriptions du NF DTU 43.1 ou des Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées (édition n°3 Mai 2018).

Les relevés sont réalisés conformément aux dispositions du DTA du revêtement d'étanchéité.

Pour toutes les natures de reliefs cités ci-dessus, la couche pare-vapeur de partie courante de toiture est remontée pour permettre un recouvrement avec le revêtement d'étanchéité d'au moins 6 cm.

Dans toutes les configurations, l'étanchéité à l'air à l'angle est réalisée par la mise en œuvre d'un joint correspondant aux préconisations du § 8.1.

Le relevé étanché est muni en tête d'un dispositif d'écartement des eaux de ruissellement conforme au NF DTU 43.1 ou faisant l'objet d'un Avis Technique particulier.

Exemple de relevé sur acrotère béton :

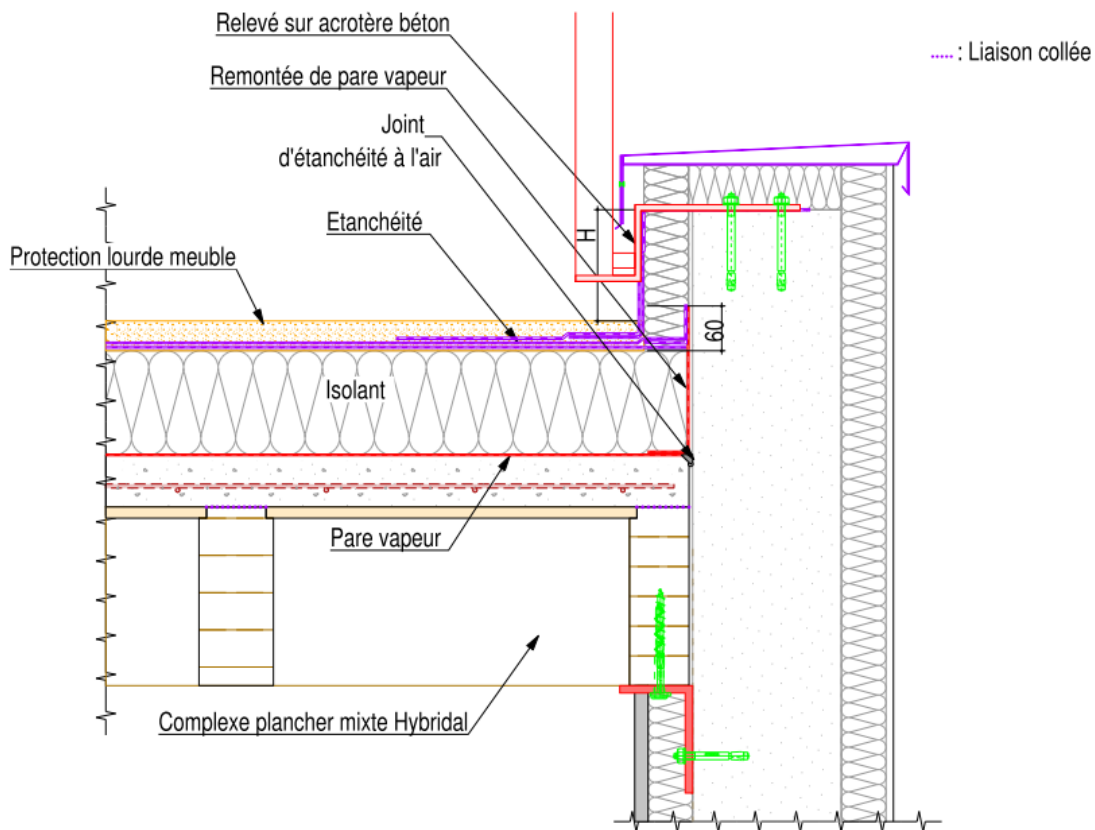


Figure 11: Relevé sur acrotère béton

Exemple de relevé sur reliefs en panneaux massif structural bois :

