Avis Technique 3.1/15-940_V1

Annule et remplace l'Avis Technique 3/15-840

Plancher mixte bois-béton

Wood-concrete Composite floor

Sylvabat

Titulaire : Société SYLVABAT SARL
18 rue Pierre Larousse
FR-75014 Paris

Tél. : 09 83 81 56 46
Fax : 09 81 40 68 49
E-mail : sylvabat@sylvabat.fr
Internet : www.sylvabat.fr

Groupe Spécialisé n° 3.1

Planchers et accessoires de plancher

Publié le 20 décembre 2018

Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Internet : www.ccfat.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)

© CSTB 2018

Le Groupe spécialisé n° 3.1 « Planchers et accessoires de plancher » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques, a examiné le 25 mai 2018 le procédé de plancher mixte bois-béton SYLVABAT, présenté par la société SYLVABAT. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après qui annule et remplace l'Avis Technique n° 3/15-840. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France Européenne et les DROM-COM.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Plancher mixte réalisé avec des poutres en bois et une dalle en béton armé. La liaison entre les poutres en bois et la dalle en béton est assurée par des connecteurs métalliques tubulaires répartis, à intervalles variables, le long de l'interface bois-béton.

Tous les types de sols et de plafonds du commerce peuvent être associés aux planchers sous réserve des dispositions adaptées.

1.2 Identification des composants

Les composants, poutres en bois et connecteurs, ne portent aucune identification particulière. Les connecteurs sont fournis par la société SYLVABAT

2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions fixées par les Prescriptions Techniques (§2.3).

2.1 Domaine d'emploi accepté

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne ainsi que les DROM-COM, pour les classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1.

L'Avis est formulé pour une utilisation en zone de sismicité 1 à 4 pour les bâtiments de catégorie d'importance I à IV et zone 5 pour les bâtiments de catégorie d'importance I et II au sens de l'article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n° 3 concerne l'utilisation dans les bâtiments d'habitation, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, soumis exclusivement à des charges statiques ou quasiment statiques au sens de la norme NF EN 1991-1-1 (en comprenant par ces dernières les effets dynamiques courants dus au déplacement des personnes et des appareils légers qui ne produisent pas de vibration). Les utilisations sous charges roulantes pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis.

L'utilisation du procédé est admise pour les toitures terrasses inaccessibles (catégorie H selon EN 1991-1-1).

- Pente ≥ 3% sur plan
- Toitures-terrasses inaccessibles isolées thermiquement sur l'élément porteur et sans rétention d'eau pluviale

Les toitures terrasses sont classées de type A au sens du DTU 20.12.

La continuité sur appui des dalles de compression est visée par le présent Avis Technique dans les conditions fixées au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (§2.319).

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels W/n > 5g/m^3, avec :

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

Le cas particulier des consoles intégrées en prolongeant d'une travée courante est visé par cet Avis dans les conditions décrites au §3.4 du Dossier Technique.

La continuité sur appui des dalles de compression est visée par le présent Avis Technique dans les conditions fixées par les Prescriptions Techniques (§2.319).

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Aptitude à l'emploi

2.211 Stabilité

La résistance et la stabilité du plancher mixte bois-béton SYLVABAT sont normalement assurées si sa conception, sa fabrication, sa mise en œuvre et son utilisation sont conformes aux conditions définies dans la description (Dossier Technique) et les Prescriptions Techniques (§2.3 ci-après).

2.212 Sécurité au feu

Résistance au feu

Lorsqu'un degré de stabilité au feu ou de coupe-feu est requis pour le plancher mixte, celui-ci doit être vérifié dans les conditions indiquées au §2.314 du Cahier des Prescriptions Particulières ci-après ou être justifié par un essai de résistance au feu effectué en application de l'arrêté du 22 mars 2004 donnant lieu à un Procès-Verbal de classement.

Réaction au feu

Les planchers SYLVABAT bruts peuvent bénéficier d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2,d0. 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 SYLVABAT dans l'ouvrage.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre ou de l'entretien

Pour le procédé proprement dit, elle est normalement assurée si les conditions concernant la phase de montage résultant des Prescriptions Techniques sont respectées.

S'agissant du coffrage destiné à supporter le poids du béton frais en phase provisoire, il y a lieu de s'assurer :

- Que le fournisseur peut garantir une résistance en flexion statique évaluée selon les prescriptions de la norme NF EN 12871 (29 février 2012).
- Que le fournisseur des plaques ou panneaux peut garantir une résistance de ceux-ci à une charge concentrée caractéristique Q_k de 150 daN appliquée selon l'essai de poinçonnement flexion conformes aux normes NF EN 12871 et NF EN 1195 et pondérée aux états limites ultimes selon l'Annexe A de la norme NF EN 12871 §B.2.3 (vérification selon Annexe 1)
- Que les portées délimitées par les appuis n'excèdent pas les valeurs limites résultant des vérifications présentées dans le Dossier technique de cet Avis.
- Que les plaques sont fixées sur leurs appuis au fur et à mesure de leur pose

Dans le cas contraire, des dispositions doivent être prises pour empêcher la circulation des intervenants sur le coffrage.

Isolation thermique

Ce plancher est par lui-même peu isolant et peut nécessiter des compléments en fonction du type de bâtiment et de son emplacement dans le bâtiment. Le calcul de la résistance thermique utile des planchers doit être mené conformément aux « Règles Th-U ».

Isolation acoustique

L'atteinte des critères d'isolation fixés par la réglementation nécessite la mise en œuvre d'ouvrages complémentaires de type plafond suspendu. L'efficacité du complexe ainsi constitué vis-à-vis de l'isolation acoustique dépend de la conception particulière du plafond et de sa suspension. Cette efficacité peut être jugée soit à partir d'essais, soit en se référant aux « Exemples de solutions » relatifs à la Nouvelle Réglementation Acoustique, et après s'être assuré que la fréquence de résonance de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté est inférieure à 60 Hz.
Cette fréquence peut être calculée par la formule :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{K}{m_1}+\frac{K}{m_2}\right)}$$

Avec

f_0 la fréquence de résonance en Hz

m_1 la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plancher brut

m_2 la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plafond rapporté

K le coefficient de raideur dynamique, en N/m du dispositif de suspension du plafond. Il correspond au rapport de la force, en N, à appliquer, au déplacement qui en résulte pour le dispositif de

suspension, déplacement exprimé en m. Ce coefficient K doit être rapporté à 1 m² de plancher.

Dans le cas particulier d'utilisation de suspentes très courtes et rigides, réalisées en fers plats fixés sur les faces latérales des poutres en bois (voir DTU 25.41 « Ouvrages en plaques de parement en plâtre »), on ne peut pas connaître avec précision le coefficient de raideur dynamique K, ni de ce fait, la fréquence de résonance f0. Dans ce cas, seul un essai permet de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté.

Dans le cas où la dalle béton est ancrée dans le mur vertical en béton ou maçonné, il est possible de prédire la performance acoustique de l'ouvrage par application de la méthode Européenne EN 12354 pour les transmissions directes et latérales entre locaux des bruits aériens et des bruits de chocs.

Données environnementales

Le procédé SYLVABAT ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

2.22 Durabilité - Entretien

La durabilité du plancher est normalement assurée, pour les utilisations exceptant les locaux (ou ambiances) à forte hygrométrie au sens du cahier du CSTB 3567 de mai 2006 ou à atmosphères agressives. La durabilité propre des poutres en bois est assurée moyennant le respect des conditions de préservation fixées dans les normes NF EN 350-1 et NF EN 350-2 (juillet 1994) ainsi que la norme EN 335 (janvier 2007).

2.3 Prescriptions Techniques

2.31 Conditions de conception et de calcul

La conception et le calcul du procédé SYLVABAT est réalisé exclusivement par la société SLVABAT.

Le principe de la connexion bois-béton est d'empêcher le glissement à l'interface des deux matériaux, pour permettre de calculer une section mixte homogénéisée et utiliser son inertie totale dans les calculs. Cette section combine une table de compression béton à une poutre bois qui fait office de nervure tendue. Le béton travaille donc essentiellement à la compression et le bois en traction.

Les dimensionnements se font selon les Eurocodes 0, 1, 2, 5, 8.

Rigidité du plancher

- La méthode appliquée pour l'évaluation de la rigidité effective en flexion est celle préconisée par la norme NF EN 1995-1-1 Annexe B.
- Les modules de glissement des connexions à prendre en compte dépendent du type de connecteur et du type de bois. Des valeurs différentes de modules sont à utiliser pour les vérifications aux Etats limites Ultimes et aux Etats Limites de Service de même que les vérifications à l'état initial et à l'état final. Les valeurs des modules de glissement dans les différents cas sont indiquées au §2.315 de l'Avis Technique.

2.311 Vérifications en phase Définitive

Les contraintes de flexion

Dans la mesure où l'effort de cisaillement maximal dans le connecteur le plus sollicité ne dépasse pas sous charges pondérées les valeurs données au § 2.315 ci-après, on peut effectuer les calculs en section mixte selon l'Annexe 1 du présent avis.

La vérification consiste donc à s'assurer que sous l'action des charges pondérées :

- par 1,35 pour le poids propre et les charges permanentes
- par 1,5 pour les charges à caractère variable,

la contrainte développée dans le bois ne dépasse pas la valeur (k_h. k_{mod} . $f_{m,k}$) / γ_M et la contrainte développée dans le béton reste inférieure à : f_{ck} . 0,85/1,5.

Les calculs doivent tenir compte des phases successives de la mise en œuvre.

Le mode de calcul détaillé est donné dans l'Annexe à l'Avis Technique, ci-après.

Contraintes normales

Les vérifications usuelles aux ELU doivent être menées sur les solives bois d'une part et sur la dalle béton d'autre part en ayant au préalable déterminé la position de l'axe neutre de la section mixte.

Pour les sections bois, les vérifications doivent être menées en traction et flexion combinées selon la norme NF EN 1995-1-1 § 6.2.3.

Pour les sections béton, on se rapporte aux vérifications usuelles d'une poutre type béton armée vis à vis des sollicitations de flexion au sens de la norme NF EN 1992-1-1 soit :

- Limitation de la contrainte de compression du béton
- Justification des armatures anti-fissurations vis-à-vis des contraintes normales

Vérification à l'effort tranchant

- Vérification de la compression des bielles de béton
- Vérification des sections d'armatures de reprise d'effort tranchant selon les dispositions de la NF EN 1994-1-1 (§6.6.6.2.1, Référence à la norme NF EN 1992-1-1 §6.2.4).

Les contraintes obtenues par application de cette méthode sont à comparer aux contraintes de calcul définies par l'Eurocode 2 (pour le béton) et l'Eurocode 5 (pour le bois) à l'exception de la contrainte de cisaillement induite par le connecteur qui est limitée à la valeur issue des essais pour toute classe de bois supérieure ou égale à C18 ou D24.

Les calculs doivent tenir compte des phases successives de la mise en œuvre (report des charges à l'enlèvement des étais sous forme de charge ponctuelle correspondant à la réaction des étais)

Le mode de calcul détaillé est donné dans l'Annexe à l'Avis Technique, ci-après.

Le fléchissement

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire à l'intégrité des cloisons maçonnées ou aux revêtements de sol fragiles comporte :

- les déformations différées sous l'action du poids propre du plancher,
- les déformations totales dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles,
- les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes,
- les déformations totales dues à la part quasi-permanente des charges d'exploitation.

On appelle flèche active la part des déformations du plancher risquant de provoquer des désordres dans un ouvrage considéré généralement supporté (par exemple : cloison, carrelage, …). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

En l'absence de revêtement de sol fragile et de cloisons fragiles, la flèche active est limitée à :

- L/350 pour L≤7,00 m
- 1 cm + L/700 pour L>7,00 m

En présence de revêtement de sol fragile ou de cloisons fragiles, les prescriptions portant sur la limitation des flèches nuisibles du FD P18 717 sont adoptées, soit :

- L/500 pour L≤7,00 m
- 0,7 cm + L/1000 pour L>7,00 m

Dans le cas des planchers qui n'ont pas à supporter des cloisons maçonnées ou des revêtements de sol fragiles, le fléchissement dû à toutes les charges ($W_{net,fin}$) est limité conventionnellement à L/250.

Le fléchissement dû aux actions variables seules ($W_{inst(Q)}$) est limité conventionnellement à L/300.

Pour une utilisation en toiture, la flèche totale est limitée à L/350. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales du procédé Sylvabat.

2.312 Vérifications en phase provisoire

Vérification de la sécurité

La vérification dans cette phase concerne les solives bois.

Elle est effectuée sous l'action simultanée :

- d'une charge uniformément répartie représentant le poids propre du plancher (bois, coffrage, béton frais) pondéré par 1,35 ;
- d'une charge ponctuelle P pondérée par 1,5, placée au milieu de la portée libre, représentant l'action des charges de mise en œuvre. Les valeurs de ces charges de mise en œuvre à l'extérieur ou dans la zone de travail sont prises conformes à la norme NF EN 1991-1-6 à savoir :
  - 0,75 kN/m², charge appliquée à l'extérieur de la zone de travail.
  - 1,5 kN/m², charge appliquée sur l'aire de travail de dimensions en plan 3mx3m.

Un critère de déformation devra être respecté pour les solives et le platelage :

- L/500 si un aspect de sous face est nécessaire
- L/200 sans aspect de sous face

Si la déformée à mi portée ne respecte pas ce critère, un étayage devra être prévu.

De plus, le cumul des contraintes en superposition des phases provisoires et finales dans le bois et le béton, doit être vérifié.

2.313 Utilisation en zone sismique

En cas d'utilisation en zones sismiques pour lesquelles des dispositions sont requises au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, les fonctions diaphragme, tirants-butons et l'intégrité suite au séisme doivent être clairement vérifiées.

Les effets des actions sont calculés sur la base d'une analyse élastique linéaire suivant la méthode des forces latérales équivalentes du §4.3.3.2 ou de la réponse modale du §4.3.3.3 de la norme NF EN 1998-1-1 selon la régularité en plan et en élévation du bâtiment.

