

Avis Technique 3/09-603

Plancher mixte bois-béton
Composite wood-concrete
floor

TECNARIA

Titulaire : Société TECNARIA SpA
Viale Pecori Giraldi 55
IT-36061-BASSANO DEL GRAPPA-VI

Tél. : +39 0424 50 20 29
Fax : +39 0424 50 23 86
E-mail : info@tecnaria.com
Internet : www.tecnaria.com

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 2 décembre 1969)

Groupe Spécialisé n° 3

Structures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le 24 juin 2009



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 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Le Groupe Spécialisé n° 3 « Structures, planchers et autres composants structuraux » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques, a examiné le 28 novembre 2008 et le 04 février 2009 le procédé de plancher TECNARIA présenté par la société du même nom. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France européenne et DOM.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Plancher mixte réalisé avec des poutres en bois et une dalle en béton armé à base de granulats lourds, coulée sur place. La liaison entre les poutres en bois et la dalle en béton est assurée par des connecteurs métalliques de type ergots avec plaque de fixation, à intervalles régulier ou variable, le long de l'interface bois-béton. Les connecteurs peuvent avoir deux types de plaque de fixation, « base » ou « maxi » avec respectivement des tire fonds de 8 et 10 mm de diamètre. Le bois peut être résineux, feuillu ou lamellé collé.

Tous les types de sols et de plafonds peuvent être associés aux planchers.

1.2 Identification

Les connecteurs sont identifiables par l'apposition de la marque TECNARIA sur la tête de l'ergot ou sur la plaque de fixation. Les deux types de connecteurs existants, base et maxi, se distinguent par la forme de leur plaque de fixation respectivement carrée et rectangulaire. Les tire fond sont identifiés par la lettre T visible en tête.

2. AVIS

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

2.1 Domaine d'emploi accepté

Planchers d'étages courants et de toiture terrasse des bâtiments soumis exclusivement à des charges statiques ou quasiment statiques (en comprenant par ces dernières les effets dynamiques courants dus au déplacement des personnes et des appareils légers qui ne produisent pas de vibrations).

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne et DOM.

Seul le cas des travées isostatiques et sans porte-à-faux est visé.

Dans le cas d'un chantier de rénovation, l'utilisation du procédé dans les zones sismiques est visée uniquement pour les bâtiments dont les dimensions et la régularité respectent les limites fixées par la norme NF P 06-014 (PS-MI 89).

2.2 Appréciation sur le procédé

2.2.1 Aptitude à l'emploi

2.2.1.1 Stabilité

La stabilité du plancher mixte bois-béton TECNARIA est normalement assurée si sa conception, sa fabrication, sa mise en œuvre et son utilisation sont conformes aux conditions définies dans le Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (§ 2.3 ci-après).

2.2.1.2 Sécurité 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 § 2.313 du Cahier des Prescriptions Techniques Particulières ci-après (validées par un Avis de laboratoire du CSTB) 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.

2.2.1.3 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 du Cahier des Prescriptions Techniques Particulières sont respectées.

S'agissant du coffrage en bois destiné à supporter le poids du béton frais en phase provisoire, il y a lieu de s'assurer que le fournisseur des plaques ou panneaux peut garantir une résistance de ceux-ci de 150 daN au minimum à un essai de poinçonnement flexion pratiqué en milieu de travée (à mi-distance des solives bois), au bord de la plaque. Dans le cas contraire, des dispositions doivent être prises pour empêcher la circulation des intervenants sur le coffrage.

2.2.14 Isolation thermique

Ce plancher est par lui-même peu isolant ; il peut être nécessaire de compléter son isolation thermique.

Le calcul de la résistance thermique utile des planchers doit être mené conformément aux « Règles Th-U ».

2.2.15 Isolation acoustique

Dans le cas sans plafond ou même avec plafond fixé directement sur la face inférieure des poutres par pointes ou vis, les planchers présentent un indice d'affaiblissement acoustique qui ne dépend que de leur masse surfacique (en kg/m²).

Avec plafond rapporté suspendu, l'isolation acoustique peut être améliorée en fonction de la conception particulière du plafond et de sa suspension.

L'appréciation de cette qualité est à faire dans chaque cas, soit à partir d'essais, soit selon les indications ci-après :

L'isolation acoustique aux bruits aériens d'un ensemble plancher et plafond rapporté suspendu satisfait à la réglementation si la fréquence de résonance de l'ensemble reste inférieure à 60 Hz.

Cette fréquence peut être calculée par la formule :

$$f_0 = 1/2 \pi [K(1/m_1 + 1/m_2)]^{0,5}$$

f_0 étant la fréquence de résonance en Hz,

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

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

K étant le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond : il s'exprime en N/m et 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 (ex. : s'il y a 4 suspentes par m², le coefficient K à prendre en compte dans la formule est quatre fois celui relatif à une suspente).