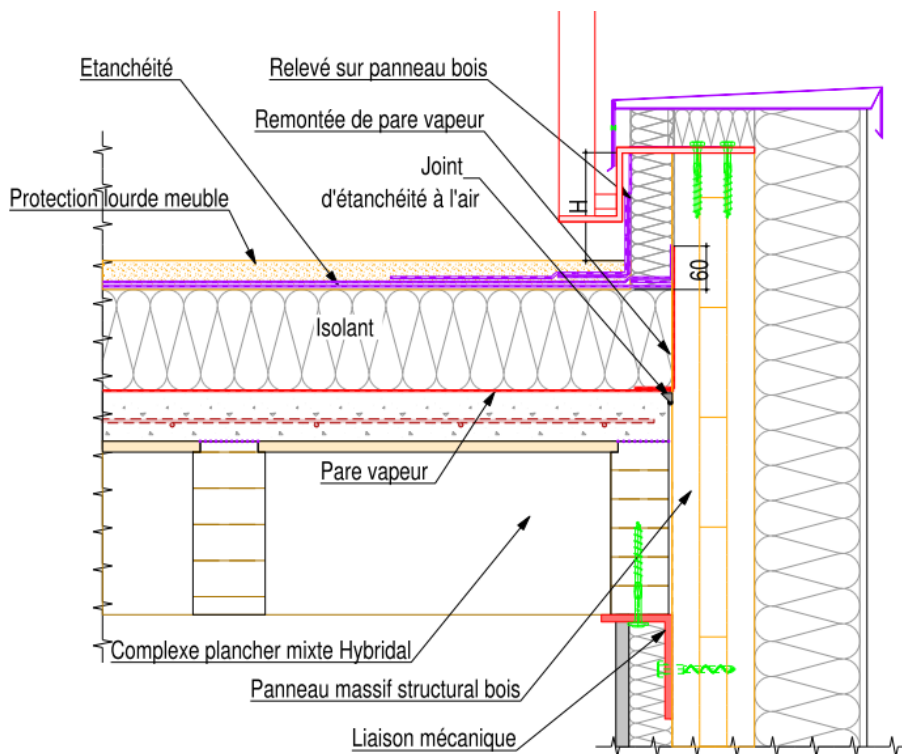


Figure 12: Relevé sur panneau structural bois

Exemple de relevé sur relief paroi COB avec panneaux NF extérieur CTB-X :

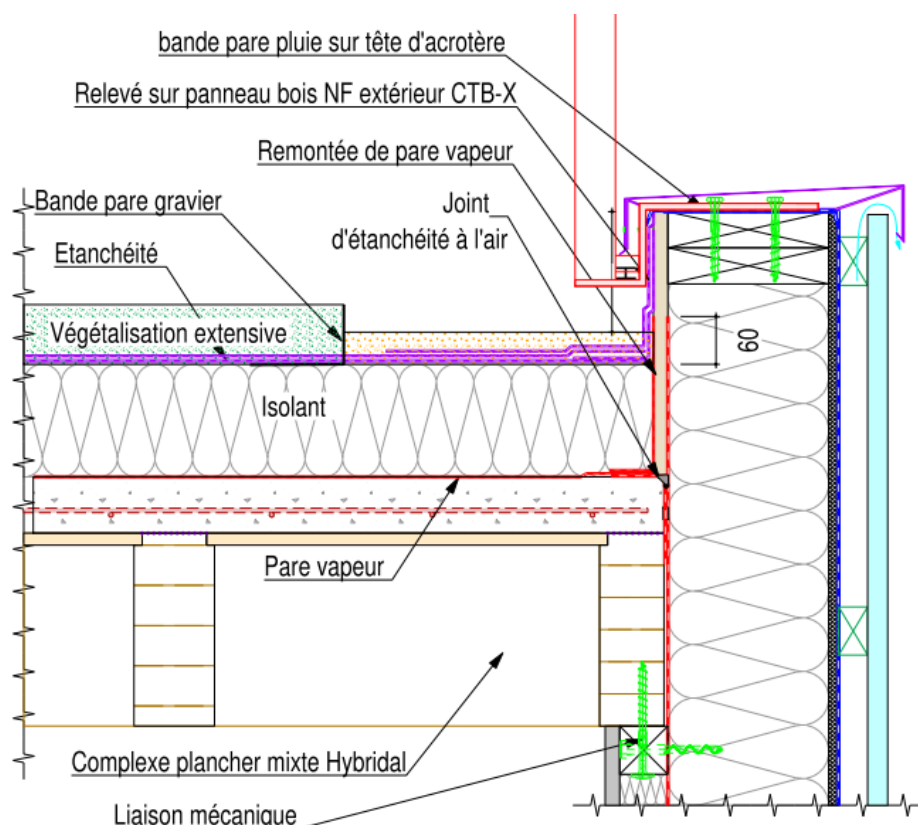


Figure 13: Exemple de relevé sur costière bois

10.2 Gestion des eaux pluviales

L'implantation des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales est conforme à l'annexe C du NF DTU 20.12 et aux prescriptions du NF DTU 60.11 P3.

Les entrées d'eaux pluviales sont réalisées conformément aux prescriptions du NF DTU 43.1.

Les entrées d'eaux pluviales sont traitées par une platine-manchon mise en œuvre au niveau du revêtement d'étanchéité conformément au NF DTU 43.1 et aux Avis Techniques des revêtements d'étanchéité.

Les EEP verticales doivent traverser la dalle béton entre les poutres bois des planchers HYBRIDAL®. Pour cela, des réservations seront prévues dans la dalle béton préfabriquée, en tenant compte de l'encombrement des entrées d'eaux pluviales, ainsi que des tolérances d'implantation.

Le raccord entre le moignon et la descente doit être aisément visitable ; il est interdit de le situer dans l'épaisseur des dalles et respecter les dispositions suivantes.

Le moignon doit dépasser de 0,15 m minimum de :

- La sous-face du plafond s'il est intégré en usine.
- La sous face du fond de coffrage en cas de plafond démontable.
- La sous face du plafond s'il n'est pas démontable.