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

- La fonction diaphragme ne peut être assurée que par la table de compression d'épaisseur 70 mm minimum conformément à l'article 5.10 de la norme NF EN 1998-1.
- Les diaphragmes n'étant pas des éléments dissipatifs, ceux-ci doivent être calculés en prenant en compte un coefficient de sur-résistance ☐d = 1,3 défini dans l'EN 1998-1 § 4.4.2.5
- Les sections d'armatures disposées dans la table de compression (armatures principales et armatures de répartition) sont calculées en fonction des charges à supporter. Ces armatures placées en chapeau sont à ancrer en rive en majorant de 30% la longueur d'ancrage déterminée en situation non sismique dans des chaînages périphériques en béton armé coulés en œuvre, disposés pour véhiculer les actions horizontales sismiques aux éléments de contreventement verticaux. Il doit exister d'une part un chaînage périphérique continu, d'autre part 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.
- Les dalles béton doivent être ancrées sur appui (cas des appuis béton et maçonnés) ou connectées au moyen de tire fonds (cas des appuis bois).
- 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 déterminée par calcul.
- La traction dans les chainages doit présenter une résistance en traction minimale de 70 kN cf. au §9.10.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1.
- Dans le cas des constructions à structure principale Bois, on pourra se référer au chapitre 8 de la norme NF EN 1998-1 et justifier la liaison du diaphragme horizontal par les assemblages des solives aux éléments de stabilité verticale. Il ne sera pas nécessaire de respecter l'alinéa (2)P du §8.5.3 si les dispositions de ferraillage pour la dalle données dans l'article 5.10 la norme NF EN 1998-1 sont respectées.de
- On devra alors vérifier la reprise des efforts de cisaillement transversal par les connecteurs sous l'effet de l'action sismique horizontale agissant perpendiculairement à la portée des solives
- La capacité résistante des connecteurs en cisaillement transversal est limitée aux valeurs suivantes :

Bois lamellé-collé (GL24 mini)

- Connecteur Ø70 mm : R_d = 13,50 kN / Kser = 40 kN/mm
- Connecteur Ø50 mm : R_d = 10,50 kN / Kser = 28 kN/mm

Bois massif (C24 mini)

- Connecteur Ø70 mm : R_d = 10,40 kN / Kser = 33 kN/mm
- Connecteur Ø50 mm : R_d = 8,10 kN / Kser = 23,5 kN/mm

La résistance de calcul des connecteurs en cisaillement longitudinal sous chargement dynamique sont les mêmes que celles sous chargement statique précisées au §2.315

- Le connecteur le plus proche de l'about de la poutre en bois, doit se trouver à au moins 15 cm de celui-ci.

2.314 Vérifications en situation d'incendie

En l'absence de procès-verbal de classement, les vérifications suivantes doivent être effectuées

Sans protection au feu :

Le degré de stabilité au feu du plancher est vérifié en considérant que les poutres en bois sont déconnectées de la dalle béton. Les poutres en bois peuvent être justifiées par application de l'Eurocode 5 partie 1-2. Le degré coupe-feu est vérifié par application de l'Eurocode 2 partie 1-2 pour la dalle 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. Ce plafond doit être justifié par un procès-verbal de classement pour le degré de résistance au feu requis, pour la protection d'éléments structuraux en bois. Il doit être mis en œuvre selon la description de ce procès-verbal.

Autres protections incendie :

Leur convenance devra être examinée au cas par cas dans le cadre d'une appréciation de laboratoire agrée, délivrée dans les conditions prévues à l'article 11 de l'arrêté du 22 mars 2004.

2.315 Capacité résistante des connecteurs

La capacité des connecteurs à reprendre les efforts de cisaillement longitudinal auxquels ils sont soumis dépend de la classe de résistance du bois dans lequel ils sont implantés et de leur diamètre. Un autre facteur intervient, correspondant à la condition de pose du platelage formant fond de coffrage, avec 2 dispositions à distinguer :

- Le platelage est continu sur la solive et le béton n'atteint pas sa face supérieure (jusqu'à 25 mm d'épaisseur de platelage).
- Le platelage est interrompu au droit du connecteur et le béton atteint la face de la solive.

Les valeurs à prendre en compte dans les justifications à mener à l'ELU sont les suivantes :

Connecteur Ø30 mm :

- Platelage découpé : R_d = 14,26 kN / Kser = 88,21 kN/mm
- Platelage continu : R_d = 10,28 kN / Kser = 29,42 kN/mm

Connecteur Ø50 mm :

- Platelage découpé : R_d = 25,00 kN / Kser = 49,00 kN/mm
- Platelage continu : R_d = 19,59 kN / Kser = 55,33 kN/mm

Connecteur Ø70 mm :

- Platelage découpé : R_d = 31,50 kN / Kser = 49,00 kN/mm
- Platelage continu : pas de valeurs

Ces valeurs sont à considérer dans le cas d'une utilisation en classe de service 2 et pour des charges de durée d'application moyenne au sens de l'article 2.1.3 de la norme NF EN 1995-1-1.

La capacité résistante des connecteurs donnée ci-dessus est valable pour des bois pour lesquels la masse volumique moyenne est de l'ordre de 450 kg/m³. Pour des bois de masse volumique différente, la capacité résistante doit être multiplié par un coefficient égal à

$$[m_{vr}/400\ ]^{0,5}$$

où m_{vr} est la masse volumique caractéristique, en kg/m³, du bois mis en œuvre, sans que ce coefficient puisse dépasser la valeur de 1,15.

En outre, dans le cas d'une utilisation dans une classe de service différente de la classe 2 et/ou pour une durée d'application des charges différente de la durée moyenne, au sens de l'article 2.1.3. de l'EC5, la capacité résistante des connecteurs à prendre en compte dans les calculs doit être affectée d'un coefficient égal à :

$$\text{Min}\ (k_{mod} / 0,8\ ;\ 1)$$

k_{mod} étant donné dans la norme NF EN 1995-1-1en fonction de la classe de service et de la durée d'application de la charge.

2.316 Répartition et espacement des connecteurs

La répartition des connecteurs doit être déterminée par le calcul pour reprendre le glissement moyen à l'interface bois-béton, dans l'intervalle entre 2 connecteurs.

Les espacements des connecteurs sont déterminés par le calcul dans les conditions précisées ci-dessus. Ils sont, en plus, limités par les conditions suivantes :

- espacement compris entre 15 et 60 cm.
- le connecteur le plus proche de l'about de la poutre en bois, doit se trouver à au moins 15 cm de celui-ci.
  - Par ailleurs, la distance minimale entre le bord des connecteurs et la face latérale de la poutre doit être au minimum de 12 mm (porté à 20 mm dans le cas de situation sismique)

2.317 Transmission des charges aux appuis

Dans le cas général où les poutres bois reposent sur les appuis du plancher, il y a lieu de vérifier que l'effort de compression agissant sur la poutre en bois ne dépasse pas sa contrainte admissible de compression transversale.

Lorsque les poutres sont posées sur leurs appuis, la profondeur minimale saine - toutes tolérances épuisées - est au minimum de 5 cm. Dans le cas des solives sur poutres maîtresses, cette valeur minimale de 5 cm peut inclure l'épaisseur d'une lisse d'étaiement.

Dans le cas d'utilisation de prédalles béton, il y a lieu de s'assurer que les largeurs d'appuis de prédalles correspondent aux prescriptions du CPT planchers à prédalles et que la contrainte de compression exercée sur le bois par les prédalles n'excède par la résistance de calcul en compression perpendiculaire du bois.

2.318 Reprise de la flexion transversale

La reprise des efforts de flexion transversale entre poutres bois parallèles doit être justifiée en tenant compte de la seule section de béton armé dans le cas des platelages bois.

Dans le cas d'utilisation de prédalles béton ou de bacs collaborants, la reprise des efforts de flexion transversales devra être justifiée en tenant compte respectivement de la norme NF EN 1992 et des avis techniques de bacs collaborant visant les supports bois.

2.319 Conception des appuis de continuité

Le sciage de la dalle n'est autorisé que si il est prévu en phase conception et décrit sur les plans d'exécution, le plancher étant par ailleurs justifié intégralement en isostatique. Dans le cas de mise en œuvre des revêtements et cloisons fragiles : des armatures correspondant à $0.3M_0$ seront prévues sur appui dans le plancher (solives + dalle) pour assurer la continuité des solives et des poutres principales par ailleurs dimensionnées en isostatique.

Les planchers pour lesquels cette continuité n'est pas assurée sont admis uniquement dans le cas des revêtements et cloisons non-fragiles.

2.32 Conditions de fabrication

Les spécificités du procédé n'imposent pas de conditions particulières de fabrication des poutres bois, autres que celles en usage pour la construction bois en général.

2.33 Conditions de mise en œuvre

Les connecteurs sont mis en œuvre sous le contrôle exclusif de la société SYLVABAT. La structure bois et le coulage de la dalle béton peuvent être réalisés par toute entreprise compétente en respectant les normes NF EN 1995-1 et NF EN 1992-1 ainsi que les DTU associés.

2.331 Coulage de la dalle béton

Pour assurer une bonne répartition du béton, le béton coulé en place doit avoir une consistance minimum de S2 au sens de la norme NF EN 206/CN. Sa mise en place nécessite une vibration à l'aiguille.

La partie en béton armé du plancher bois-béton doit être conçue, calculée et mise en œuvre conformément aux prescriptions de la norme NF EN 1992 (Eurocode 2).

Les charges d'exploitation à prendre en considération dans les calculs sont celles précisées par la norme NF EN 1991 (Eurocode 1).

Les éléments en béton armé du plancher SYLVABAT doivent être mis en œuvre conformément aux prescriptions du DTU 21 : Exécution des travaux en béton ; cahier des clauses techniques

2.332 Mise en œuvre des connecteurs

Les connecteurs tubulaires sont mis en œuvre dans des percements circulaires du diamètre des connecteurs, pratiqués sur la face supérieure des poutres, et enfoncés de 4 cm de profondeur. Ils sont disposés en ligne ou en quinconce par rapport à l'axe des poutres à intervalle semi-régulier sur toute la longueur de ces dernières. Lorsqu'ils sont mis en œuvre en quinconces sur des lignes parallèles, la condition d'espacements entre connecteurs sera ≥ 1,2xØ à l'axe des connecteurs et dans les 2 directions.

Ces percements sont exécutés sur chantier, sauf exceptions, à l'aide d'un porte-outil guidé verticalement. Le diamètre du trou doit être de 69,6 mm (connecteur Ø70 mm), 49,6 mm (connecteur Ø50 mm) et 29,6 mm (connecteur Ø30 mm) avec des tolérances de + 0,4 mm et - 0,1 mm ; sa profondeur doit être de 40 mm, avec une tolérance de + 15 mm et - 1 mm.

L'extrémité des connecteurs est enfoncée dans les trous sur 40 mm de profondeur. Une fois enfoncés, il ne doit pas y avoir de « jeu » tel qu'on puisse retirer le connecteur à la main. La longueur des connecteurs est choisie de manière à ce que leur extrémité supérieure soit recouverte d'au moins 15 mm par le béton de la dalle

2.333 Conditions d'exécution

La conception et le calcul des planchers sont exclusivement réalisés par la société SYLVABAT

Les éléments obligatoires pour l'exécution du plancher sont énumérés ci-après :

- Note de calcul : Mention de toutes les charges (réparties, ponctuelles) dans les hypothèses
- Plan de pose : positionnement des connecteurs, positionnement des files d'étais, position des nus d'appuis, positionnement des trémies éventuelles ;
- Coupe courante : enrobage nappe basse, nappe haute, mention du treillis soudé général ;
- Coupe sur appui, y compris dans les zones de recouvrement (pour validation des enrobages)
- Plan de ferraillage de la nappe supérieure : armatures chapeaux, section des armatures, avec espacement maximal des fils, positionnement, mention des armatures de bonne construction et en chaînage ;
- Plan de ferraillage de la nappe inférieure si nécessaire : section des armatures, y compris armatures au feu, positionnement ;
- Détails autour des trémies ;
- Détails d'exécution en cas de sciage ;
- Type de béton, nuances d'acier utilisées ;
- Les dispositions constructives des armatures en conformités au DTU 21,
- Les détails d'incorporation de gaines techniques et canalisations, en vue du respect des enrobages.
- Notice décrivant les conditions de stockage et de manutention en cas de préfabrication.
- Les indications données dans le plan de pose établi par la société SYLVABAT, doivent être complétées par le bureau d'études chargé de l'exécution du bâtiment en ce qui concerne les poutres, les chaînages, les trémies et chevêtres et, plus généralement les autres parties en béton armé coulées en œuvre.
- L'attention du responsable de la construction (entreprise générale, maître d'œuvre, etc selon les cas) est attirée sur la nécessité de faire vérifier, au niveau des études, la compatibilité de la mise en œuvre de divers éléments, des armatures et équipements et de faire assurer la coordination dans les cas où la construction est composée de plusieurs fournitures d'éléments préfabriqués.
- La planéité de l'interface entre les éléments supports et les éléments rapportés doit être assurée par le respect des tolérances de fabrication de ces éléments. Tout dispositif de calage destiné à reprendre des imperfections géométriques en vue d'assurer l'étanchéité doivent être proscrits.

Les éléments en béton armé du plancher bois-béton SYLVABAT doivent être mis en œuvre conformément aux prescriptions du DTU n°21 : Exécution des travaux en béton ; cahier des clauses techniques.

2.334 Planchers courants

Des consignes doivent être prévues sur les plans de pose du plancher afin d'éviter des accumulations excessives de charges de mise en œuvre, quantités excessives de béton notamment.

Une attention particulière doit être accordée à la mise en place des armatures de la dalle et, notamment, à leur maintien en place pendant le coulage et le vibrage, obligatoire d'ailleurs, du béton.

Lors de la mise en place du béton il y a lieu de s'assurer du remplissage des connecteurs ce qui implique une attention particulière accordée à la granulométrie du béton : les granulats ne doivent pas être supérieurs à 15 mm.

Les joints de dilatations sont conçus conformément aux prescriptions des Règles de la norme NF EN 1992-1.

2.335 Cas particulier de la réhabilitation

Lorsque le plancher mixte bois/béton est réalisé avec des poutres anciennes, ces dernières doivent faire l'objet d'un examen minutieux afin de déterminer leur état ainsi que les paramètres permettant les vérifications par le calcul :

- réaliser un diagnostic des poutraisons pour juger de leur état de conservation ;
- vérifier la capacité de la structure existante à supporter un éventuel vérinage avant coulage de la dalle béton, destiné à réduire la déformation des solives existantes
- vérifier les sections résiduelles efficaces, par un diagnostic sanitaire et/ou parasitaire.
- vérifier l'état de déformation et de fissuration ;
- identifier l'essence utilisée et la classe technologique, conformément à la norme NF EN 14081 (bois massif), et NF EN 14080 (bois lamellé-collé).
- les poutres qui présenteraient des dégradations, des moisissures ou des cassures, doivent être obligatoirement remplacées ou renforcées par des techniques spéciales éprouvées.

- il y a lieu de tenir compte dans l'évaluation des charges, du supplément d'épaisseur de la dalle de béton, résultant de la déformation des poutres.

2.336 Contrôle sur chantier.

Les contrôles sur chantier doivent être menés en respectant au minimum les opérations prescrites dans la fiche d'autocontrôle élaborée par le bureau d'études et transmise par ses soins aux metteurs en œuvre du système.

2.34 Conditions de fabrication et de pose

La fabrication du procédé peut être réalisée partiellement en usine et sur chantier.
La fabrication complète en usine suit les étapes dans l'ordre chronologique suivant :

- Positionnement des solives à leur entraxe définitif
- Fixation du platelage en prenant en compte les largeurs d'appuis minimales et le positionnement pressentie des connecteurs
- Positionnement d'un film de protection des solives vis-à-vis de la laitance du béton. Ce film peut être placé avant ou après le positionnement des connecteurs. Un soin particulier doit être appliqué à la jonction entre film et connecteurs afin de ne pas créer de possibilité d'humidification des solives.
- Enfoncement en force des connecteurs. Les longueurs de pénétration des connecteurs se règle à l'aide de la butée de profondeur. L'espace entre les solives et le béton ne doit pas excéder 50 mm. L'axe des connecteurs doit se situer à 30 mm du bord des solives. La régularité de positionnement des connecteurs est établie selon les principes de conception et de dimensionnement (cf. §2.32 ci-après) en fonction des justifications disponibles.
- Mise en place des dispositifs d'étaiement.
- Coulage du béton

Dans le cas de la rénovation, les étapes suivantes doivent également être accomplies.