Pour apprécier les caractéristiques acoustiques d'un plancher fini exécuté avec ce procédé, on pourra consulter :

- le REEF - Sciences du Bâtiment - Partie acoustique,
- le document « Exemples de solutions » relatif à la Nouvelle Réglementation Acoustique, édité par le CSTB.

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 implicitement, la fréquence de résonance f_0 .

En conséquence, l'indice d'affaiblissement acoustique doit être déterminé à partir d'essais, soit déjà existants, soit à réaliser.

2.2.2 Durabilité - Entretien

La durabilité du plancher est normalement assurée, pour les utilisations exceptant les locaux (ou ambiances) à forte hygrométrie ou à atmosphères agressives.

2.2.3 Fabrication et contrôle

La fabrication des connecteurs est réalisée par des entreprises indépendantes selon un cahier des charges du titulaire. Ce cahier des charges définit les dimensions et tolérances ainsi que les essais de contrôle à réaliser sur les matériaux et le connecteur assemblé. Les fiches de contrôle sont enregistrées par la société TECNARIA.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques Particulières

2.3.1 Conditions de conception et de calcul dans le cas général.

La conception et le calcul des planchers sont laissés à la charge du bureau d'études techniques de l'opération qui doit également fournir un plan de pose complet.

Une notice est tenue à disposition des bureaux d'étude par le titulaire afin de présenter la méthode de calcul ainsi que des exemples : « Dimensionnement de section mixte Bois – Béton avec connecteurs TECNARIA – Méthodologie de calcul et exemples de conception », 13/01/2009.

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

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

2.311 Vérifications en phase finale

Les contraintes de flexion

Les calculs sont basés sur les modules de glissement indiqués en annexe 2 au présent Avis. Le module à prendre en compte dépend du type de connecteur (base ou maxi), du type de bois (feuillu ou résineux) et de l'épaisseur du platelage traversée (entre 0 et 4 cm).

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

Le mode de calcul détaillé est donné dans l'Annexe 1 à l'Avis Technique, ci-après.

Le fléchissement

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire à l'intégrité des cloisons ou aux revêtements de sol 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.

Ce fléchissement ne doit pas dépasser 1/500 de la portée. En cas de revêtements non fragiles, ce fléchissement est de 1/350 maximum.

Dans tous les cas le fléchissement dû à toutes les charges est limité conventionnellement à 1/250 de la portée.

2.312 Vérifications en phase provisoire

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 ℓ_1 , représentant l'action des charges de mise en œuvre.

La charge ponctuelle P, en kN, est prise égale à :

$$0,5 \cdot \ell_1 \quad \text{si } \ell_1 \leq 6,0 \text{ m}$$

$$1,5 + 0,25 \cdot \ell_1 \quad \text{si } \ell_1 > 6,0 \text{ m}$$

avec ℓ_1 = portée libre en phase de mise en œuvre, en m.

La vérification dans cette phase concerne la poutre en bois.

2.313 Vérifications en situation d'incendie

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

Sans protection au feu :

Le degré de stabilité au feu du plancher 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 (EN 1995-1-2). Le degré coupe-feu est vérifié par application de l'Eurocode 2 partie 1-2 pour la dalle de béton lorsque celle-ci constitue la totalité de l'isolement au feu. Le degré coupe-feu du plancher est subordonné à sa stabilité 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 convenue devra être examinée au cas par cas dans le cadre d'une appréciation de laboratoire agréé délivrée dans les conditions prévues par l'arrêté du 22 mars 2004.

2.314 Capacité résistante des connecteurs

La capacité des connecteurs à reprendre les efforts de cisaillement auxquels ils sont soumis dépend de l'épaisseur du platelage (4 cm

maximum) et de la classe de résistance minimum du bois dans lequel ils sont implantés : C16 pour les résineux, D30 pour les feuillus et GL24 pour les lamellés collés.

Les valeurs à prendre en compte dans les justifications à mener à l'ELU sont indiquées dans les tableaux en annexe 2 du présent Avis.

Ces valeurs sont à considérer dans le cas d'une utilisation en classe de service 1 au sens de l'article 2.1.3 de la norme EN 1995 (Eurocode 5).

Ces valeurs sont à pondérer par le facteur k_{mod} donné dans la norme EN 1995 (Eurocode 5) en fonction de la classe de service et de la durée d'application de la charge.

2.315 Espacement des connecteurs

L'espacement des connecteurs est calculé au cas par cas en fonction de la configuration du plancher et des charges qui lui sont appliquées. L'espacement peut être constant ou variable (entre les quarts extrêmes et la moitié centrale).

2.316 Transmission des charges aux appuis

Aux appuis des poutres en bois, il y a lieu de vérifier que l'effort de compression agissant sur la poutre en bois ne dépasse pas sa capacité résistante en compression transversale.