10.3 Trop-plein :

Lorsque nécessaires, l'implantation des trop-pleins est conforme au NF DTU 43.1 P1-1 § 8.6.1. et NF DTU 20.12 § C4.4.

10.4 Joints de dilatation

Les joints de dilatation sont réalisés selon les prescriptions des NF DTU 20.12 et NF DTU 43.1.

10.5 Seuils

Les seuils sont réalisées selon les prescriptions des NF DTU 20.12 §7.2.7 et NF DTU 43.1.

10.6 Jardinières

Les jardinières doivent être considérées comme des équipements posés sur le revêtement d'étanchéité, selon les prescriptions du § 9.1 du NF DTU 43.1 P1-1.

10.7 Traversées

Les traversées diverses doivent être réalisées conformément aux prescriptions du NF DTU 43.1.

10.8 Piètements techniques

10.8.1 Principe de justification des platines de support en toiture avec tiges traversantes et contre-plaque :

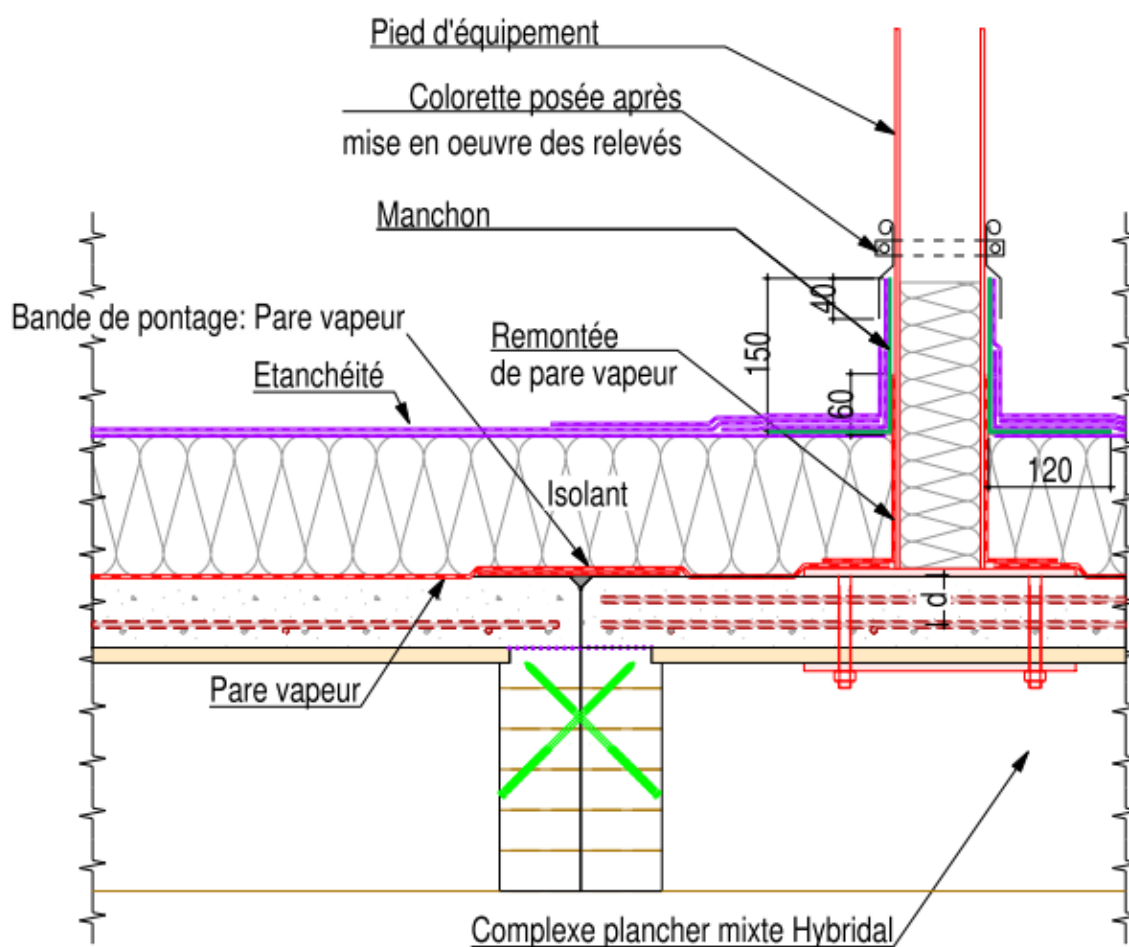


Figure 14: Détail au droit d'un pied d'équipement

Ces dispositions sont limitées aux planchers préfabriqués HYBRIDAL sans plafond intégré à la fabrication.

Le pied d'équipement est mis en œuvre par l'entreprise en charge de la pose des planchers avant la mise en œuvre de l'éventuelle isolation acoustique intérieure.