- Dégagement du platelage et vérification de sa tenue
- Expertise des solives et/ou positionnement des solives à leur entraxe définitif
- Perçage des orifices des murs périmétraux destinés à recevoir les ancrages (position par rapport aux appuis des solives, perçage selon enrobage souhaité des armatures de la dalle collaborante).

2.35 Conditions de conception

Dans le cas d'ouvrage neuf la contre-flèche des poutres bois réalisée lors de la fabrication doit être réservée aux poutres non-étayées et sa valeur limitée à la déformation due au poids propre du béton.

2.36 Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre est effectuée exclusivement par le personnel de la société SYLVABAT ou sous son contrôle par une entreprise tierce. Le titulaire du présent Avis Technique doit être en mesure de fournir une assistance technique au niveau du dimensionnement et de la mise en œuvre finale du procédé de plancher SYLVABAT.

Le contrôle des éléments constituants le système de plancher mixte consiste à s'assurer des bonnes spécificités dimensionnelles et de la traçabilité des éléments au moyen de certificats.

Le levage n'est pas visé par cet avis technique.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 2.1) est appréciée favorablement.

Validité

A compter de la date de publication présente en première page, jusqu'au 30 Juin 2022.

Pour le Groupe Spécialisé n°3.1
Le Président

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le plancher Sylvabat appartient à la famille des planchers mixte bois-béton, dont le principe réside dans la réalisation d'une connexion entre une dalle en béton armé et des poutres en bois, l'objet de la connexion étant de bloquer le glissement longitudinal entre les deux matériaux pendant le fléchissement sous les charges. La particularité du plancher mixte Sylvabat tient à la nature des connecteurs, des tubes en acier mis en œuvre dans des percements circulaires du diamètre des connecteurs, pratiqués sur la face supérieure des poutres, et enfoncés de 4 cm de profondeur.

Les performances de ces connecteurs ont été déterminées par des essais. L'attention est attirée sur la spécificité de la méthode de dimensionnement proposée en annexe qui doit être suivie par le bureau d'étude de l'opération

Les prescriptions relatives à l'utilisation du plancher en zone sismique tiennent compte des études et portent d'une part sur le comportement individuel des connecteurs soumis à des actions cycliques alternées, d'autre part sur des planchers connectés également soumis à des actions cycliques alternées. Les prescriptions techniques rédigées dans l'Avis pour l'utilisation en zone sismique résultent des résultats de ces travaux.

A ce sujet, le Groupe Spécialisé tient à attirer l'attention sur le fait que les prescriptions énoncées en §2.313, concernant l'utilisation des planchers Sylvabat en zone sismique, ne préjuge pas du comportement global du bâtiment vis-à-vis du séisme (contreventement, notamment), et pour lequel des justifications particulières sont à entreprendre par ailleurs par le Maître d'Œuvre ou le Bureau d'Etudes.

Enfin, pour l'utilisation dans les Départements et Collectivités d'Outre-mer, le Groupe Spécialisé tient à souligner le fait que les conditions locales particulières d'hygrométrie et d'attaques biologiques imposent un choix particulièrement attentif dans la qualité des bois utilisés et dans leur protection vis à vis des agents biologiques.

Le document précise au §2.311 les limitations de la flèche active en fonction du revêtement de sol prévu. Les limitations sont reprises du guide d'application des normes NF EN 1992 (FD P18 717).

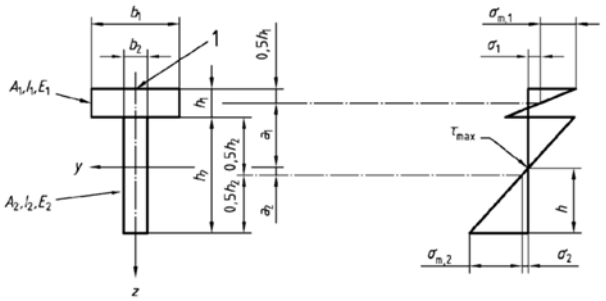
Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n°3.1

Annexe : Mode de calcul

La présente annexe fait partie de l'Avis Technique : le respect du mode de calcul indiqué est une condition impérative de la validité de l'Avis.

4. Cas Général

4.1 Notations



Pour les calculs les notations retenues sont celles de l'Annexe B de la norme NF EN 1995-1-1 (méthode Gamma), ci-dessous :

Avec les indices i suivants :

Béton : i=1

Bois : i=2

4.11 Béton

$b_1 = b_{eff}$: largeur de la section de béton considérée (mm)

h_1 : hauteur de la section de béton considérée (mm)

A_1 : Aire de la section de béton considérée (mm²)

I_1 : Moment d'inertie de la section de béton considérée (mm⁴)

γ_1 : Coefficient de pondération de la quantité de rigidité en flexion apportée par la section de béton

a_1 : Distance reliant le centre de la section de béton à l'axe neutre (mm)

E_1: Module d'élasticité moyen du béton sous chargement court terme (MPa)

$E_{1,inf}$: Module d'élasticité du béton sous chargement long terme (MPa)

$\gamma_{m,1}$: Coefficient partiel du matériau béton selon EN 1992-1-1

f_{ck} : Résistance caractéristique cylindrique à la compression (Mpa)

$f_{cd} = 0,85x\ f_{ck} / \gamma_{m,1}$

f_{yk} : Limite d'élasticité des armatures (MPa)

4.12 Poutre en Bois

lt : portée (mm)

b_2 : largeur de la section de bois considérée (mm)

h_2 : hauteur de la section de bois considérée (mm)

A_2 : Aire de la section de bois considérée (mm²)

I_2 : Moment d'inertie de la section de bois considérée (mm⁴)

a_2 : Distance reliant le centre de la section de bois à l'axe neutre (mm)

E_2 : Module d'élasticité moyen du bois sous chargement court terme (MPa)

$E_{2,inf}$: Module d'élasticité du bois sous chargement long terme (MPa)

k_{mod} : Coefficient dépendant de la classe de service et de la durée de charge selon EN 1995-1-1

$\gamma_{m,2}$: Coefficient partiel du matériau bois selon EN 1995-1-1

k_{def} : Coefficient de déformation dépendant de la classe de service selon EN 1995-1-1

$f_{m,k}$:Résistance caractéristique à la flexion

$f_{t,0,k}$: Résistance caractéristique à la traction

$f_{v,k}$:Résistance caractéristique au cisaillement

Résistance de calcul à la flexion : $f_{m,d} = K_{mod} \times k_h \times f_{m,k} / \gamma_{m,2}$

Résistance de calcul à la traction : $f_{t,0,d} = K_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_{m,2}$

Résistance de calcul au cisaillement : $f_{v,d} = K_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_{m,2} \times k_{cr}$

Le coefficient de fissuration k_{cr} est défini dans l'EN 1995-1-1:2004/A1:2008 § 6.1.7.

4.13 Connecteurs

Espacement en cas de distribution constante : s

En cas de distribution variable :

- s1 = espacements entre chaque connecteur sur les zones d'appuis, soit sur le 1/4 gauche et le ¼ droit de la longueur totale de la poutre.
- s2 = (qui est aussi = 2 x s1) espacement entre chaque connecteur sur la zone centrale qui correspond à la ½ longueur totale de la poutre.
- sp = espacement constant équivalent entre chaque connecteur
- s_{eq} = 0,75 x s1 + 0,25 x s2
- K_{ser} : Rigidité de connexion aux ELS : (selon §2.313 et §2.315)
- K_u : Rigidité de connexion aux ELU Avec : $K_u = 2/3 * K_{ser}$

Résistance en cisaillement de la connexion :

Résistance de calcul côté connexion Bois

$R_{con,d}$ (selon les valeurs données dans le §2.313 et §2.315)

Résistance de calcul au cisaillement de la connexion côté béton

EN 1994-1-1 §6.6.3.1 : cette valeur est prise comme le minimum entre le terme de cisaillement du connecteur (P_{Rd1}) et le terme de compression du béton à proximité du connecteur (P_{Rd2}).

$$P_{Rd} = \min\left(P_{Rd1} = \frac{0,8 f_u \pi d^2 / 4}{\gamma_V} \ ; P_{Rd2} = \frac{0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_V} \right)$$

f_u : Résistance à la traction ultime spécifiée du matériau du goujon = 235 N/mm²

d : Diamètre des connecteurs d= 30, 50 ou 70 mm

γ_v : facteur partiel = 1.25

$$\alpha = 0,2\left(\frac{h_{sc}}{d} + 1\right) \quad \text{pour} \quad 3 \le \frac{h_{sc}}{d} \le 4 \ ; \quad \alpha = 1 \quad \text{pour} \quad \frac{h_{sc}}{d} > 4$$

h_{sc} = hauteur minimale hors tout des connecteurs

Résistance en cisaillement de la connexion

Cette valeur est prise comme la valeur de calcul minimum entre le terme de cisaillement du connecteur et de la compression béton d'une part (P_{Rd}) et la terme de cisaillement côté bois d'autre part ($R_{con,d}$)

$R_{con,vd}$ =min ($R_{con,d}$, P_{Rd})

4.2 Calcul des paramètres de la section

4.21 Rigidité efficace de la section

Selon Eurocode 5 - Appendice B2 :

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$(EI)_{eff} = \sum_{i=1}^{2} \left(E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2\right)$$

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b_i h_i$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

i=1 pour le béton

i=2 pour le bois

γ_2=1

$$\gamma_1 = \left[1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s}{K_u \times lt^2}\right]^{-1}$$

avec lt portée considérée de la poutre

Distances à l'axe neutre de la poutre mixte

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2)}$$

$a_1 = r - a_2$

où : r est la distance entre les centres de gravité des sections A_1, A_2

et $r = (h_1 + h_2)/2$

$(EI)_{ef} = E_1 x I_1 + E_2 x I_2 + \gamma_1 x E_1 x A_1 x a_1^2 + \gamma_2 x E_2 x A_2 x a_2^2$

4.22 Exemple de taux de collaboration entre dalle et solives à l'ELS sous chargement permanent

Les solives à entraxe 80 cm, sont en résineux de classe C24. Les connecteurs sont de type Connecteur Ø50 mm avec un platelage de 20 mm d'épaisseur.

$$\gamma_1 = \left[1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s}{K_{ser} \times lt^2}\right]^{-1} = 0{,}191$$

Avec

E_1 (module d'élasticité du béton) = 31 000 MPa

A_1 (section de dalle) = 800 mm x 80 mm = 64000 mm²

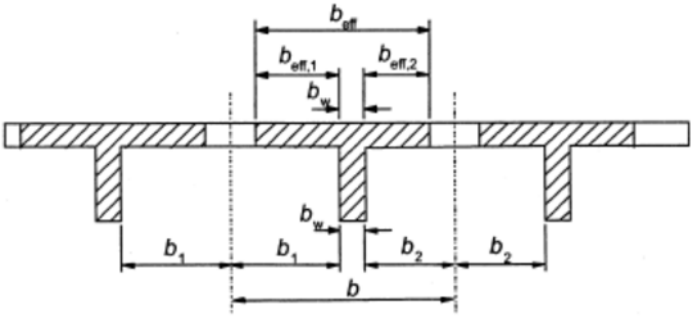
s (distance constante entre connecteurs) = 300 mm

K_{sqr} rigidité aux ELS : 55,33kN/mm

lt (longueur de solives) = 5.0 mètres

4.23 Largeur efficace

La largeur efficace de la section de béton considérée pour la table de compression est définie selon le §5.3.2.1 de l'Eurocode 2 tel que :



La largeur participante b_{eff} d'une poutre en T ou d'une poutre en L peut être prise égale à :

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \qquad \text{... (5.7)}$$

avec

$$b_{eff,i} = 0{,}2b_i + 0{,}1\ell_0 \leq 0{,}2\ell_0 \qquad \text{... (5.7a)}$$

et

$$b_{eff,i} \leq b_i \qquad \text{... (5.7b)}$$

$$b_{eff} = \min\ (b\ ;\ b_{eff,1}, + b_w + b_{eff,2})$$

4.3 Dimensionnement

4.31 Principe de vérification

Les vérifications sont à mener à l'E.L.S et à l'E.L.U avec pour la section mixte les caractéristiques de rigidité instantanée $(EI)_{eff,0}$ et de rigidité à long terme $(EI)_{eff,\infty}$, à calculer pour ces 2 types de vérification avec les termes suivants :

- E.L.S court terme: E_1 ; E_2 ; K_{ser}
- E.L.S long terme : $E_{1,\infty}$; $E_{2,\infty}$; $K_{ser,\infty}$
- E.L.U court terme : E_1 ; E_2 ; K_u
- E.L.U court terme : $E_{1,\infty}$; $E_{2,\infty}$; $K_{u,\infty}$

Avec

$E_{1,\infty} = E_1 / (1+\psi_2 . \phi)$ et $E_{2,\infty} = E_2 / (1+\psi_2 . k_{def})$

$K_{u,\infty} = K_u / (1+\psi_2 . k_{def})$ et $K_{ser,\infty} = K_{ser} / (1+\psi_2 . k_{def})$

4.32 Vérification des contraintes

Les vérifications en résistances à l'E.L.U sont effectuées en superposant l'état de contrainte de la phase provisoire et celui de la phase finale. Les vérifications tiennent compte de l'effet du fluage.

- Contrainte sous l'effort axial :

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i \times E_i \times a_i \times M_u}{(EI)_{ef}}$$

- Contrainte de flexion :

$$\sigma_{m,i} = \frac{0{,}5 \times E_i \times h_i \times M_u}{(EI)_{ef}}$$

- Pour la poutre bois :
- $$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$
- Pour la dalle béton :
- $\sigma_{c,d} \leq f_{c,d}$
- Avec : $\sigma_{c,d} = \sigma_{n,d} + \sigma_{m,d}$ (contrainte de compression maxi)
  - $\sigma_{1,max} = \sigma_{n,1} + \sigma_{m,1}$ (compression max au sommet de la dalle)
  - $\sigma_{1,min} = \sigma_{n,1} - \sigma_{m,1}$ (traction max dans la dalle collaborante -> absorbée par l'armature)

4.321 Justification à l'effort tranchant

Solives bois

On vérifiera que :

$$\frac{\tau_{2,max}}{f_{v,d}} \leq 1$$

Avec

$f_{v,d}$: Résistance de dimensionnement en cisaillement du bois

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_{m,2}} \times k_{cr}$$

Et

$$\tau_{2,max} = \frac{E_2 \times S_2 \times V_u}{(EI)_{ef} \times b_t} \quad \text{d'où :} \quad \tau_{2,max} = \frac{E_2 \times h_2^{\ 2} \times V_u}{2 \times (EI)_{ef}}$$

Avec Vu : effort tranchant maximum de dimensionnement

Dalle béton

On se reportera aux vérifications usuelles d'une poutre type béton armée vis-à-vis des sollicitations de cisaillement au sens de la norme NF EN 1992-1-1.

- Vérification de la compression des bielles de béton

$$\nu_{Ed} \leq \nu\ f_{cd} \cdot \sin\theta_f \cdot \cos\theta_f$$

selon NF EN 1992 (§6.2.2) on a :

$$\nu = 0{,}6\left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] \qquad (\ f_{ck}\ \text{en MPa})$$

- Vérification des sections d'armatures de reprise d'effort tranchant

Selon les dispositions de la NF EN 1994-1-1 (§6.6.6.2.1, Ref NF EN 1992-1-1 §6.2.4).