2.317 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.

2.32 Conditions de mise en œuvre

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

2.321 Planchers courants

Lorsque les poutres sont posées sur leurs appuis, la profondeur minimale saine - toutes tolérances épuisées - est au minimum de 5 cm.

Dans tous les cas la surface d'appui - toutes tolérances épuisées - doit être justifiée vis-à-vis de la contrainte de compression transversale dans le bois de la poutre.

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.

2.322 Rénovation

Une attention particulière devra être apportée à l'homogénéité de l'humidité du bois des poutres anciennes et des éventuelles poutres neuves. Un écart de 2% est un maximum admissible.

2.33 Prescriptions particulières en zone sismique

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les planchers mixtes bois-béton TECNARIA doivent être organisés pour remplir les conditions définies dans les Règles PS 92 :

- l'intégrité lors d'un séisme ;
- la fonction tirant-buton horizontal ;
- la fonction diaphragme horizontal.

Afin de pouvoir remplir ces trois conditions, les dispositions constructives à adopter, pour les bâtiments réguliers au sens de l'article 6.612 des règles PS 92, sont les suivantes :

- Il n'est pas tenu compte de la présence des connecteurs dans la vérification du plancher.
- Dans le cas de constructions à structure principale béton, les sections d'armatures disposées dans la table de compression de 5cm d'épaisseur minimum (armatures principales et armatures de répartition) sont calculées en fonction des charges à supporter et doivent respecter les minima prescrits par l'article 16.5.3.1 des Règles PS 92. Ces armatures sont à ancrer en rive, conformément aux prescriptions de ce même article, dans des chaînages périphériques en béton armé coulés en œuvre, disposés pour véhiculer les actions horizontales sismiques aux éléments de contreventement verticaux, et armés conformément à l'article 11.5 des Règles PS 92.
- Dans le cas de constructions à structure principale bois, les sections d'armatures disposées dans la table doivent obéir aux mêmes règles que celles précisées à l'alinéa précédent. En outre, les planchers doivent être ceinturés par des poutres bois connectées à la dalle béton et transmettant les efforts horizontaux aux éléments de contreventement verticaux. Les connexions de ces poutres doivent être justifiées pour reprendre l'effort horizontal sismique en cisaillement. Il y a également lieu de vérifier que sous l'effet de la combinaison comprenant l'action sismique, la contrainte dans les poutres bois seules (déconnectées) ne dépasse pas la valeur $k_n \cdot k_{mod} \cdot f_{mk}$.

Dans le cas des rénovations, la table de compression du plancher est ancrée par des barres d'aciers HA scellées ou fixées dans les éléments de contreventement. Ces derniers doivent être vérifiés et éventuellement renforcés afin de prendre en compte l'augmentation des charges et de la raideur en plan du plancher.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté est appréciée favorablement.

Validité

3 ans, jusqu'au 29 février 2012.

Pour le Groupe Spécialisé n° 3
Le Président
J.-P. BRIN

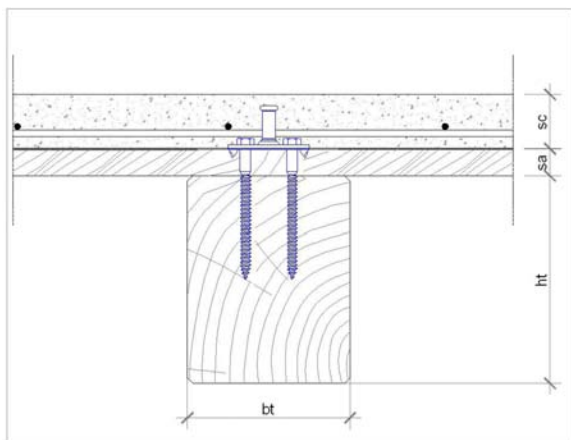
3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le plancher mixte bois-béton Tecnaria est composé de poutres en bois et d'une dalle en béton armé, l'ensemble étant relié par des connecteurs métalliques. Les performances de ces connecteurs ont été déterminées par des essais dont l'interprétation est donnée dans l'annexe 2. L'attention est attirée sur la spécificité de la méthode de dimensionnement proposée en annexe 1 qui doit être suivie par le bureau d'étude de l'opération.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3
Nicolas RUAUX

Annexe 1 : méthode de calcul

1. Cas de figure 1 : plancher à cadre simple, connecteur TECNARIA MAXI sur platelage.



Données: Géométrie, matériaux, charges, paramètres

1.1 Données

1.1.1 Béton

Hauteur dalle collaborante	sc
Masse volumique	ρ_c
Module d'élasticité moyen	E_c
viscosité	ϕ (cf: §3.1.4 Eurocode 2)
Résistance caractéristique cylindrique à la compression	f_{ck}
Coefficient de sécurité béton	$\gamma_{m,c}$
$f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / \gamma_{m,c}$	