La résistance d'un système de piétement platine boulonnée sur support Hybridal doit vérifier, au cas par cas, les résistances suivantes :

- Résistance du piétement dimensionné suivant type
- Résistance de la dalle béton support du piétement

Indépendamment du type de piétement choisi, la dalle béton doit respecter les conditions suivantes :

- La résistance de la partie tendue de la dalle béton
- La résistance de la partie comprimée de la dalle béton
- La résistance de la partie liaisonnée en traction

Un manchon complémentaire devra être mis en œuvre indépendamment du pied d'équipement par l'entreprise en charge de l'étanchéité. Il devra reprendre le relevé.

Dispositions du manchon :

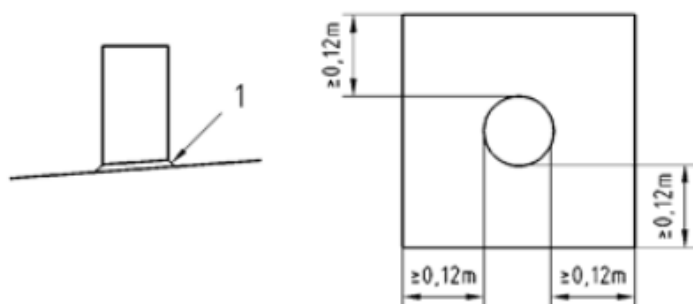


Figure 15: Schéma du manchon

La distance entre le fourreau et le bord extrême de la platine ne doit pas être inférieure à 0,12 m.

Ces dispositions sont limitées aux planchers préfabriqués sans plafond intégré en usine.

10.8.2 Principe de justification des platines de support en toiture avec fixations spécifique béton :

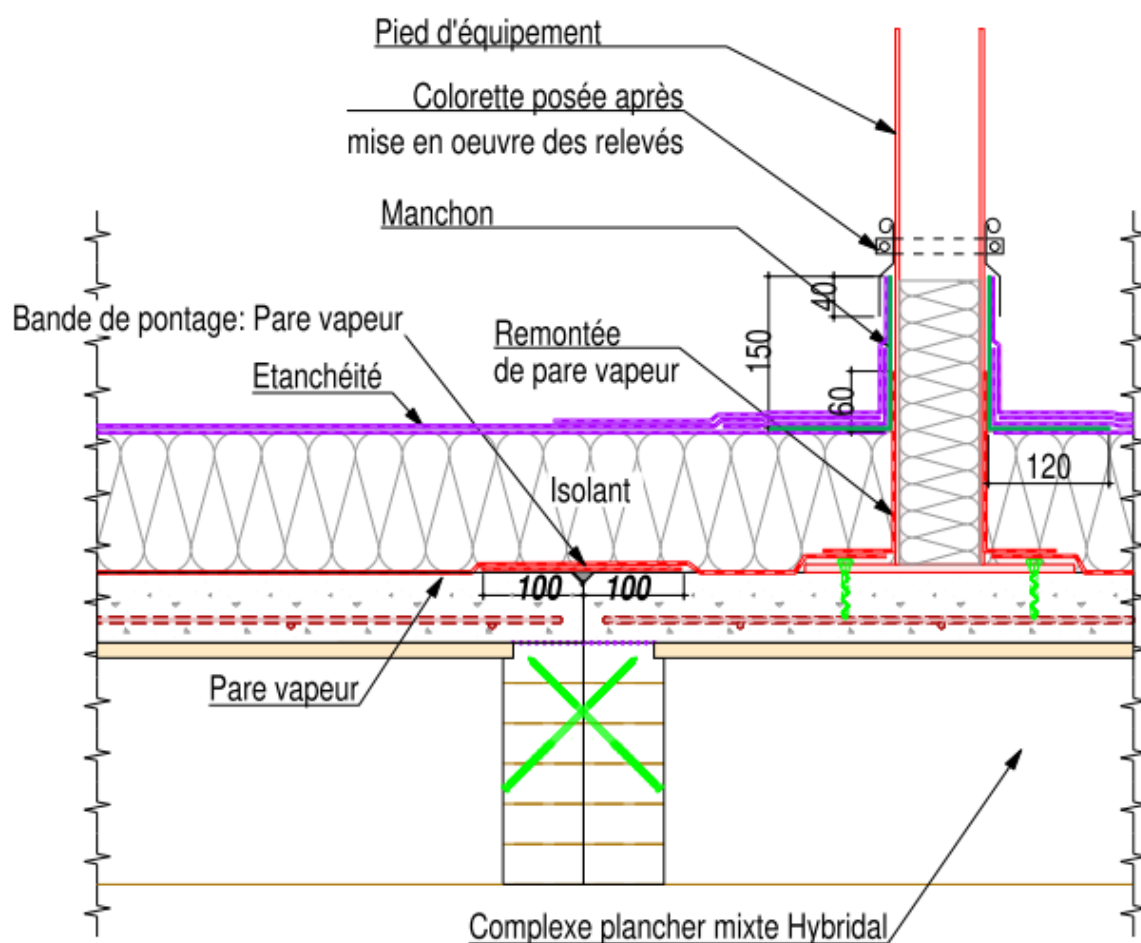


Figure 16: Détail au droit d'un pied d'équipement

Le pied d'équipement est mis en œuvre par l'entreprise en charge de la pose des planchers.