La contrainte de cisaillement longitudinale v_{Ed}, développée à la jonction entre un côté de la membrure et l'âme est déterminée par la variation d'effort normal (longitudinal) dans la partie de membrure considérée :

$$\nu_{Ed} = \Delta F_d / (h_1 \cdot \Delta x)$$

h_1 est l'épaisseur de la membrure à la jonction

Δx est la longueur considérée

ΔF_d est la variation de l'effort normal dans la membrure sur la longueur Δx

Δx = l/4 (EN 1992 6.2.4.3)

ΔFd = nb connecteurs en Δx pour force par connecteur /2

(4) L'aire de la section des armatures transversales par unité de longueur, A_{sf}/s_f, peut être déterminée comme suit :

$$(A_{Sf}\ f_{yd} / s_f) \geq \nu_{Ed} \cdot h_1 / \cot\theta_f$$

Afin d'éviter l'écrasement des bielles de compression dans la membrure, il convient par ailleurs de vérifier :

$$v_{Ed} = v\ f_{cd} \cdot \sin\theta_f \cdot \cos\theta_f$$

1,0 ≤ cot θ_f ≤ 2,0 pour les membrures comprimées (45° ≥ θf ≥ 26,5°)

1,0 ≤ cot θ_f ≤ 1,25 pour les membrures tendues (45° ≥ θ_f ≥ 38,6°)

θ_f = 45°

Vérifications armature transversale (§6.21)

A_{sf}/s_f = quantité d'armature transversale mini par unité de longueur = v_{Ed} x h_f / f_{yd}

Armature mini:

Selon NF EN 1994 (§6.6.6.3) renvoi à la NF EN 1992 (§9.2.2 (5))

Le taux d'armatures d'effort tranchant est donné par :

$$\rho_w = A_{SW} /(s_{arm} . b_w . \sin\alpha)$$

Où :

ρ_w est le taux d'armatures d'effort tranchant

A_{SW} est l'aire de la section des armatures d'effort tranchant régnant sur la longueur s

s_{arm} est l'espacement des armatures d'effort tranchant, mesuré le long de l'axe longitudinal de l'élément

b_w est la largeur de l'âme de l'élément

α est l'angle entre les armatures d'effort tranchant et l'axe longitudinal

$$\rho_{w,\min} = \left(0{,}08\sqrt{f_{ck}}\right) / f_{yk}$$

Il est opportun ne pas mettre en œuvre moins d'une armature tous les 33 cm (3 barres/ mètre).

Vérification connecteur

Il convient de vérifier que :

$$\frac{F_{2,\max}}{R_{con,vd}} \leq 1$$

Avec

$R_{con,vd}$ (en N) : la résistance en cisaillement de la connexion calculée selon le §1.14 de cette annexe.

Et $F_{3,max}$ (en N) : l'effort de cisaillement maximum sur la connexion

$$F_{2,max} = \frac{\gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2 \times s \times V_u}{(EI)_{ef}} \quad [N]$$

V_u: effort tranchant maximum de dimensionnement

4.33 Vérification des déformations (ELS)

Flèche instantanée W $_{inst(Q)}$ (déformation court terme)

On considère la combinaison des charges d'exploitation à court terme pour vérifier :

$W_{inst(Q)}$ < L / 300

Flèche active

Le fléchissement actif, ou fléchissement nuisible est limité à :

En l'absence de revêtement de sol fragile et de cloisons fragiles, la flèche active est limitée à :

- L/350 pour L≤7,00 m
- 1 cm + L/700 pour L>7,00 m

En présence de revêtement de sol fragile ou de cloisons fragiles, les prescriptions portant sur la limitation des flèches nuisibles du FD P18 717 sont adoptées, soit :

- L/500 pour L≤7,00 m
- 0,7 cm + L/1000 pour L>7,00 m

Flèche finale W $_{net, fin}$ (déformation long terme)

On considère la combinaison des charges permanentes et des charges d'exploitation long terme en prenant en compte le fluage.

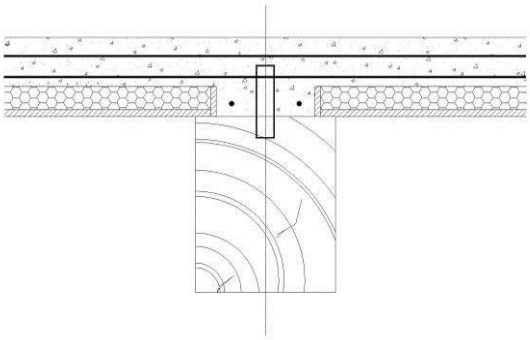
Il s'agit de vérifier la flèche finale telle que :

$W_{net, fin}$ < L / 250

5. Poutre avec renformis

Dans certains cas il arrive que la dalle soit rehaussée sur le coffrage, ce qui crée un renformis béton sur une certaine largeur de la poutre

5.1 Renformis sans armatures transversales



Dans le cas où la hauteur du renformis est inférieur à sa largeur, on peut se dispenser d'armatures transversales en prenant en compte un coefficient de réduction pour la résistance des connecteurs : kℓ (Selon NF EN 1994 §6.6.4.1)

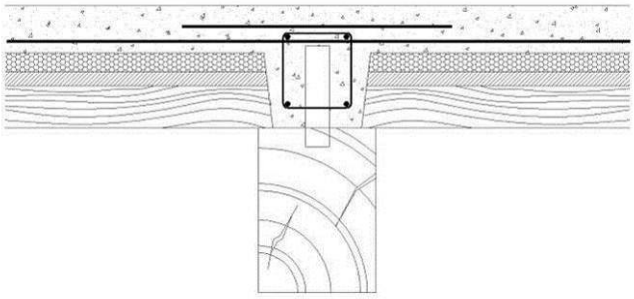
$$k_l = 0{,}6\frac{b_0}{h_p}\left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right) \leq 1$$

Avec : b_0 largeur du renformis

h_p hauteur de renformis

h_{sc} hauteur du connecteur dans le béton < h_p + 75 mm

5.2 Renformis avec armatures transversales



Les cadres assurent le couturage entre le renformis et la table de compression lorsque la hauteur du renformis est supérieure à sa largeur. Dans ce cas le facteur kℓ n'est pas utilisé.

La vérification des armatures transversales et des bielles de compression s'effectue selon la même méthode décrite précédemment au §1.321 pour la dalle béton.

A. Description du procédé

1. Principe du procédé et domaine d'emploi

Le plancher mixte bois-béton SYLVABAT consiste à faire travailler des poutres en bois avec une dalle béton armé grâce à une liaison entre les deux matériaux réalisée avec des connecteurs métalliques. Ces connecteurs métalliques tubulaires sont répartis le long de la face supérieure des poutres pour limiter le glissement à l'interface des deux matériaux. Cela permet de calculer une section mixte bois-béton et utiliser ainsi son inertie totale dans les calculs.

Le procédé est applicable à tout type de bâtiment (maison individuel, logement collectif, tertiaire, ERP, etc…), dont la structure porteuse verticale peut être en béton armé, métallique, en maçonnerie ou en bois, en France métropolitaine.

L'utilisation du procédé est possible dans les zones de sismicité I à IV pour les bâtiments de catégorie d'importance I à IV, et en zone V pour les bâtiments de catégorie d'importance I et II au sens de l'article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Il est possible de reprendre des charges de toute nature (ponctuelles et réparties) et intensité, limitées cependant aux charges statiques et quasi-statiques définies dans l'Eurocode 1. La dalle béton permet d'assurer le rôle de diaphragme par mise en œuvre des dispositions nécessaires (ferraillages, chainages, liaison aux éléments verticaux de stabilité). Elle peut aussi intégrer des chevêtres et trémies. L'utilisation du procédé est possible en classe de service 1 et 2

Lors de l'utilisation du procédé SYLVABAT en réhabilitation, le calcul prend alors en compte les sections résiduelles effectives.

2. Définition des matériaux

2.1 Poutres en bois

Les poutres ou solives, neuves ou existantes, peuvent être en lamellé collé ou bois massif (résineux ou feuillus), dont les caractéristiques doivent satisfaire les normes NF EN 14081 et NF EN 338 pour les bois massifs et NF EN 14080 et NF EN 1194 pour les bois lamellé collé. La classe de résistance minimum est C18 pour les bois massifs résineux et GL24 pour les bois lamellés collés.

L'utilisation du procédé est possible en classe de service 1 et 2. La durabilité du bois (naturelle ou après traitement) sera adaptée aux conditions d'emploi, au risque biologique et conforme aux normes en vigueur.

Les poutres peuvent être rabotées ou non ; leur largeur doit respecter une pince de 12 mm entre le bord du connecteur et la face latérale. Cette pince est portée à 20 mm dans le cas de reprise d'efforts sismiques par les connecteurs. Les poutres en bois ont une largeur minimale de 6cm (dans le cas de mise en œuvre de connecteurs de diamètres nominal de 30 mm), de 7,5cm (dans le cas de mise en œuvre de connecteurs de diamètres nominal de 50 mm) et de 9cm (dans le cas de mise en œuvre de connecteurs de diamètres nominal de 70 mm) et une hauteur minimale de 8cm.

Elles peuvent être réalisées avec ou sans contreflèche.

Dans le cas de plancher existant, une vérification des éléments devant être renforcés par connexion (sections résiduelles, état sanitaire des bois, fissuration préjudiciable et défauts) devra être réalisée pour valider la faisabilité du renforcement et la mise en œuvre.

2.2 Connecteurs

Les connecteurs sont fournis par la société SYLVABAT. Ce sont des tubes en acier S235 minimum, d'épaisseur 2 mm (+/- 0,2 mm) et de diamètre extérieur 30 / 50 / 70 mm (+/- 0,3 mm). Leur longueur dépend de l'épaisseur du coffrage et de la dalle, sans pouvoir être inférieure à 75 mm et avec un recouvrement minimum de 15 mm par le béton de la dalle.

Ils sont mis en œuvre dans des percements circulaires du diamètre des connecteurs, pratiqués sur la face supérieure des poutres, et enfoncés de 4 cm de profondeur. Ils sont disposés en ligne ou en quinconce par rapport à l'axe des poutres à intervalle semi-régulier sur toute la longueur de ces dernières. Lorsqu'ils sont mis en œuvre en quinconce sur des lignes parallèles, la condition d'espacements entre connecteurs sera ≥ 1,2xØ à l'axe des connecteurs et dans les 2 directions.

Ces percements sont exécutés sur chantier, sauf exceptions, à l'aide d'un porte-outil guidé verticalement. Le diamètre du trou doit être de 69,6 mm (connecteur Ø70 mm), 49,6 mm (connecteur Ø50 mm) et 29,6 mm (connecteur Ø30 mm) avec des tolérances de + 0,4 mm et - 0,1 mm; sa profondeur doit être de 40 mm, avec une tolérance de + 15 mm et - 1 mm.

2.3 Fond de coffrage

Le coffrage prévu peut être perdu ou récupérable et de tout type de matériau si sa résistance est vérifiée sous charges provisoires par rapport à sa portée. Dans le premier cas, l'appui du panneau de coffrage sur les poutres doit se faire sur une profondeur d'au moins 1,5 cm le béton étant en contact direct avec les solives entre les panneaux. En cas de coffrage récupérable, celui-ci est maintenu entre les poutres.

Les panneaux de coffrage sont fixés sur les poutres par clouage, vissage, agrafage ou collage.

Le coffrage peut aussi être réalisé avec des bacs aciers qui sont soient interrompus au droit des poutres (coffrage des rives par costières à prévoir), soient posés en continus lorsqu'ils sont pré-percés. Dans le cas d'une pose en continuité sur les poutres, un coefficient kt ou kl (issu de la NF EN 1994-1) sera appliqué à la résistance en cisaillement du connecteur.

Un platelage existant peut-être conservé si sa résistance est vérifiée et qu'il repose directement sur les poutres (pas de calage entre ce platelage et la face supérieure des éléments connectés). Il est soit découpé au droit des connecteurs afin d'assurer les conditions d'enrobages réglementaires, soit il est traversé par les connecteurs dans les conditions données dans le §2.315 de l'avis technique.

Tout type de coffrage (perdu ou récupérable) peut être employé, à partir du moment où sa capacité portante en phase provisoire est justifiée par le calcul. Le fond de coffrage peut être de natures différentes :

- Prédalles béton ;
- Bacs acier ;
- Panneaux à base de bois (OSB2/3 selon la norme NF EN 300, panneaux de particules P4/5/6/7 selon la norme NF EN 312, contreplaqués selon la norme NF EN 636-1/2/3, LVL, etc.).

2.4 Isolant

Un matériau isolant peut être interposé entre le fond de coffrage et la dalle, pour les raisons suivantes :

- soit pour une fonction d'isolation : phonique ou thermique ;
- soit pour une nécessité de dimensionnement : compensation de déformation et mise à niveau sans recharge béton (réduction de poids de béton rapporté) ou rehausse de la dalle pour augmenter l'inertie mixte.

Ce matériau ne devra pas s'écraser en phase provisoire sous le poids du béton lors du coulage et sa classe d'incompressibilité devra vérifier sa capacité à supporter ces charges.

L'isolant sera de classe SC1, suivant la NF DTU 52.10 P1-2.

Lorsque le béton aura séché l'isolant n'aura plus de rôle porteur et la dalle doit être justifiée en travée pour reprendre l'ensemble des charges finales.

Il doit être mis en œuvre selon une disposition en hourdis entre les éléments connectés, de manière à laisser une nervure béton continue sur toute la longueur de l'élément connecté pour recevoir les connecteurs.

La largeur de cette nervure sera au minimum égale au diamètre des connecteurs + 30 mm ou sera précisée dans les calculs si elle doit être supérieure.

2.5 Armatures

Les armatures utilisées dans les ouvrages béton doivent respecter les spécifications de la norme NF EN 1992-1 et son annexe C.

En zone sismique, elles doivent respecter les spécifications de la norme NF EN 1998-1 §5.3.2, §5.4.1 et §5.5.1.1.

2.6 Dalle béton

Le béton structurel de la dalle respecte les exigences des normes NF EN 206/CN et NF EN 1992-1-1 et doit être vibré lors de sa mise en œuvre.

La dalle a une épaisseur minimum de 5 cm et la classe de résistance du béton est au moins égale à C25/30 avec une petite granulométrie (diamètre des granulats inférieur à 15 mm).

Son épaisseur minimum passe à 7 cm, pour pouvoir être prise en compte comme diaphragme en situation sismique ou pour contreventer (en se référant aux normes NF EN 1992-1-1 et NF EN 1998-1-1). Pour remplir cette fonction diaphragme, les liaisons entre la dalle et les éléments verticaux de stabilité, doivent être soigneusement calculés et les efforts transitant dans la dalle repris par les armatures et chaînages nécessaires.

Le dimensionnement de la dalle BA se fait selon la norme NF EN 1992-1-1 pour pouvoir satisfaire aux exigences du projet (charges, portées, isolation phonique, degré coupe-feu, etc …) et selon sa nature (dalle pleine ou dalle sur bac acier collaborant).