1.1.2 Platelage résineux

Épaisseur	sa ou h ₂
Masse volumique	ρ

1.1.3 Poutre en Bois

Entraxe	it
Portée	lt
Masse volumique	ρ_i
Résistance caractéristique à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance caractéristique à la traction	$f_{t,0,k}$
Résistance caractéristique au cisaillement	$f_{v,k}$
Module d'élasticité moyen	E_i
Coefficient de sécurité Bois	$\gamma_{m,i}$
Coefficient de modification	K_{mod}
Coefficient de déformation	K_{def}

Résistance de calcul à la flexion $f_{m,d} = K_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_{m,i}$
 Résistance de calcul à la traction $f_{t,0,d} = K_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_{m,i}$
 Résistance de calcul au cisaillement $f_{v,d} = K_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_{m,i}$

1.1.4 Connecteurs

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 1/4 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 1/2 longueur totale de la poutre.
- sp = espacement constant équivalent entre chaque connecteur
 $s_{eq} = 0,75 \times s1 + 0,25 \times s2$

Rigidité par calcul ELU K_u (selon le tableau en annexe 2 de l'Avis)

Rigidité par calcul ELS K_{ser} (selon le tableau en annexe 2 de l'Avis)
 Résistance caractéristique $F_{v,Rk}$ (selon le tableau en annexe 2 de l'Avis)
 Coefficient de modification K_{mod}
 Coefficient de déformation K_{def}
 Résistance de calcul côté connexion Bois $F_{con,d} = K_{mod} \times F_{v,Rk} / \gamma_{m,i}$
 Résistance de calcul côté connexion béton :

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

1994-1-1 6.6.3.1

f_u acier connecteurs = 360 N/mm²

\emptyset connecteurs = 12 mm

$\gamma_V = 1.25$

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

h_{sc} = hauteur connecteurs

$F = \min (F_{con,d} , P_{Rd})$

Armatures

Limite d'élasticité f_{yk}

1.15 Calcul paramètres géométriques

1.16 Dalle collaborante – Détermination de A_1 et I_1

Largeur collaborante minimum selon EN 1992 (§5.3.2.1)

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

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad \dots (5.7)$$

avec

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

et

$$b_{eff,i} \leq b_i \quad \dots (5.7b)$$

(pour les notations, voir figures 5.2 ci-dessous et 5.3 ci-après).

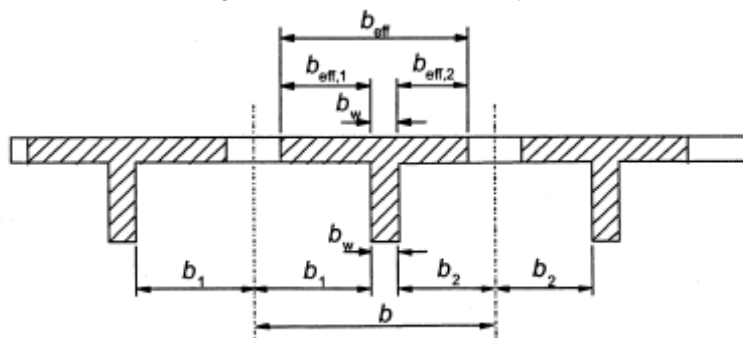


Figure 5.3 : Paramètres déterminant la largeur participante

$$b_{eff} = \min (b; b_{eff1} + b_w + b_{eff2})$$

1.2 Vérifications à l'ELU Instantané

Instantané – charges à court terme

Selon Eurocode 5 - Appendice B2 :

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

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b_i h_i$$

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

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (k_i \ell^2) \right]^{-1} \text{ pour } i = 1 \text{ et } i = 3$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$

ℓ : portée considérée

i=1 pour le béton

i=2 pour le béton (mais où b2=0)

i=3 pour le bois

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1$$

$$\gamma_3 = \left[1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_3 \times s}{K_u \times \ell^2} \right]^{-1}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_c \times A_1 \times (sc + h_2) - \gamma_3 \times E_1 \times A_3 \times (h_2 + ht)}{2 \times (\gamma_1 \times E_c \times A_1 + \gamma_2 \times E_c \times A_2 + \gamma_3 \times E_1 \times A_3)}$$

$$a_1 = (sc + h_2) / 2 - a_2$$

$$a_3 = (h_2 + ht) / 2 + a_2$$

$$(EI)_{ef} = E_c \times I_1 + E_c \times I_2 + E_1 \times I_3 + \gamma_1 \times E_c \times A_1 \times a_1^2 + \gamma_2 \times E_c \times A_2 \times a_2^2 + \gamma_3 \times E_1 \times A_3 \times a_3^2$$