La résistance d'un système de piétement platine ancrée sur support Hybridal doit vérifier, au cas par cas, les résistances suivantes :

- Résistance du piétement dimensionné suivant type
- Résistance des fixations dans la dalle béton suivant les contraintes subies

Indépendamment du type de piétement choisi, les fixations doivent justifier des résistances :

- En traction (extraction, glissement, cône de béton, acier, fendage)
- En cisaillement (Acier, bord de dalle, effet de levier)

Un manchon complémentaire devra être mis en œuvre indépendamment du pied d'équipement par l'entreprise en charge de l'étanchéité. Il devra reprendre le relevé. Les dispositions seront identiques au § 10.8.1.

11 Spécificités des toitures végétalisées

11.1 Généralités

Les prescriptions des Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées (édition n° 3 mai 2018), dites « RP TTV » et « de l'Avis Technique de procédé de végétalisation » sont applicables.

La pente maximale des toitures est limitée à 5 %.

Les complexes d'étanchéité (isolant, revêtements) doivent être visés explicitement pour cet emploi dans leurs Avis Techniques (ou leur fiche technique pour les isolants relevant des Règles Professionnelles).

11.2 Dimensionnement

Les principes du § 7 s'appliquent.

Le dimensionnement de l'élément porteur HYBRIDAL® doit prendre en compte, en plus des charges habituelles (cf. § 6.1.1 des RP TTV) :

- Le poids propre du système de végétalisation complet à capacité maximale en eau (CME) indiqué dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.
- Une surcharge forfaitaire de 15 daN/m².

11.3 Points singuliers

L'ensemble des prescriptions du § 8 des RP TTV est applicable, complétées par l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

12 Spécificités des toitures jardin

12.1 Généralités

Les toitures jardin ont une pente maximale de 5 %.

Les complexes d'étanchéité (isolant, revêtements) doivent être visés explicitement pour cet emploi dans leurs Avis Techniques (ou leur fiche technique, accompagnée de leur certificat ACERMI, certifiant les spécifications prévues par ces règles pour cet usage, pour les isolants relevant des Règles Professionnelles).

12.2 Dimensionnement

Les principes du § 7 s'appliquent.

Le dimensionnement de l'élément porteur HYBRIDAL® doit prendre en compte, en plus des charges habituelles (cf. § 6.1.1 des RP TTV) :

- La charge de terre à capacité maximale en eau (CME), en prenant une masse volumique des terres à 2100 kg/m³ conformément à l'annexe B du NF DTU 43.1 P1-1.
- Le poids des végétaux.

L'épaisseur de terre peut ne pas être uniforme. Ces spécificités sont prises en compte dans le calcul par l'ajout de charges ponctuelles au droit des zones plus épaisses.

12.3 Points singuliers

L'ensemble des prescriptions du § 9.3 et de l'annexe B du NF DTU 43.1 P1-1 est applicable.

Lors de la mise en œuvre, une attention particulière devra être apportée au stockage temporaire des éléments. Sous conditions de vérifications par le bureau d'étude de Cruard Charpente, il peut être mis en place temporairement des épaisseurs de terres supplémentaires. Dans le cas contraire, un étalement provisoire est à mettre en place.

13 Habillage ou plafond suspendu

Un faux plafond ou un habillage peut être mis en œuvre en sous face des caissons. Les fixations devront cependant obligatoirement se faire dans le solivage bois.

Fixations utilisables pour les plafonds :

Les plafonds peuvent être fixés :

- Sur des suspentes courantes vissées sur les côtés des solives.
- Directement sur la sous face des solives à l'aide de vis (celles-ci doivent être conformes à l'EC5).

14 Assistance technique

En phase d'avant projet, le prédimensionnement est réalisé par la société CRUARD Charpente uniquement. Le déroulement des études et de la fabrication se fait selon le § 4.

La société CRUARD Charpente assure l'assistance technique aux entreprises en charge de la pose des planchers ainsi qu'aux entreprises d'étanchéité pour les spécificités du plancher HYBRIDAL®.

L'assistance technique consiste en une formation initiale préalable au premier chantier et un accompagnement technique au démarrage du premier chantier (présence d'un conseiller technique).

Pour l'entreprise de pose des planchers, il peut être mis à disposition des fiches autocontrôles destinés à garantir la qualité de la pose.

15 Résultats expérimentaux

- Rapport d'essais CSTB n° DEB 21-08713 : caractérisation de l'étanchéité à l'eau du joint d'étanchéité entre deux dalles béton HYBRIDAL®.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur poutres hybrides : Estimation des quantités de résine Eponal 371 V1 et de sable à la mise en œuvre sur poutre » ; version n°1 d'avril 2019.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur planchers hybrides : Influence de la fatigue sur le comportement mécanique » ; version 1.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur poutre bois-BO : Influence de la fatigue sur le comportement mécanique » ; version n°1.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur bois-béton : Planchers - Caractérisation mécanique statique » ; version n°1 de juin 2019.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur poutres hybrides : Influence du type de sable sur le comportement mécanique global des poutres hybrides bois-béton du projet HYBRIDAL » ; version n°1 de mars 2019.

- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur bois-béton : Poutres - Caractérisation mécanique statique » ; version 2 de février 2020.
- Rapport d'essais LMC2 « Essais sur bois-béton : Push-out - Caractérisation mécanique de l'adhérence » ; version 1 de juin 2019.
- Rapport d'essais LMC2 : « Courbes granulométriques des sables pré-étudiés pour l'application sur poutres bois » ; version n°1 de mai 2019.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur bois-béton : Planchers – Caractérisation mécanique statique » ; version 1 de septembre 2020.
- Rapport d'essais LMC2 : « Essais sur bois-béton : Push-out – Caractérisation mécanique de l'adhérence » ; version 1 de septembre 2020.
- Rapport LMC2 : « Rapport d'essais sur le comportement de l'adhérence entre bois et béton : cisaillement transversal dit roulant » ; version 2 d'octobre 2022.
- Rapport LMC2 : « Rapport d'essais sur planchers sous sollicitation de flexion : caractérisation mécanique de planchers ayant un entraxe de poutre élargi » ; version 1 de janvier 2022.
- Rapport d'essais LMC2 : « Rapport d'essais sur planchers : Effet des conditions de fluage » ; version VF d'octobre 2022 (état des lieux à fin septembre 2022).
- Etude acoustique réalisée par DB ACOUSTIC : rapport référence BAT 026/19 FJ/PL.
- Rapport d'Essais Bostik : « Mesure de la température de transition vitreuse de l'Eponal 371 V1 ».
- Rapport de laboratoire Bois HD : « Test de durabilité sur plancher mixte bois béton collé » ; version du 13 octobre 2020.

Annexe 1 : Principe de dimensionnement

Caractérisation des composants

Le but de la connexion collée est d'empêcher le glissement à l'interface bois-béton et de permettre ainsi d'utiliser l'inertie totale de la section résistante homogénéisée.

Le béton est utilisé comme dalle de compression et le bois essentiellement pour travailler en traction.

Caractérisation de la raideur des connexions et de leur capacité résistante à reprendre les efforts

La raideur de connexion est déterminée sur éprouvettes par essais de cisaillement de type push-out statique selon les normes NF EN 408 et l'Annexe B de l'EN 1994-1-1 adaptées et la norme NF EN 26891.

Le système de connexion par coulage de béton sur sable pré-encollé sur support bois a été évalué. Une adhérence parfaite est assurée par ce procédé de collage avec une rigidité de connexion moyenne égale à 3619 kN/mm. Il s'agit d'une rigidité de connexion de type collée.

Caractérisation de la rigidité efficace de la section

Compte tenu de la très forte rigidité de la connexion bois-béton, des conditions d'adhérences parfaites sous chargement statique et de fatigue sont retenues. Les rapports d'essais (push out sur éprouvettes et flexion quatre points sur planchers à l'échelle 1 selon la norme NF EN 408) confirment la rigidité de connexion. Il s'agit d'une connexion sans glissement.

La rigidité effective peut être calculée avec la méthode gamma de l'annexe B de l'EC5.

Stabilité de l'ouvrage :

En phases provisoires

Justification pour les phases de levage et de transport, justification mécanique des dispositifs de levage :

La préhension des planchers préfabriqués se fera à l'aide de connecteurs spécifiques à accrochage et décrochage rapide, fixés dans la structure bois et leur tête ne dépassant pas le béton rapporté (vis de reprise de type ASSY 3.0 KOMBI ou équivalent associée à un anneau de levage type WURTH® ou équivalent). Ce système servira pour la manutention des planchers en usine et sur chantier. Le système de levage est adapté au poids du plancher en fonction des données techniques du fournisseur. Le système d'ancrage n'est pas propre au concept et est un système commercialisé dans le domaine d'application.

Voir en annexe la documentation jointe associée à ce système de levage, qui inclue une note de calcul justifiant de la tenue mécanique.

Lors des phases de préfabrication en usine, les planchers sont levés à l'aide d'un pont roulant et d'un palonnier.

Sur chantier, les planchers sont levés à l'aide d'une grue dimensionnée à cet effet et d'un palonnier.

En fonction du poids du plancher trois types de palonniers peuvent être utilisés :

- Jusqu'à 4 T : utilisation d'un palonnier à 4 points de levage.
- Entre 4 T et 6 T : utilisation d'un palonnier à 6 points de levage.
- Au-delà de 6 T : utilisation d'un palonnier à 8 points de levage.
- Pour les éléments de plus de 4 T constitués de 3 solives (entraxe 1,35m) : utilisation d'un palonnier jusqu'à 9 points de levage.