Dans le cas de planchers de type préfabriqués avec coulage de la dalle de compression sur site et sur prédalles, les dispositions constructives doivent respecter les Cahiers des Prescriptions Techniques édités par le CSTB et les DTU associés en vigueur.

Dans des cas de figure spécifiques, une nervure béton (renformis) est réalisée sur les poutres bois. On retrouve ce cas par exemple dans les planchers à la française (solives posées sur le dessus de poutres maitresses) ou lorsque l'on veut rehausser la dalle par rapport au plan de coffrage. Cette nervure est armée par un chainage constitué de cadres et d'aciers HA filants selon nécessité du calcul, pour assurer la bonne transmission des efforts entre la table de compression et ce renformis.

3. Dimensionnement

Etablir une connexion entre le bois et le béton a pour but d'éviter le glissement à l'interface de ces deux matériaux. L'inertie totale de la section mixte bois-béton peut dans ce cas être exploitée, avec une sollicitation du bois des poutres en traction et du béton en compression.

Dans le cadre de ce procédé, seul le BET interne de la société SYLVABAT se charge de réaliser les calculs de connexion, et s'assure que ceux-ci répondent aux normes éditées par les Eurocodes. En particulier, l'annexe B de la norme NF EN-1995 qui traite de la semi-rigidité de la connexion.

3.1 Cas général

Le dimensionnement prend en compte une 1ère phase (provisoire), durant laquelle la connexion n'est pas effective et où la poutre bois reprend l'intégralité des efforts (charges de coulage). Puis une 2ème phase (définitive) qui tient compte de la connexion une fois que le béton a atteint sa résistance finale après séchage, pour reprendre les charges permanentes ajoutées et l'exploitation.

En général la poutre est étayée de façon passive en phase provisoire de sorte à ne pas amener de contraintes ou déformations dans le bois. Cependant, si cela est justifiable par le calcul il est envisageable de ne pas étayer. Dans ce cas l'état de contrainte et de déformations final, devra être vérifié en combinant les résultats des 2 phases (principe de superposition dans le cas d'une analyse élastique).

Le fluage des 2 matériaux n'est pris en compte que dans la phase définitive. Il est négligé en phase provisoire dont l'état ne dure que le temps du séchage du béton.

Phase provisoire

Lors de cette étape, la poutre en bois, qui n'est pas encore connectée au béton, est calculée, pour l'ensemble des charges appliquées lors du coulage : poids de béton frais, poids des plafonds et remplissages conservés. Il faudra tenir compte des surépaisseurs de béton lorsqu'il y a des déformations existantes du plancher, ce qui est souvent le cas en réhabilitation pour les planchers anciens.

Un critère de déformation devra être respecté pour les solives et pour le platelage :

- L/500 si un aspect de sous face est nécessaire.
- L/200 sans aspect de sous face. Si la déformée à mi portée ne respecte pas ce critère, un étayage devra être prévu.

Dans certains cas les étais peuvent être mis en charge par vérinage afin de réduire les déformations existantes de poutres, qui se retrouvent alors en situation hyperstatique. Il faudra tenir compte dans le calcul final des réactions d'appuis amenées par les étais, que l'on appliquera sous forme de charges ponctuelles de même intensité, à la poutre rendue isostatique après séchage du béton et dépose des étais.

Dans le cas d'un plancher neuf en lamellé-collé, on peut parfois se dispenser d'étaiement, en le remplaçant par une contreflèche à la fabrication qui compense la déformation sous charges de coulage.

On prendra en compte là encore, l'état de contrainte initial sous charges de coulage de la poutre pour le calcul final.

Vérification de la sécurité

Elle est effectuée sous l'action simultanée :

- d'une charge uniformément répartie représentant le poids propre du plancher pondéré par 1,35 ;
- d'une charge ponctuelle P pondérée par 1,5, placée au milieu de la portée libre L1, représentant l'action des charges de mise en œuvre. La charge ponctuelle P, en kN, est prise égale à :
  -
    - 0,5. L1 si L1 < 6,0 m
    - 1,5 + 0,25. L1 si L1 > 6,0 m

    Avec L1 = portée libre en phase de mise en œuvre, en m.

    La vérification dans cette phase concerne la poutre en bois et le fond de coffrage. La contrainte dans le bois sous l'action pondérée du poids propre du plancher et des charges de la mise en œuvre est limitée à k_h . f_{mk} / 1,3.

Dans tous les cas, le platelage devra être en appui de 15 mm minimum sur chaque bord des solives.

Phase définitive

La poutre en bois, qui est maintenant connectée en section mixte, est calculée, sous l'ensemble des charges du projet.

On vérifie à nouveau que les éléments bois de la structure respectent tous les critères ELU et ELS de la norme NF EN 1995.

Les critères ELU sont : la résistance en flexion, au cisaillement et à la compression transversale.

Les critères ELS sont : la flèche instantanée, la flèche active et la flèche finale.

Les éléments béton doivent quant à eux respecter les critères de la norme NF EN 1992-1-1.

La connexion doit être calculée de sorte que la résistance des connecteurs ne soit pas dépassée, tout en respectant les conditions énoncées aux §2.316 et 2.332 de la partie Avis.

Capacité résistante des connecteurs

Selon leur diamètre et le degré de résistance du bois dans lequel ils sont insérés, les connecteurs ont une capacité variable à reprendre les efforts de cisaillement longitudinal qui les affectent. Un autre facteur intervient, correspondant à la condition de pose du platelage formant fond de coffrage, avec 2 dispositions à distinguer :

- Le platelage est continu sur la solive et le béton n'atteint pas sa face supérieure (jusqu'à 25 mm d'épaisseur de platelage).
- Le platelage est interrompu au droit du connecteur et le béton atteint la face de la solive.

Les valeurs à prendre en compte dans les justifications à mener à l'ELU sont les suivantes :

Connecteur Ø30 mm :

- Platelage découpé : R_d = 14,26 kN / Kser = 88,21 kN/mm
- Platelage continu : R_d = 10,28 kN / Kser = 29,42 kN/mm

Connecteur Ø50 mm :

- Platelage découpé : R_d = 25,00 kN / Kser = 49,00 kN/mm
- Platelage continu : R_d = 19,59 kN / Kser = 55,33 kN/mm

Connecteur Ø70 mm :

- Platelage découpé : R_d = 31,50 kN / Kser = 49,00 kN/mm
- Platelage continu : pas de valeurs

Ces valeurs sont à considérer dans le cas d'une utilisation en classe de service 2 et pour des charges de durée d'application moyenne au sens de l'article 2.1.3 de la norme NF EN 1995-1-1.

La capacité résistante des connecteurs donnée ci-dessus est valable pour des bois pour lesquels la masse volumique moyenne est de l'ordre de 450 kg/m³. Pour des bois de masse volumique différente, la capacité résistante doit être affectée par un coefficient égal à :

$$[m_{VR}/ 400]^{0,5}$$

où m_{vr} est la masse volumique caractéristique, en kg/m³, du bois mis en œuvre, sans que ce coefficient puisse dépasser la valeur de 1,15.

En outre, dans le cas d'une utilisation dans une classe de service différente de la classe 2 et/ou pour une durée d'application des charges différente de la durée moyenne, au sens de l'article 2.1.3. de la norme NF EN 1995-1, la capacité résistante des connecteurs à prendre en compte dans les calculs doit être affectée d'un coefficient égal à :

Min (k_{mod} / 0,8 ; 1)

k_{mod} étant donné dans la norme NF EN 1995-1-1en fonction de la classe de service et de la durée d'application de la charge.

3.2 Trémies et Chevêtres

Lorsque des réservations traversent la dalle, il faut vérifier si cela réduit la largeur de 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 NF EN 1992-1-1.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de créer des chevêtres recoupant plusieurs solives et repris par des solives d'enchevêtrure ou des poutres, dont la section devra être dimensionnée pour être capable de supporter la charge ponctuelle amenée.

Le chevêtre peut être une poutre mixte, un profilé métallique ou une bande noyée. Les assemblages entre éléments seront alors dimensionnés selon la norme NF EN 1995, NF EN 1993 ou NF EN 1992-1-1.

Cela est valable aussi en réhabilitation où l'on trouve souvent des chevêtres bois existants. Dans ce cas particulier les assemblages solives/chevêtres et chevêtres/poutres sont généralement de type traditionnels bois-bois et devront être justifiés ou renforcés si nécessaire.

3.3 Porte à faux en prolongement d'une poutre isostatique sur deux appuis

En se limitant au cas d'un porte-à-faux ne dépassant pas 2 fois la portée isostatique et limité à 2 m, on peut effectuer les vérifications suivantes :

- Absence de soulèvement sur l'appui de la travée isostatique situé à l'opposé du porte-à-faux.
- Justification de la travée isostatique connectée aux ELS et ELU sans tenir compte du porte-à-faux. Le moment est alors surévalué par rapport à la réalité ce qui est sécuritaire.
- Justification du porte à faux et du moment négatif sur appui aux ELS et ELU sans prendre en compte de connexion.
- Prévoir le ferraillage en chapeau de la zone soumise à un moment négatif.

3.4 Conception des appuis de continuité

- En ce qui concerne la continuité des dalles béton sur les appuis parallèles à leur sens porteur, il convient de prévoir des armatures supérieures capables d'équilibrer l'inversion de moment, en tenant compte de la rigidité en flexion de cet appui (mur, poutre,…).
- Cas de poutre mixte hyperstatique avec appuis intermédiaires :

Dans tous les cas, les travées sont dimensionnées en isostatique pour l'ELS et l'ELU mais la connexion tiendra compte des efforts tranchants réels sur appuis intermédiaires.

Le moment négatif au droit des appuis intermédiaires est soit repris intégralement par la poutre bois sans tenir compte de la connexion, soit dans le cas où il y a dépassement de la capacité du bois en flexion, le moment différentiel est repris par la table de compression qui est alors assimilée à une poutre béton avec armatures de traction. La largeur efficace de cette poutre béton est prise selon §5.3.2.1 de la norme NF EN 1992-1. Le dimensionnement des armatures de traction est effectué selon la norme NF EN 1992-1.

3.5 Utilisation en zone sismique

En cas d'utilisation en zones sismiques pour lesquelles des dispositions sont requises au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, les planchers mixtes bois-béton SYLVABAT doivent vérifier les 3 conditions suivantes :

- la fonction diaphragme horizontal ;
- la fonction tirant-buton horizontal ;
- l'intégrité suite au séisme.

En fonction des caractéristiques de la structure du bâtiment, l'un des deux types d'analyse élastique linéaire peut être utilisé pour déterminer les effets des actions :

- La méthode des forces latérales équivalentes pour les bâtiments respectant les conditions indiquées au §4.3.3.2 de la norme NF EN 1998-1.
- L'analyse modale utilisant le spectre de réponse qui est applicable à tous les types de bâtiments (voir §4.3.3.3 de la norme NF EN 1998-1).

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

- La fonction diaphragme pourra être assurée par l'ensemble formé par la dalle de compression et les solives du fait de la reprise d'efforts cycliques par les connecteurs dans les 2 directions (transversale et longitudinale).
- Dans le cas des constructions à structure principale Bois, on pourra se référer au chapitre 8 de la norme NF EN 1998-1 et justifier la liaison du diaphragme horizontal par les assemblages des solives aux éléments de stabilité verticale. Il ne sera pas nécessaire de respecter l'alinéa (2)P du §8.5.3 si les dispositions de ferraillage pour la dalle données dans l'article 5.10 de la norme NF EN 1998-1 sont respectées.
- On devra alors vérifier la reprise des efforts de cisaillement transversal par les connecteurs sous l'effet de l'action sismique horizontale agissant perpendiculairement à la portée des solives.
- La capacité résistante des connecteurs en cisaillement transversal est limitée aux valeurs suivantes :

Bois lamellé-collé (GL24 mini)

- Connecteur Ø70 mm : Rd = 13,50 kN / Kser = 40 kN/mm
- Connecteur Ø50 mm : Rd = 10,50 kN / Kser = 28 kN/mm

Bois massif (C24 mini)

- Connecteur Ø70 mm : Rd = 10,40 kN / Kser = 33 kN/mm
- Connecteur Ø50 mm : Rd = 8,10 kN / Kser = 23,5 kN/mm
  - Dans le cas des constructions à structure principale Béton, on pourra se référer à l'article 5.10 de la norme NF EN 1998-1 et respecter en plus les points suivants :
    - Les diaphragmes n'étant pas des éléments dissipatifs, ceux-ci doivent être calculés en prenant en compte un coefficient de sur résistance défini au §4.4.2.5 de la norme NF EN 1998-1 Les sections d'armatures disposées dans la table de compression (armatures principales et armatures de répartition) sont calculées en fonction des charges à supporter. Ces armatures placées en chapeau sont à ancrer en rive en majorant de 30% la longueur d'ancrage déterminée en situation non sismique dans des chainages en béton armé coulé coulés en œuvre, disposés pour véhiculer les actions horizontales sismiques aux éléments de contreventement verticaux. Il doit exister d'une part un chaînage périphérique continu, d'autre part un chaînage au croisement de chaque élément de contreventement avec le plancher.
- 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 déterminée par calcul.
- Le connecteur le plus proche de l'about de la poutre en bois, doit se trouver à au moins 15 cm de celui-ci.

3.6 Vérifications en situation d'incendie

En l'absence de procès-verbal de classement, les vérifications suivantes doivent être effectuées

Sans protection au feu :

Le degré de stabilité au feu du plancher est vérifié en considérant que les poutres en bois sont déconnectées de la dalle béton. Les poutres en bois peuvent être justifiées par application de la norme NF EN 1995-1partie 1-2. Le degré coupe-feu est vérifié par application de la norme NF EN 1992-1 partie 1-2 pour la dalle 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. Ce plafond doit être justifié par un procès-verbal de classement pour le degré de résistance au feu requis, pour la protection d'éléments structuraux en bois. Il doit être mis en œuvre selon la description de ce procès-verbal.

Autres protections incendie :

Leur convenance devra être examinée au cas par cas dans le cadre d'une appréciation de laboratoire agrée, délivrée dans les conditions prévues à l'article 11 de l'arrêté du 22 mars 2004.

4. Mise en œuvre.

La mise en œuvre est effectuée exclusivement par le personnel de la société SYLVABAT ou sous son contrôle par une entreprise tierce.

4.1 Études d'exécution

Seul le BET interne de la société SYLVABAT est habilitée à réaliser les études de pré-dimensionnement et d'exécution.

Les études d'EXE incluent :

- Les notes de calcul sous entête SYLVABAT des poutres connectées, pour les hypothèses du projet (géométrie, charges, environnement…).
- La réalisation de carnets de plans regroupant 3 types de plans :
  - Plans de connexion avec le repérage des poutres et la répartition des connecteurs.
  - Plans de ferraillage indiquant les types et natures d'armatures ainsi que leurs dispositions.
  - Plans d'étaiement indiquant la position des étais nécessaires au coulage.
- Lorsque le plancher bois-béton est utilisé comme diaphragme pour reprendre des efforts sismiques ou de vent, les efforts horizontaux et leur répartition dans ce diaphragme devront être fournis par le BET en charge de l'étude globale du bâtiment. La reprise d'efforts par les connecteurs pourra alors être vérifiée. Il est à noter que les efforts horizontaux communiqués engagent la responsabilité du BET cité ci-dessus et non celle de la société SYLVABAT.