Tensions dans la dalle collaborante:

$$\sigma_{n,1} = \frac{\gamma_1 \times E_c \times a_1 \times M_u}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,1} = \frac{0,5 \times E_c \times sc \times M_u}{(EI)_{ef}}$$

$\sigma_{1,max} = \sigma_{n,1} + \sigma_{m,1}$ (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)

1.21 Dimensionnement armature inférieure

$$A_r = \frac{b_{eff} \times (a_2 - h_2/2) \times \sigma_{1,min}}{2 \times f_{s,d}}$$

Tensions dans le bois:

$$\sigma_{n,3} = \frac{\gamma_3 \times E_1 \times a_3 \times M_u}{(EI)_{ef}} \text{ (traction moyenne)}$$

$$\sigma_{m,3} = \frac{0,5 \times E_1 \times ht \times M_u}{(EI)_{ef}} \text{ (flexion)}$$

1.22 Vérification tension – traction axiale combinée du Bois

$$\frac{\sigma_{n,3}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,3}}{f_{m,d}} < 1$$

1.23 Vérification au cisaillement du Bois

$$\tau_{3,max} = \frac{E_1 \times S_3 \times T_u}{(EI)_{ef} \times b_3} = \frac{E_1 \times (ht/2 + \gamma_3 \times a_3)^2 \times T_u}{2 \times (EI)_{ef}}$$

Vérification connecteur

$$F_{3,max} = \frac{\gamma_3 \times E_1 \times A_3 \times a_3 \times s \times T_u}{(EI)_{ef}}$$

1.3 Vérifications à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage (du Béton, du Bois et de la Connexion). La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Les valeurs de calcul sont obtenues par la moyenne des caractéristiques entières et réduites pondérées en fonction de la durée des charges.

Béton:

$$E_{c,inf} = E_c \times \frac{\gamma_g \times q_p + \psi_2 \times \gamma_q \times q_a + \frac{(1 - \psi_2) \times \gamma_q \times q_a}{1}}{1 + \phi + \gamma_g \times q_p + \gamma_q \times q_a}$$

Bois:

$$E_{l,inf} = E_l \times \frac{\gamma_g \times q_p + \psi_2 \times \gamma_q \times q_a + \frac{(1 - \psi_2) \times \gamma_q \times q_a}{1}}{1 + K_{def} + \gamma_g \times q_p + \gamma_q \times q_a}$$

Connexion:

$$K_{con,u,inf} = K_{con,u} \times \frac{\gamma_g \times q_p + \psi_2 \times \gamma_q \times q_a + \frac{(1 - \psi_2) \times \gamma_q \times q_a}{1}}{\gamma_g \times q_p + \gamma_q \times q_a}$$

q_p = charges permanentes caractéristiques q_a = charges d'exploitation caractéristiques Le calcul est exécuté de nouveau en employant les valeurs ainsi obtenues des caractéristiques élastiques.

1.31 Vérification dalle collaborante – armature transversale

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

(3) 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 :

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x)$$

h_f 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

Prenant en compte un côté de la dalle collaborante:

$$h_r = s_c$$

$$\Delta x = l/4 \text{ (EN 1992 6.2.4.3)}$$

$$\Delta F_d = nb \text{ connecteurs en } \Delta x \text{ pour force par connecteur } / 2$$

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

$$(A_{sf} f_{yd} / s_f) \geq v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

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

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

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 2,0 \text{ pour les membrures comprimées (45° } \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$$

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 1,25 \text{ pour les membrures tendues (45° } \geq \theta_f \geq 38,6^\circ)$$

$$\theta_f = 45^\circ$$

Vérifications armature transversale (§6.21)

A_{sf}/s_f = quantité d'armature transversale mini par unité de longueur = $v_{Ed} \times h_r / f_{yd}$

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 :

$$\rho_w = A_{SW} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha)$$

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 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

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

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

1.32 Vérifications dalle collaborante. Vérifications bielles de compression (6.22)

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

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

selon NF EN 1992 (§6.2.2) on a :

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

1.4 Vérifications ELS

1.41 Caractéristiques mécaniques Instantané (charge à court terme - instantanées)

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = \left[1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_3 \times s}{K_{ser} \times I t^2} \right]^{-1}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_c \times A_1 \times (sc + h_2) - \gamma_3 \times E_1 \times A_3 \times (h_2 + ht)}{2 \times (\gamma_1 \times E_c \times A_1 + \gamma_2 \times E_c \times A_2 + \gamma_3 \times E_1 \times A_3)}$$

$$a_1 = (sc + 2) / 2 - a_2$$

$$a_3 = (h_2 + ht) / 2 + a_2$$

$$(EI)_{ef} = E_c \times I_1 + E_c \times I_2 + E_1 \times I_3 + \gamma_1 \times E_c \times A_1 \times a_1^2 + \gamma_2 \times E_c \times A_2 \times a_2^2 + \gamma_3 \times E_1 \times A_3 \times a_3^2$$