Les caractéristiques et le positionnement des ancrages sont définis à l'aide d'une feuille de calcul (voir exemple en annexe).

Il conviendra de reporter l'opération de levage sur chantier en cas de vent supérieur à 60km/h.

Justification de la stabilité en phase provisoire :

La stabilité est assurée par les porteurs verticaux et horizontaux principaux et leurs dispositifs de contreventement. Les planchers sont posés sur une structure autostable comme dans le cas d'un système de prédalle béton. En cas de besoin, un dispositif de fixation mécanique de type tirefonds peut être disposé pour maintenir le plancher en place en phase provisoire.

En phases définitives

La stabilité de l'ouvrage consiste à solliciter le plancher en utilisant sa fonction diaphragme. Cette dernière est assurée par la présence d'une dalle de compression préfabriquée sur squelette bois.

Les efforts de cisaillements (longitudinaux et roulants) dus aux charges gravitaires et à la reprise de stabilité transigent dans la dalle de compression puis sollicitent la connexion en cisaillement pour transmettre cet effort à la porteuse.

Les caissons agissent donc comme une succession de diaphragmes liaisonnés entre eux mécaniquement pour ramener les efforts horizontaux de contreventement aux éléments de stabilité verticaux du bâtiment (palées, murs, refends béton, etc ...).

Justification de la largeur de dalle béton à prendre en compte.

La justification du plancher mixte peut être faite selon les méthodes de calcul de sections mixte bois-béton. La section de béton qui sera considérée est la plus petite largeur entre l'entraxe des solives ou la valeur du calcul de la largeur efficace b_{eff} de la dalle de compression multipliée par son épaisseur.

Justification de la stabilité en phase définitive.

La stabilité en phase définitive se fera en assurant des conditions d'appuis réglementaires des panneaux de planchers ou des modes de fixations mécaniques appropriés du point de vue de l'Eurocode 5. Les planchers ayant un comportement isostatique, une vérification d'un ancrage localisé en zone d'appui sera effectuée.

Vérification des critères de résistance (ELU)

La méthode de dimensionnement du plancher en flexion simple se fait les dispositions de l'Eurocode 5 en utilisant et vérifiant une section composée.

Vérification des critères de services (ELS).

Le calcul des flèches tient compte des différents chargements (phase définitive) et des durées d'application de ces chargements.

Les contraintes de flèches sont indiquées dans le §7 du dossier technique.

Les vérifications sous conditions de service se feront suivant l'Eurocode 5 et les exigences en vigueur. La préfabrication en atelier des éléments de planchers permet de faire un calcul de flèche avec une section homogénéisée avec prise en compte des charges permanentes et d'exploitation incluant la dalle de béton.

Compatibilité des déformations de l'assemblage bois-béton collé

La compatibilité des déformations de l'assemblage bois-béton collé a été vérifiée par des tests de durabilité réalisés sur les planchers HYBRIDAL® (voir le Rapport de Laboratoire Bois HD « Test de durabilité sur plancher mixte bois béton collé »).

Les résultats montrent que malgré les conditions sévères de vieillissement subies par les planchers (alternance de deux climats : froid et humide / chaud et sec), il n'y a pas eu de dégradation ou de modification significative des propriétés mécaniques des planchers testés. La liaison par collage entre le béton et le bois n'a pas été endommagée ni altérée par les effets climatiques auxquelles les planchers ont été soumis. Ainsi la collaboration des matériaux est toujours présente après le vieillissement.

Il est important de noter que les conditions climatiques extrêmes pratiquées lors de ces tests sont beaucoup plus défavorables que celles que subiront les planchers lors de leur usage prévu. En effet le procédé HYBRIDAL® est destiné à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 (Eurocode 5). De plus, le procédé HYBRIDAL® sera utilisé exclusivement à l'intérieur des bâtiments et son domaine d'emploi est limité aux locaux à faible et moyenne hygrométrie, c'est-à-dire ceux pour lesquels $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$ selon le cahier du CSTB n°3567.

Calculs en situation de séisme

Justification de la stabilité sous action sismique

- **Fonction diaphragme du plancher :**

Lors d'un séisme, les planchers ont pour rôle, outre leur fonction d'éléments porteurs vis-à-vis des charges verticales :

- D'une part, de former un diaphragme dans leur plan afin de transmettre les efforts sismiques horizontaux aux éléments verticaux de contreventement.
- D'autre part, de maintenir la liaison entre les divers éléments de la structure (fonctionnement en tirant et buton) afin d'assurer le monolithisme de la construction.
- Enfin, il convient également de veiller à l'intégrité des planchers lors d'un séisme (détermination de ses armatures dans le cas d'un plancher en béton armé).