4.2 Cas de la construction neuve

Les perçages pour les connecteurs peuvent être réalisés sur chantier ou en atelier, avec l'utilisation des outils d'usinage numérique.

Sur chantier, Les poutres sont fixées sur leurs appuis, soit directement par repos du talon sur leur support ou par assemblages traditionnels bois/bois, soit par l'intermédiaire d'organes d'assemblages. Dans tous les cas les assemblages entre éléments devront être vérifiés par l'entreprise (ou son BET) responsable de la pose de la structure, afin de reprendre les efforts pondérés les sollicitant (efforts verticaux et horizontaux).

Etapes de la mise en œuvre :

- étaiement.
- Pose du coffrage et fixation sur les poutres avec un appui mini de 15 mm. Si le coffrage recouvre les poutres son épaisseur est inférieure ou égale à 25 mm. Si ce n'est pas le cas, on découpe une bande ou une rondelle à la scie cloche au droit de chaque connecteur, de manière à assurer un enrobage minimum de 10 mm par le béton.
- Traçage des positions des connecteurs et usinage des poutres en bois selon les plans d'exécution SYLVABAT. L'usinage est réalisé à l'aide d'une scie cloche fabriquée par SYLVABAT.
- Mise en place d'un film plastique désolidarisant ou « polyane » sur le fond de coffrage si cela est nécessaire.
- Enfoncement en force des connecteurs à travers le film désolidarisant dans les avant-trous réalisés.
- Liaison de la dalle aux maçonneries sur sa périphérie, par des aciers HA scellés, des empochements ponctuels, ou des engravures filantes, selon les efforts à reprendre.
- Renforcement aux appuis des poutres maîtresses par des aciers ou chainages insérés en empochements.
- Mise en place des aciers de chainage et des panneaux de treillis soudés, calés sur le fond de coffrage afin de respecter les enrobages préconisés (écarteurs entre nappes inférieures et supérieures).
- Création de sommiers de répartition en béton armé sous les appuis des poutres maîtresses dans le cas de réactions d'appuis importantes.
- Coulage et vibrage de la dalle béton.

Note : Si le percement des trous est réalisé sur chantier, la même précision pour l'épaisseur et le diamètre, donnée au 2.2 sera assurée. Il est cependant accepté dans ce cas une tolérance de 10 % sur le positionnement en sens longitudinal des connecteurs résultant du calcul.

4.3 Cas de la réhabilitation

Dans le cas d'application de ce procédé à la réhabilitation, il faut au préalable vérifier la faisabilité par un pré dimensionnement.

Pour réaliser cette étude il faut connaitre les caractéristiques géométriques de la structure et les propriétés des éléments la constituant (portées, entraxes, essence du bois, sections, assemblages, etc…) ainsi que toutes les hypothèses du projet (charges, nature des revêtements, etc..).

Il est également important de vérifier l'état des éléments, notamment les sections résiduelles efficaces et les dégradations (ou défauts), par un diagnostic approprié.

Cette Etude de faisabilité permettra de déterminer si des éléments sont à remplacer ou renforcer, s'ils sont en trop mauvais état pour appliquer le procédé SYLVABAT. Les renforcements apportés devront être compatibles avec la mise en œuvre de la connexion, ce qui reste à l'appréciation de la société SYLVABAT.

Enfin, les assemblages et conditions d'appuis devront avoir la capacité à transmettre les efforts de liaison. Le cas des assemblages traditionnels bois-bois (tenons mortaises, entailles…), devra faire l'objet d'une attention particulière et ils seront renforcés si nécessaire. La mise en œuvre sur chantier suivra la même démarche que pour les planchers neufs.

4.4 Dispositions et précautions à respecter

La pérennité du plancher mixte bois-béton sera assurée en respectant les principes constructifs généraux énoncés ci-après :

- Le taux d'humidité du bois lors de sa mise en œuvre doit être compatible avec l'équilibre hygroscopique qu'il aura en service (8 à 20% pour les ambiances intérieures généralement).
- Contrôle visuel et prise en compte des éventuels défauts et singularités du bois (nœuds, fentes, dégradations,…). Si nécessaires des renforcements ou remplacements adaptés seront mis en œuvre.
- Pour les bois existants conservés un état sanitaire sera réalisé.
- Les appuis des poutres sur les ouvrages porteurs doivent être vérifiés, notamment la profondeur d'appui. Des sommiers béton complémentaires pourront être nécessaires en réhabilitation. La capacité portante et l'état du fond de coffrage utilisé doivent être vérifiés
- Les connecteurs sont implantés en respectant les plans d'exécution et les tolérances indiquées dans l'avis technique au §2.2. Des fiches d'autocontrôle permettent de vérifier la bonne mise en œuvre.
- Un étaiement vérifié au calcul pour les charges à reprendre en phase chantier est mis en place.
- Les dispositions de ferraillage données dans les plans et carnets de détails (treillis soudés, chainages, aciers de renfort ou de couture,…) doivent être correctement exécutés sur chantier et doivent vérifier les ratios minimums donnés par les normes.
- Le béton doit être réparti de façon homogène lorsque la dalle est coulée, afin d'éviter les surcharges ponctuelles.
- L'étaiement est maintenu durant le temps de séchage nécessaire au béton pour atteindre la valeur de calcul spécifiée par la note de calcul.

La dalle de compression a une épaisseur mini de 5 cm et de 7 cm mini lorsqu'elle est utilisée comme diaphragme ou en zone sismique.

5. Habillages

5.1 Revêtements

La dalle en béton peut recevoir tous types de revêtements de sol ou étanchéité associables à ce type de support.

5.2 Plafond

Le plancher peut être complété ou non d'un faux-plafond, en fonction des exigences esthétique, acoustique ou coupe-feu. Ces plafonds peuvent être fixés soit entre les solives, soit en-dessous et être réalisé à base de plaques ou de tous autres matériaux et systèmes existants dans le commerce.

5.3 Cas des toitures avec revêtement d'étanchéité

- Pente ≥ 3% sur plan
- Toitures-terrasses inaccessibles isolées thermiquement sur l'élément porteur et sans rétention d'eau pluviale
- Comme pour tous les supports en bois ou à base de bois selon le NF DTU 43.4, l'implantation des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales doit être faite conformément à l'annexe E du NF DTU 43.3 P1-1 d'avril 2008.
- Critère de fléchissement final dû à toutes les charges du 1/500e de la portée pour une pente de 3 % minimale.
- Seuls les revêtements d'étanchéité et isolants supports d'étanchéité bénéficiant d'un Document Technique d'Application visé par le Groupe Spécialisé n°5 sur l'élément porteur considéré ou sur élément porteur en maçonnerie de type D, sont envisagés.
- Les fixations mécaniques du revêtement d'étanchéité ou de l'isolant support sont exclues.
- Lorsque le revêtement d'étanchéité est posé en adhérence (sous isolation inversée) ou lorsque le pare-vapeur est adhérent, un contrôle de la siccité de l'élément porteur SYLVABAT est à prévoir. Ce contrôle s'effectue par trois mesures par tranches de 500 m² avec au moins trois mesures par chantier. Le taux d'humidité mesuré à la bombe à carbure conformément au NF DTU 53-2 doit être inférieur ou égal à 4,5% en poids.
- La dalle béton SYLVABAT doit respecter le délai de prise de 28 jours minimum et d'être propre lors de la mise en œuvre du complexe d'étanchéité
- Planéité conforme au DTA du revêtement d'étanchéité
- Les reliefs admis sont les costières en béton solidaires du plancher et conformes au DTU 20-12 et à son amendement A2.

B. Résultats expérimentaux

Plusieurs campagnes d'essais ont été menées depuis 1987 afin de déterminer le comportement de ce type de plancher en regard des différents types d'exigences :

Essais mécaniques :

CSTB /Oct-Déc 87/n° 26 084

- flexion instantanée en travée isostatique;
- cisaillement des connecteurs;
- flexion sous charges de longue durée en travée isostatique.

CUST/ mai 2001/ Etude N°2001.04

- comportement dynamique de la connexion bois-béton du système PARIS-OUEST : essais en cisaillement longitudinal et transversal des connecteurs de diamètre 50 mm et 70 mm, sous sollicitations statiques et cycliques alternées et essais de planchers sous sollicitations cycliques ondulées.

I2M Talence / Novembre 2014 /

- Essais mécaniques statiques complémentaires de type « Push-Out » sur éprouvettes : essais en cisaillement longitudinal des connecteurs de diamètre 30 et 50 mm avec cas de platelage continu et non continu sur la face supérieure des solives.

C. Références

C1. Données Environnementales[1]

Le procédé SYLVABAT ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés.

C2. Autres références

Depuis le début des années 1990, plus de 1000 chantiers, d'ouvrages neufs ou en réhabilitation, ont été réalisés en utilisant la technique du plancher mixte bois béton SYLVABAT. Cela équivaut à une surface d'environ 500.000 m², et pour des types de bâtiments variés (ERP, logements individuels ou collectifs, tertiaire, monuments historiques, toitures terrasses…).

Parmi les références, on peut citer :

Ouvrages Neufs :

- Lycée Xavier Bichat à Nantua (01) ; ouvrage neuf ; 3815 m²
- Logements collectifs le Toît Vosgien à Saint Dié des Vosges (88) ; ouvrage neuf ; 1590 m²
- IUFM de Guyane, Cayenne ; ouvrage neuf ; 1360 m².
- Collège Flavius Vaussenat Allevard (38) ; ouvrage neuf ; 1450 m²
- Collège de Chirens (38) ; ouvrage neuf ; 955 m²
- Foyer de l'enfance, Le Mans (72) ; ouvrage neuf ; 3570 m²
- Collège de Veauche (69) ; ouvrage neuf ; 1750 m²
- Cancéropôle de Saint Etienne (42) ; ouvrage neuf ; 1180 m²
- Lycée Benoit Charvet à Saint Etienne (42) ; ouvrage neuf ; 800 m²
- SDIS État-major à Chaumont (52) ; ouvrage neuf ; 430 m²
- Collège à Saint Pierre de Chandieu (69) ; ouvrage neuf ; 965 m²
- Lycée de Bègles (33) ; ouvrage neuf : 3900 m²
- 25 logements à Vaulx-le-Penil (77) ; ouvrage neuf ; 1700m²

Réhabilitation :

- Hôtel le Bordeaux à Tours (37) ; réhabilitation ; 2100 m²
- Logements collectifs, 110 rue de Richelieu à Paris (75) ; réhabilitation ; 2200 m²
- Hôtel Boissy d'Anglas à Paris (75) ; réhabilitation ; 2000 m²
- Château de George Sand (36); réhabilitation ; 150 m²
- La Maison des Métallos (75) ; réhabilitation ; 250 m²
- Résidence Paradis, Espaly St Marcel (43) ; réhabilitation ; 3500 m²
- Hôtel « Les îles britanniques » à Aix-Les-Bains (73) ; réhabilitation ; 2100 m²
- Ecole de Corbelin (38) ; réhabilitation ; 319 m²
- Les Docks Vauban au Havre (76) ; réhabilitation ; 800 m²
- 19 à 25 place Vendôme à Paris (75) ; réhabilitation ; 900 m²
- 65 rue de Rivoli à Paris (75) ; réhabilitation ; 1400 m²
- Collège de la Tourette IUFM de Lyon (69) ; réhabilitation 1300 m²
- 16 Bd Montmartre (75) ; réhabilitation ; 2690 m²
- 45 rue Saint Dominique (75) ; réhabilitation ; 1300 m²
- 2, 4, 6 rue de la Chaussée d'Antin (75) ; réhabilitation ; 2000 m²
- Lycée de la Martelière à Voiron (38) ; réhabilitation ; 330 m²
- Hôtel Yndo à Bordeaux (33) ; réhabilitation ; 340 m²
- Ilot Pasteur à Besançon (25) ; réhabilitation ; 800 m²
- Caserne Dejean à Amiens (80) ; réhabilitation ; 3600 m²
- Ancien Hôpital Richaud à Versailles (78) ; réhabilitation / MH ; 445 m²

Monument Historique :

- Conseil d'Etat, Palais Royal (75) ; MH ; 180 m²
- Monastère de Gaussan (11) ; MH ; 440 m²
- Château des Bruneaux à Firminy (42) ; MH ; 265 m²
- Château de Mesnière en Bray (76) ; MH ; 210 m²
- Château de Cangé à Tours (37) ; MH ; 490 m²
- Tribunal Administratif d'Orléans (45) ; MH ; 80 m²
- Grands Communs du Château de Versailles (78) ; MH ; 550 m²
- Maison des Sires de Villars à Trévoux (01) ; MH; 150 m²
- Ancien Hôpital Laennec à Paris (75) ; MH ; 300 m²
- Musée Rodin à Paris (75) ; MH ; 380 m²

Toitures-Terrasses :

- Foyer de l'enfance, Le Mans (72) ; ouvrage neuf ; 3570 m²
- Cancéropôle de Saint Etienne (42) ; ouvrage neuf ; 550 m²
- Salle de Sport à St Julien Chapteuil (43) ; ouvrage neuf ; 156 m²
- Pouponnière et crèche à Bron (69) ; ouvrage neuf ; 355 m²
- ICF 12 logement, le Mans (72) ; ouvrage neuf ; 100 m²

[1] Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet avis.