1.42 Caractéristiques mécaniques Final (charge à long terme - permanentes)

Les caractéristiques élastiques pondérées pour contempler le fluage (du béton, du bois et de la connexion) sont prises en compte. Les caractéristiques élastiques sont pondérées par l'application des coefficients du fluage ; les valeurs de calcul s'obtiennent par la moyenne des caractéristiques élastiques totales pondérées selon la durée d'application de la charge.

$$E_{c,inf} = E_c \times \frac{q_p + \psi_2 \times q_a}{1 + \Phi} + \frac{(1 - \psi_2) \times q_a}{1}$$

$$E_{i,inf} = E_i \times \frac{q_p + \psi_2 \times q_a}{1 + K_{def}} + \frac{(1 - \psi_2) \times q_a}{1}$$

$$K_{con,inf} = K_{con} \times \frac{\frac{q_p + \psi_2 \times q_a}{1 + K_{def}} + \frac{(1 - \psi_2) \times q_a}{1}}{q_p + q_a}$$

Le calcul est élaboré de nouveau en prenant cette corrélation des caractéristiques élastiques :

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = \left[1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_3 \times s}{K_{ser} \times I t^2} \right]^{-1}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_{c,inf} \times A_1 \times (sc + h_2) - \gamma_3 \times E_{i,inf} \times A_3 \times (h_2 + ht)}{2 \times (\gamma_1 \times E_{c,inf} \times A_1 + \gamma_2 \times E_{c,inf} \times A_2 + \gamma_3 \times E_{i,inf} \times A_3)}$$

$$a_1 = (sc + h_2) / 2 - a_2$$

$$a_3 = (h_2 + ht) / 2 + a_2$$

$$(EI)_{ef} = E_{c,inf} \times I_1 + E_{c,inf} \times I_2 + E_{i,inf} \times I_3 + \gamma_1 \times E_{c,inf} \times A_1 \times a_1^2 + \gamma_2 \times E_{c,inf} \times A_2 \times a_2^2 + \gamma_3 \times E_{i,inf} \times A_3 \times a_3^2$$

1.43 Vérifications flèche

Le calcul est exécuté en combinaison quasi permanente

$$f = \frac{5 \times q \times I t^4}{384 \times (EI)_{ef}}$$

$(EI)_{ef}$ pour charges à court terme ou Instantané

$(EI)_{ef}$ pour charges à long terme ou Final (effets fluages)

Charge poids propre $q_{p,p}$

Effet Poids propre Instantané : $f_{p,p,10}$

Effet Poids propre Final : $f_{p,p,tinf}$

Effet Poids propre fluage : $f_{p,p,fluage} = f_{p,p,tinf} - f_{p,p,10}$

Charges permanentes début q_{perm1}

Effet Permanentes 1 Instantané : $f_{perm1,10}$

Effet Permanentes 1 Final : $f_{perm1,tinf}$

Effet Permanentes 1 fluage : $f_{perm1,fluage} = f_{perm1,tinf} - f_{perm1,10}$

Charges Permanentes suivantes q_{perm2}

(après mise en œuvre de cloison ou revêtement de sol)

Effet Permanentes 2 Instantané : $f_{perm2,10}$

Effet Permanentes 2 Final : $f_{perm2,tinf}$

Effet Permanentes 2 fluage : $f_{perm2,fluage} = f_{perm2,tinf} - f_{perm2,10}$

Charges d'Exploitation en combinaison quasi permanente $q_{var} \psi_2$

Effet charges d'Exploitation Instantané : $f_{var,10}$

Effet charges d'Exploitation Final : $f_{var,tinf}$

Effet charges d'Exploitation fluage : $f_{var,fluage} = f_{var,tinf} - f_{var,10}$

1.44 Vérifications flèche totale – absolue

Flèche totale $f_{tot} = f_{p,p,tinf} + f_{perm1,tinf} + f_{perm2,tinf} + f_{var,tinf}$

Flèche admissible = $L / 250$

1.45 Vérifications flèche active

Charges poids propre et permanentes début: fluage seul

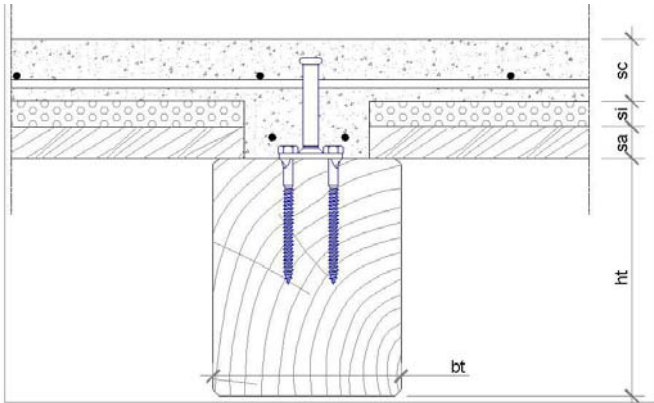
Charges permanentes successives aux cloisons et revêtement de sol: effets à court terme et fluage