Afin de pouvoir remplir ces trois conditions, les dispositions constructives à adopter sont les suivantes :

- La fonction diaphragme est assurée par la dalle de compression présente sur toute la surface du plancher. Selon la norme NF EN 1998-1 (EC8), une dalle pleine de béton ayant une épaisseur minimale de 7cm, armée dans les deux directions horizontales en respectant les sections minimales de la norme NF EN 1992-1 § 9.3.1.1 et correctement connectée aux éléments verticaux peut être considérée comme rigide (§ 5.10 de la norme NF EN 1998-1).
- Les diaphragmes doivent pouvoir transmettre, avec une sur-résistance suffisante, les effets de l'action sismique aux divers contreventements auxquels ils sont liés. Cette prescription est considérée comme satisfaite si, pour effectuer les vérifications de résistance appropriées, les effets de l'action sismique sont multipliés par un coefficient de sur-résistance γ_d défini dans la norme NF EN 1998-1 § 4.4.2.5 (classes DCM-DCH uniquement).

- Il doit exister d'une part un chaînage périphérique continu, d'autre par un chaînage au croisement de chaque élément de contreventement avec le plancher.
- Les renforts des trémies doivent être dimensionnés pour transmettre les efforts aux éléments de contreventement. Le diaphragme doit être dimensionné en conséquence.
- Afin d'assurer la fonction tirant-buton le plancher doit présenter en tout point une capacité de résistance ultime à la traction. La valeur de l'effort tirant-buton doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/ml ou l'effort de tirant-buton déterminé par calcul.

Le principe de justification du diaphragme béton lui-même (dalle béton armé) n'est pas propre au système des planchers mixtes Bois-Béton, il relève du calcul traditionnel de béton armé. Les dispositions des § 5.10 et 5.11 de la norme NF EN 1998-1 devront en outre être respectées.

Les efforts de cisaillement des diaphragmes sont transmis aux éléments de contreventement verticaux :

- Soit par organes métalliques de liaison Bois/Béton bénéficiant d'un DTA en zone sismique.
- Soit par organes métalliques type Vis ou Tirefonds couverts par la norme NF EN 1998-1-5 ou sous ETE/ATE pour les connexions Bois/Bois (exemple de liaison de muraille connectée sur ossature bois ou CLT). »

La transmission des efforts de cisaillement entre éléments de plancher HYBRIDAL® est assurée par une liaison par organe métallique type vis (sous ETE ou ATE) entre éléments bois. Il convient donc se référer à la norme NF EN 1995-1 (EC5) pour le dimensionnement.

• Justification de l'intégrité de la connexion sous action sismique

L'intégrité de la connexion sous action sismique a été déterminée sur éprouvettes par essais de cisaillement de type push-out cycliques selon la norme NF EN 12512 (voir le Rapport d'essais LMC2 « Essais sur bois-béton : Push-out – Caractérisation mécanique de l'adhérence » ; version 1 de septembre 2020). Ces essais cycliques ont été réalisés conformément au Guide d'agrément technique Européen numéro 3617 édité par le CSTB.

• Cisaillement roulant en diaphragme

La fonction diaphragme d'un plancher HYBRIDAL® fonctionne comme un ensemble d'ossatures horizontales juxtaposées, avec les dalles de compression comme voile travaillant. Cela fait majoritairement travailler les interfaces bois-béton périphériques en cisaillement longitudinal. Pour appréhender tous types de chargements, le cisaillement roulant est intégré à la justification des diaphragmes de plancher. Il est combiné aux cisaillements longitudinaux statiques et de stabilité.

Afin de ne pas seulement tenir compte de la valeur normative $f_{r,k}$ égal à 1.2 MPa pour le Lamellé-collé, des essais mécaniques d'adhérence au cisaillement roulant du système de connexion HYBRIDAL® ont été effectués en statique et cyclique (voir le Rapport d'essais LMC2 « Livrable 23 : Rapport d'essais sur le comportement d'adhérence entre bois et béton : Cisaillement transversal dit roulant » ; version 1 de janvier 2022).

Calculs en situation d'incendie

Justification du classement de réaction au feu

Le classement conventionnel lié aux matériaux employés (bois et béton) est utilisé pour justifier du classement de réaction au feu du plancher HYBRIDAL®.

Concernant les éléments bois, ceux-ci bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1. L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du plancher dans l'ouvrage.

Justification du degré de résistance au feu

En l'absence d'essai de résistance au feu en cours de validité, les vérifications suivantes doivent être effectuées :

- Sans protection au feu :

Le degré de stabilité au feu du plancher HYBRIDAL® est vérifié en considérant que les poutres en bois sont déconnectées de la dalle béton. La résistance au feu « R » des poutres en bois est justifiée par application de l'Eurocode 5 partie 1-2 (NF EN 1995-1-2). Le degré coupe-feu « EI » est vérifié par application de l'Eurocode 2 partie 1-2 (NF EN 1992-1-2) pour la dalle de béton lorsque celle-ci constitue la totalité de l'isolement au feu. Le degré coupe-feu du plancher est subordonné à sa stabilité au feu pour un degré au moins égal.

- Avec plafond de protection :

Le degré de résistance peut être justifié par la mise en œuvre d'un plafond contribuant à la résistance au feu du plancher protégé.