Figures du Dossier Technique

Coupes Types sur Solives

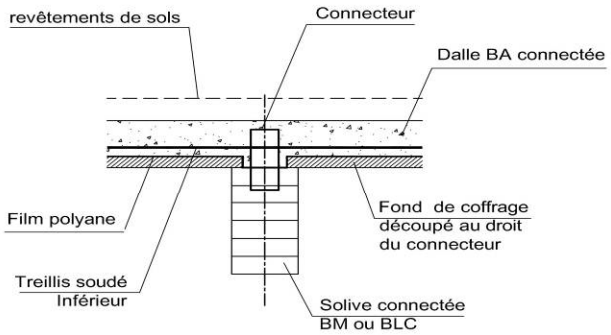


Figure 1 : Coffrage non continu

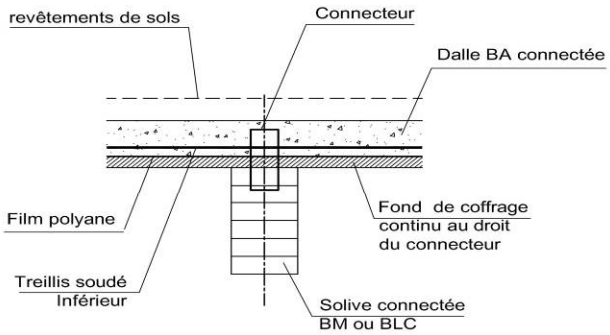


Figure 2 : Coffrage continu

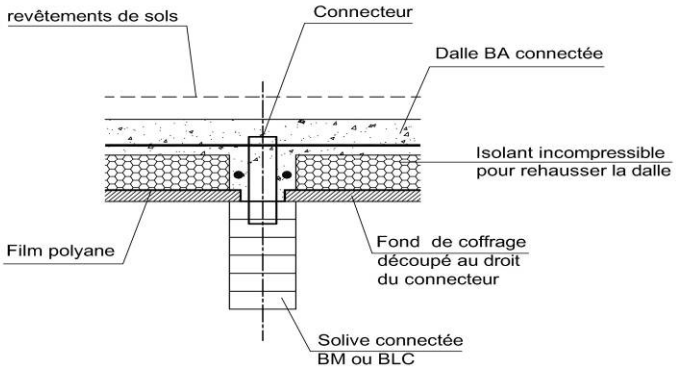


Figure 3 : Rehausse par isolant

NOTE : Dans le cas où de l'isolant incompressible est utilisé pour rehausser ou rattraper les différences d'altimétries du coffrage, il doit être disposé en hourdis entre les éléments connectés de manière à laisser une nervure béton sur toute la longueur de l'élément connecté

Coupes Types sur Poutres Maîtresses

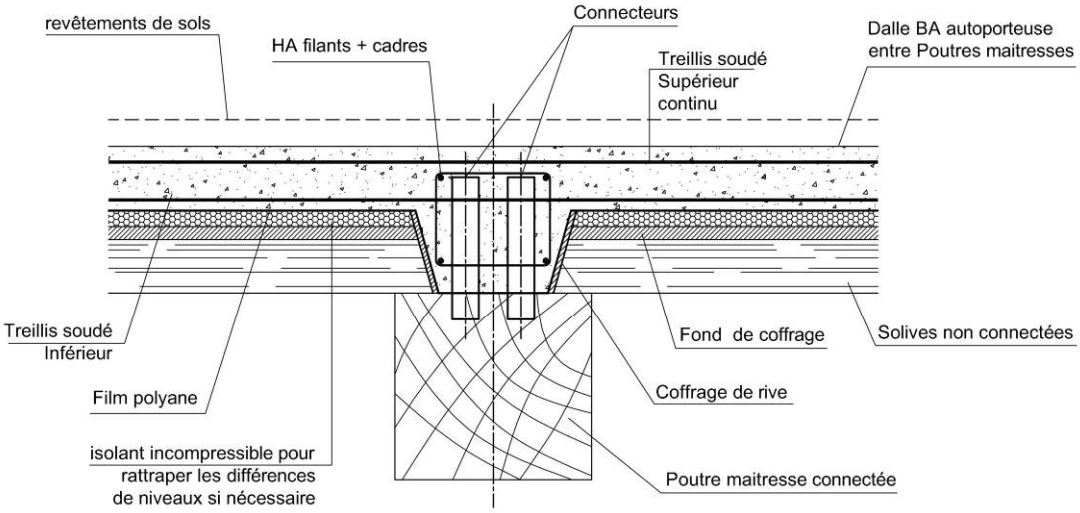


Figure 4 : Solives non porteuses

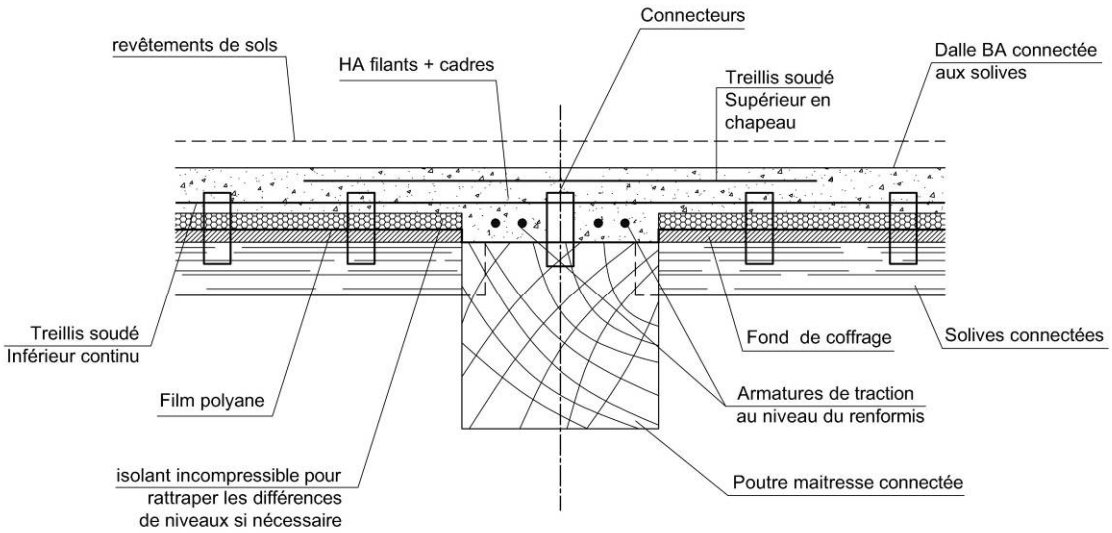
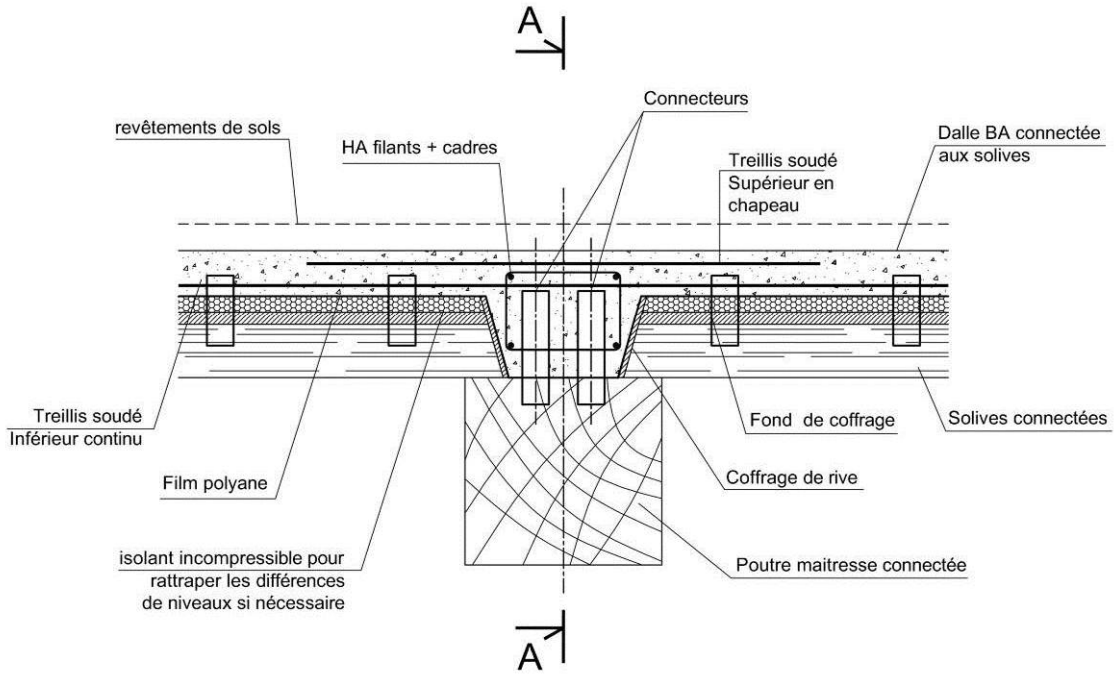


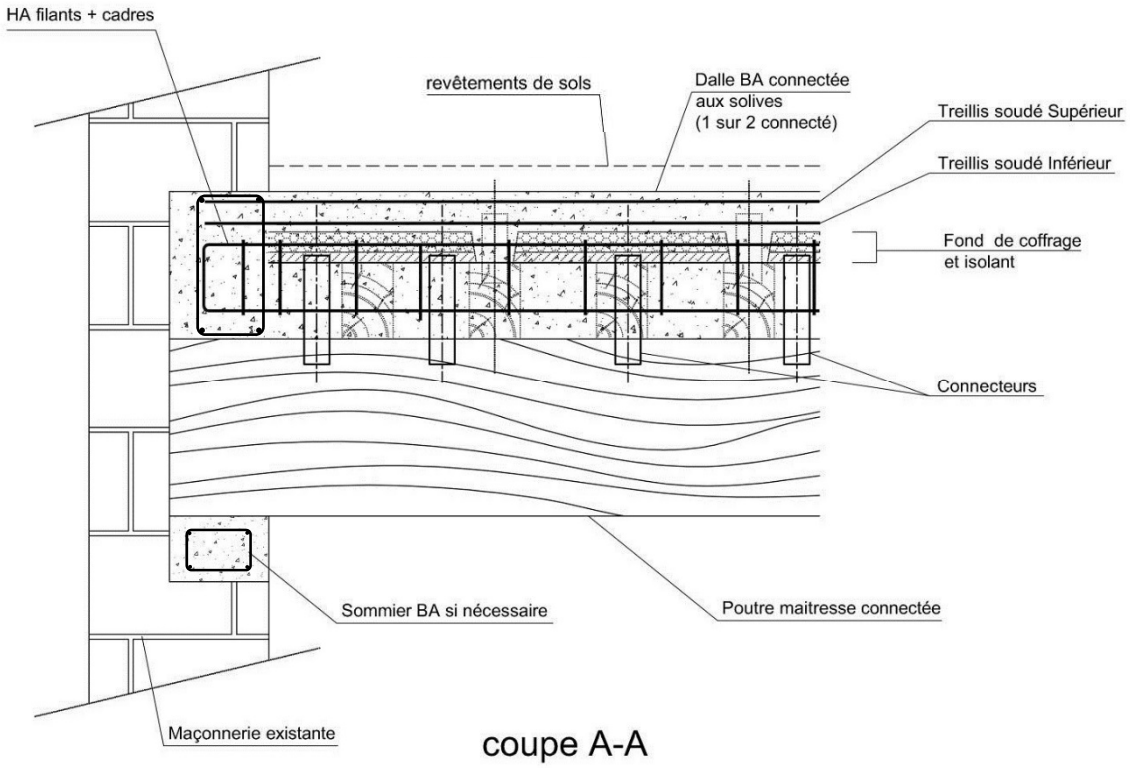
Figure 5 : Solives porteuses

NOTE : Dans le cas où de l'isolant incompressible est utilisé pour rehausser ou rattraper les différences d'altimétries du coffrage, il doit être disposé en hourdis entre les éléments connectés de manière à laisser une nervure béton sur toute la longueur de l'élément connecté

Coupes Types sur Poutres Maîtresses

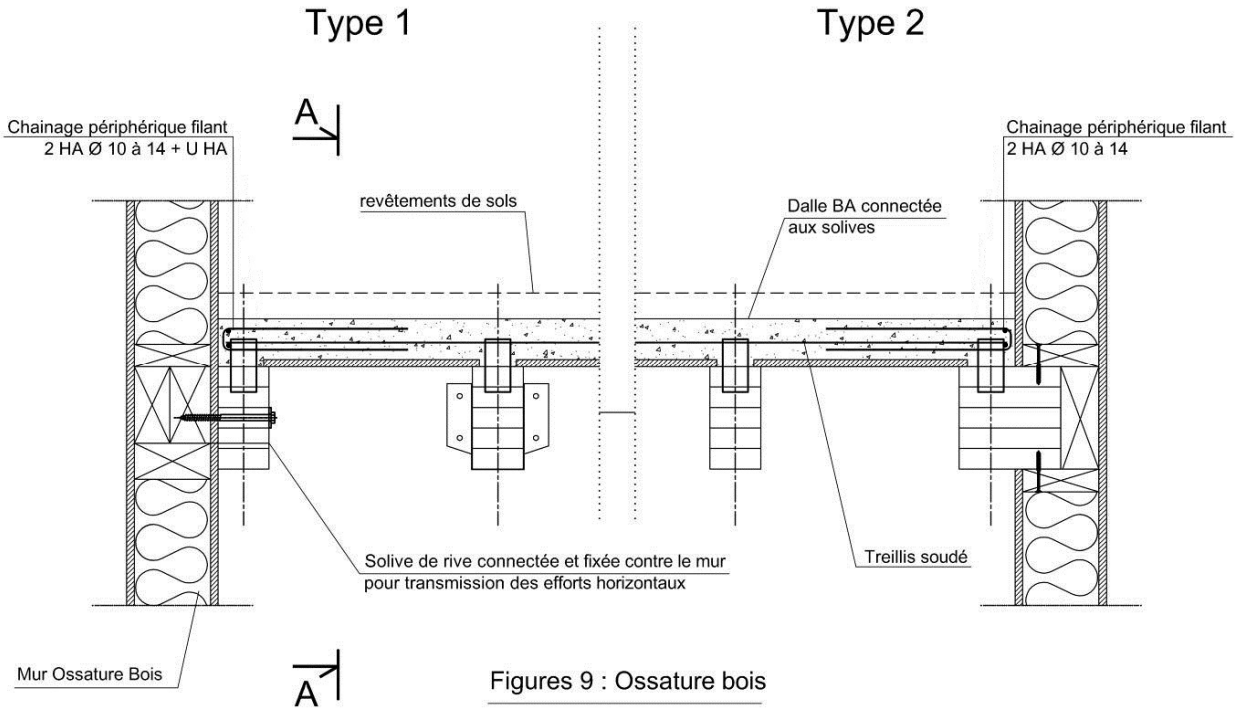


Figures 6 : Solives porteuses

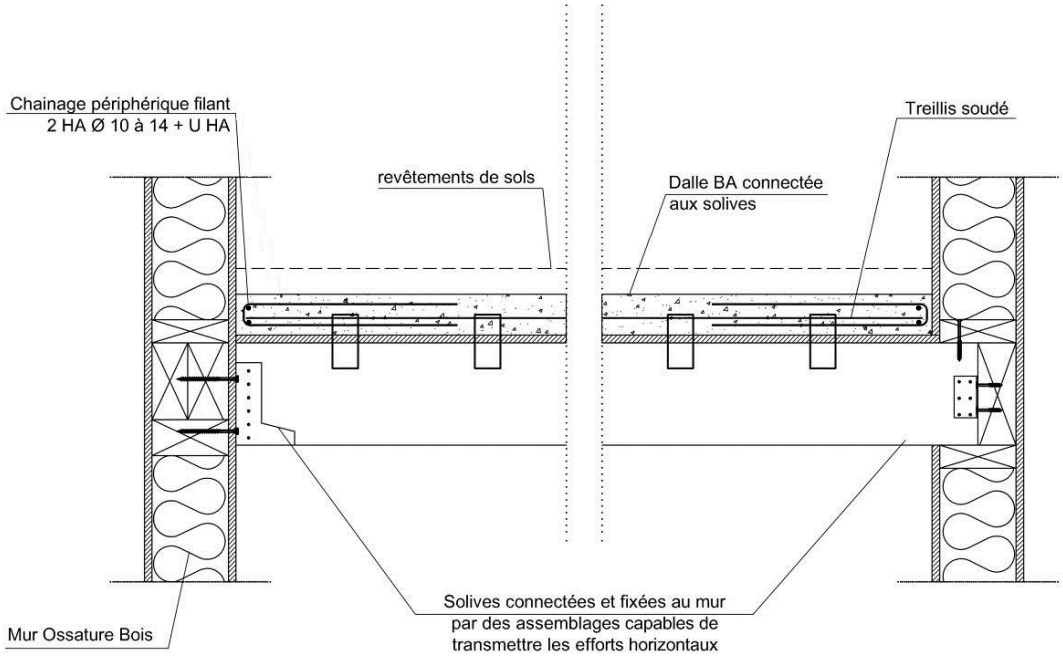


NOTE : Dans le cas où de l'isolant incompressible est utilisé pour rehausser ou rattraper les différences d'altimétries du coffrage, il doit être disposé en hourdis entre les éléments connectés de manière à laisser une nervure béton sur toute la longueur de l'élément connecté