Charges d'Exploitation : effets à court terme seuls et fluage

$f_{active} = f_{p,p,fluage} + f_{perm1,fluage} + f_{perm2,10} + f_{perm2,fluage} + f_{var,tinf}$

2. Cas de figure 2 : plancher à cadre simple, connecteur TECNARIA BASE sur poutre, platelage scié + réhausse d'isolant.

Plancher à cadre simple, connecteur TECNARIA BASE sur poutre platelage scié + réhausse d'isolant.



Compléments par rapport à la partie 1 :

Connecteur dans section de béton, largeur du renformis réduite.

On applique le coefficient de réduction de la résistance k_l comme selon la norme :

NF EN 1994.

Les goujons sont situés dans une région de béton en forme de renformis. Lorsque la plaque est continue au passage de la poutre, la largeur du renformis b_0 est égale à la largeur de la nervure de béton. Il convient de prendre h_p la hauteur du renformis.

Il convient de prendre la résistance au cisaillement de calcul égale à la résistance dans une dalle pleine, multipliée par le facteur de réduction k_l donné par l'expression suivante :

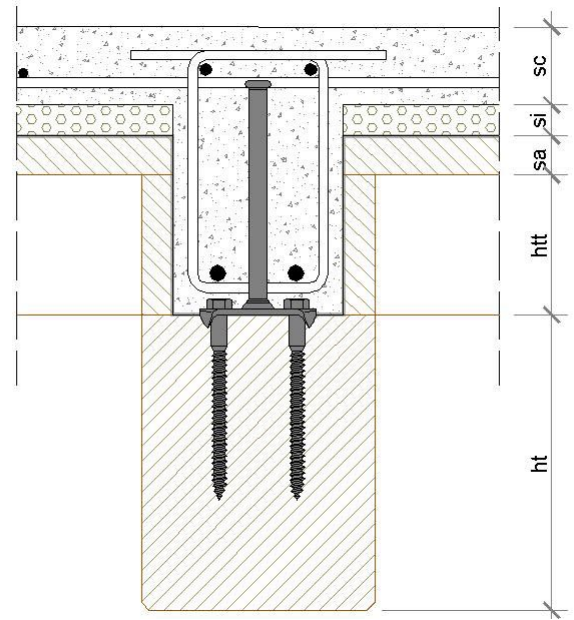
$$k_l = 0,6 \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0$$

h_{sc} est la hauteur hors-tout du goujon, mais sans être supérieure à $h_p + 75$ mm.

$F = \min (F_{con,d} , k_l \times Prd)$

3. Cas de figure 3 : plancher à double cadre, connecteur TECNARIA MAXI sur poutre, platelage scié + réhausse d'isolant.

Plancher à double cadre, Connecteur TECNARIA Maxi sur poutre, Platelage scié + réhausse d'isolant.



Complément par rapport à la partie 1

3.1 Vérification renformis au droit des poutres collaborante – armature transversale

Les étriers sont mis en place dès que le renformis n'a pas les dimensions suffisantes : hauteur inférieure à la largeur (voir figures 14 et 15). Dans cas, il n'y a pas nécessité d'utiliser le facteur K_l introduit au paragraphe précédent.

Selon les dispositions de la NF EN 1994-1-1 (§6.6.2.1, Ref NF EN 1992-1-1 §6.2.4)

$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x)$$

$$h_f = (b_t - 2 s_{re})$$

$$\Delta x = l/4 = (\text{EN } 1992 \text{ } 6.2.4.3)$$

$\Delta F_d = n_b$ connecteurs en Δx pour force maxi par connecteur

$$(A_{sf} f_{yd} / s_f) \geq v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

$$\theta_f = 45^\circ$$

Vérifications armature transversale (§6.21)

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

Armature mini:

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

$$\rho_w = A_{SW} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha)$$

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

$$\text{Espacement } s_{f \text{ mini}} = A_{sf} / (\rho_{w,min} \times s_c)$$

Il est opportun ne pas mettre en œuvre moins d'une barre tous les 33 cm (3 barres S 500 $\varnothing 6$ mm/ mètre, comme valeur d'espacement s_f).

3.2 Vérifications renformis au droit des poutres collaborante. Vérifications bielles de compression (6.22)

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

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

selon NF EN 1992 (§6.2.2) on a :

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

Annexe 2 : modules de glissement

Les tableaux ci-dessous indiquent les valeurs de modules de glissement des connecteurs.