Détail type pour liaisons sur murs ossature bois transmettant des efforts horizontaux

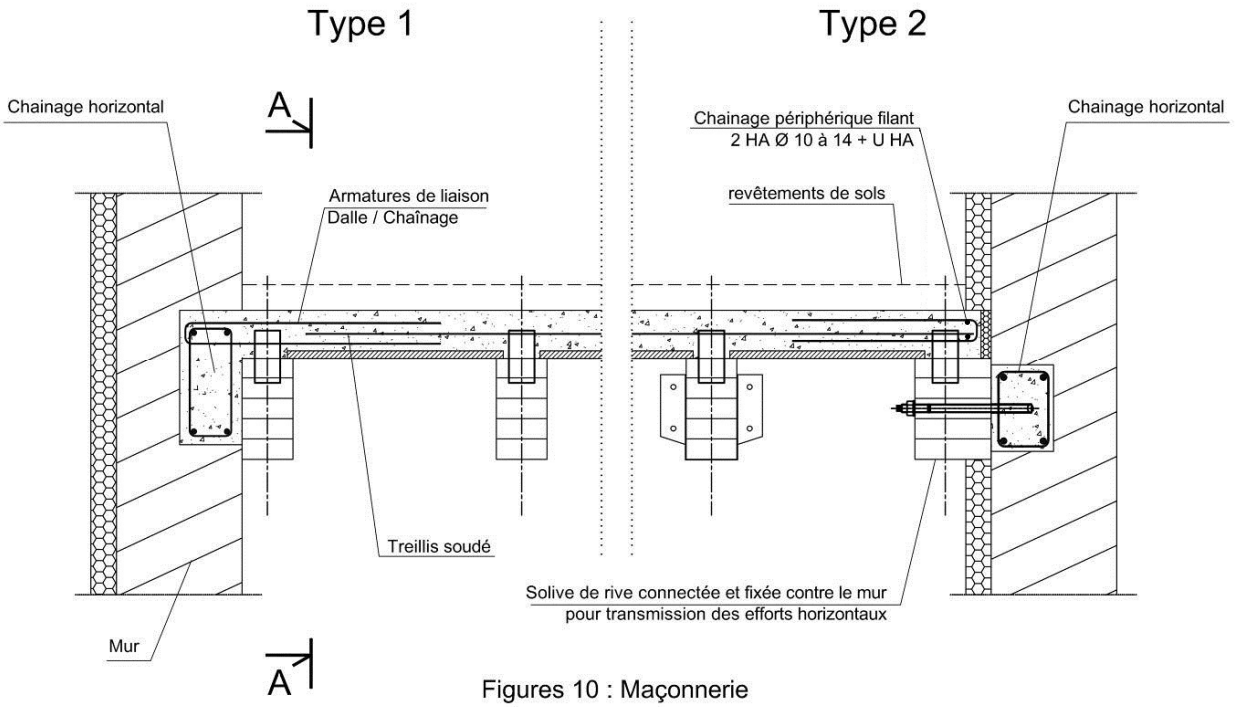


Figures 9 : Ossature bois

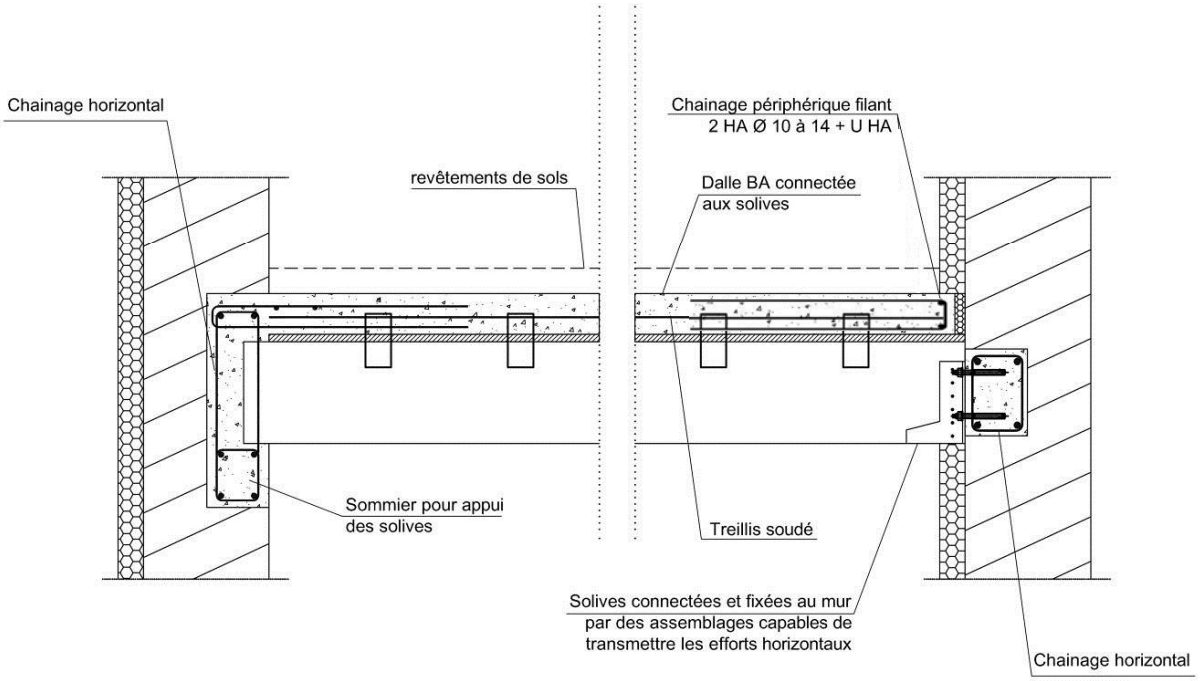


Coupe A-A

Détail type pour liaisons sur murs maçonnés transmettant des efforts horizontaux



Figures 10 : Maçonnerie



Coupe A-A

Détail type pour liaisons sur murs maçonnés ne transmettant pas d'efforts horizontaux

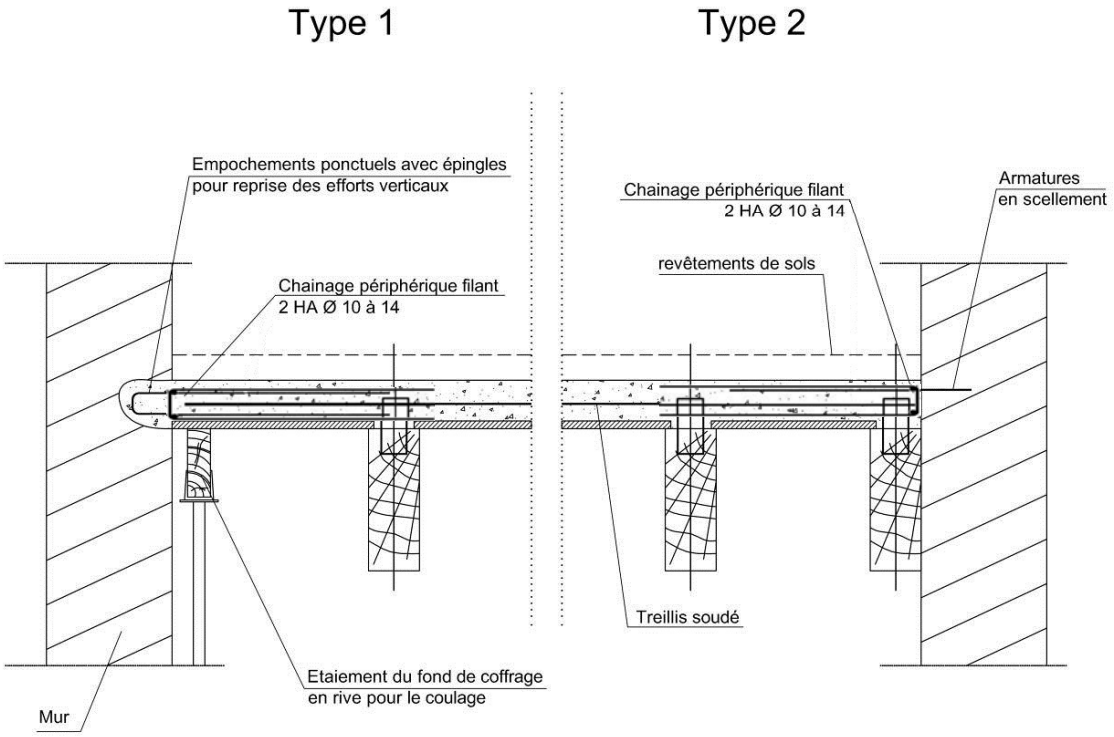
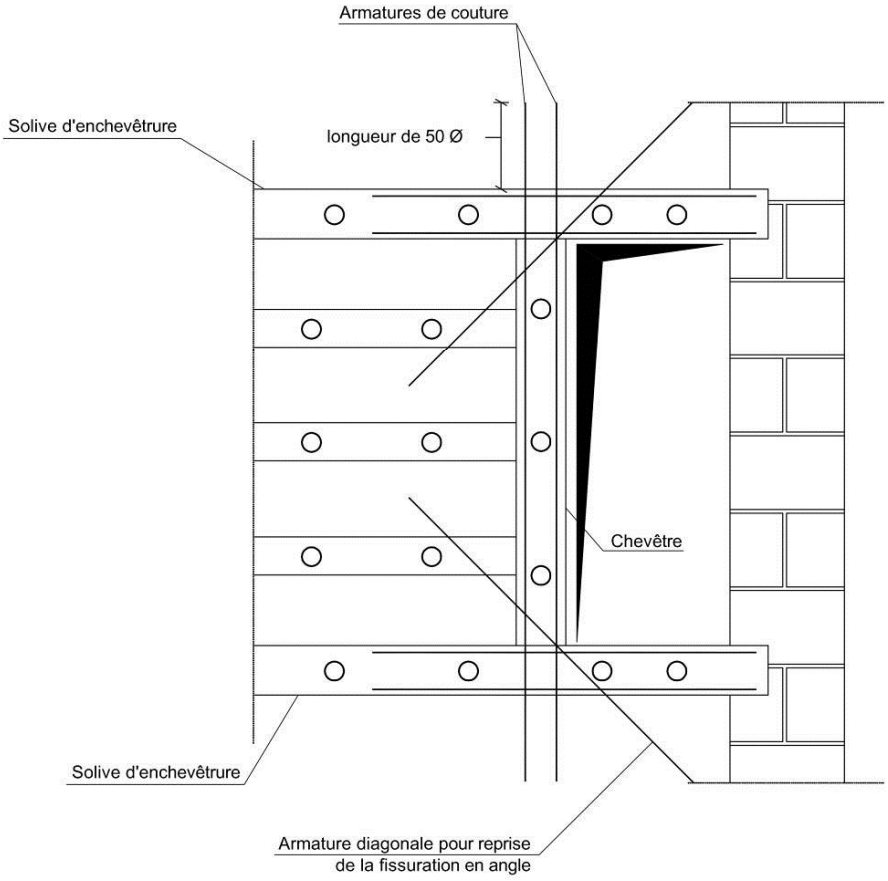
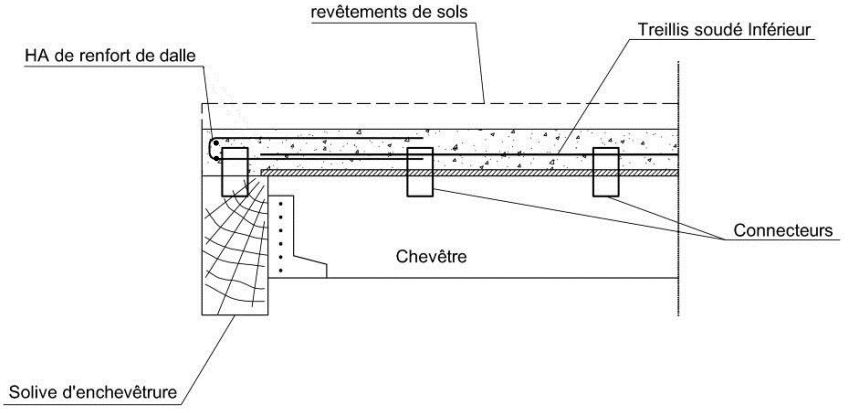


Figure 11 : Réhabilitation

Détail type sur trémie avec enchevêtrure

Figures 7 : Chevêtres

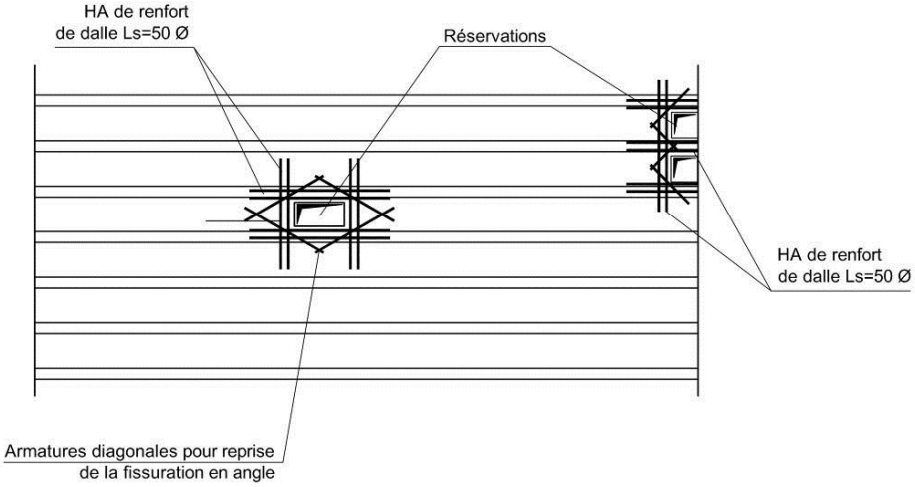
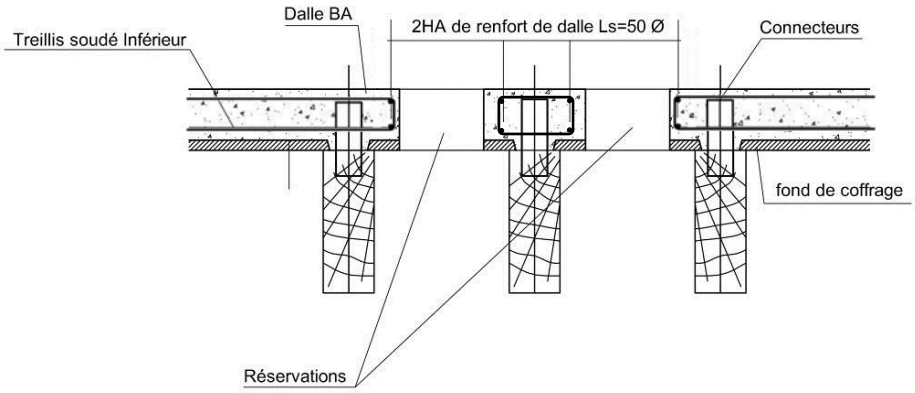




Coupe sur Chevêtre

Détail type sur réservations

Figures 8 : Réservations



recouvrement impératif
des solives par le béton
sur toute leur longueur