Connecteur	Platelage	Bois	$F_{v,Rk}$	K_{ser}	K_{tr}
			kN	kN/mm	kN/mm
BASE	sans	C16, GL24 et +	17,2	17,9	9,99
		D30 et +	19,5	16,5	9,87
	20mm	C16, GL24 et +	8,96	4,00	2,49
		D30 et +			
	40mm	C16, GL24 et +	5,86	1,43	1,20
		D30 et +			
MAXI	sans	C16, GL24 et +	19,3	18,6	10,4
		D30 et +	24,5	21,2	13,6
	20mm	C16, GL24 et +	15,0	7,68	4,35
		D30, GL24 et +			
	40mm	C16, GL24 et +	11,3	3,06	2,66
		D30 et +			

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Principe et domaine d'emploi proposé

La section mixte bois-béton TECNARIA est un procédé de plancher qui permet de connecter une dalle en béton à des poutres en bois. La connexion est assurée par des connecteurs, ancrés dans le bois par des tire-fonds et dont l'ergot est noyé dans le béton. La mise en œuvre de la connexion permet d'optimiser la contribution de chacun des composants principaux du plancher que sont le bois, les connecteurs et le béton, tout en justifiant la flèche finale par calcul.

La connexion assure la transmission d'efforts de cisaillement entre la dalle en béton en compression et les solives en bois en traction.

La section mixte bois-béton TECNARIA permet le renforcement et le raidissement de planchers existants, dans le cadre d'une rénovation, et d'en augmenter la charge admissible. Dans la conception et la mise en œuvre de structures neuves, que ce soit par le biais d'une préparation préalable de la connexion en atelier ou bien par la pose des connecteurs sur chantier, cela permettra de réduire la hauteur de plancher à résistance et rigidité équivalentes par rapport à un plancher non connecté.

Tous les types de bâtiments sont concernés, que ce soit en résidentiel, Etablissements Recevant du Public, tertiaire, commercial etc..., dont la structure porteuse peut être en béton armé ou en maçonnerie, en acier ou en bois.

Le concept de la connexion TECNARIA peut être appliqué aux planchers et aussi aux toitures, planes.

Dans tous les cas de figure, l'intervention de renforcement est soumise à une vérification de calcul d'usage.

La mise en œuvre des connecteurs est accessible à toute entreprise. La vérification des hypothèses de calcul sera exécutée par le Bureau d'Etudes Techniques de l'opération.

TECNARIA propose aux BET son support en termes de :

- Formation initiale
- Exécution des calculs
- Mise en œuvre.

2. Matériaux : définition

2.1 Connecteurs :

La société TECNARIA fabrique des connecteurs métalliques utilisés pour la mise en œuvre de planchers mixtes bois-béton. Ces connecteurs existent en version BASE et MAXI. Les connecteurs TECNARIA reçoivent une protection de surface par zingage électrolytique qui assure une excellente qualité de surface des pièces jusqu'à la pose définitive. Le risque de blessure aux mains au contact des connecteurs, du fait de leur finition de surface soignée, est pratiquement nul.

Les connecteurs sont marqués TECNARIA et sont constitués d'une plaque de base, dont les quatre angles sont repliés vers le bas pour former les crampons, et sur laquelle est fixé un ergot par calquage à froid. La plaque sera ensuite maintenue en place par le vissage de deux tire-fonds sur la poutre, à travers les deux orifices pratiqués à cet effet.

Les vis tire-fonds sont marquées de la lettre T sur la tête et sont spécifiques pour la fixation des connecteurs TECNARIA.

En outre, les connecteurs n'ont pas besoin d'être fixés par de la colle ni par de la résine. Leurs tire-fonds se suffisent à eux-mêmes pour le maintien des connecteurs en position parfaitement ancrée dans le bois.

Les connecteurs BASE sont composés d'une plaque de base de 50 X 50 X 3,8 mm, modelée à crampons, ayant deux orifices pour l'introduction de deux vis tire-fonds de Ø 8 mm de diamètre avec sous tête tronconique et d'un ergot en acier zingué de 12 mm de diamètre, assemblé à la plaque par calquage à froid. Les hauteurs d'ergot disponibles sont : 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 et 200 mm, associées à des longueurs de vis de 70, 100 et 120 mm.

Les connecteurs MAXI sont composés d'une plaque de base de 75 X 50 X 3,8 mm, modelée à crampons, ayant deux orifices pour l'introduction de deux vis tire-fonds de Ø 10 mm de diamètre avec sous tête tronconique et d'un ergot en acier zingué de 12 mm de diamètre, assemblé à la plaque par calquage à froid. Les hauteurs d'ergot disponibles sont : 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 et 200 mm, associées à des longueurs de vis de 100, 120 et 140 mm.

La longueur des tire-fonds à employer dépend des dimensions du support sur lequel ils seront fixés et de la méthode de pose prise en compte dans le calcul (cf.§4.10).

2.2 Poutres et solives :

Les poutres et solives entrant dans la conception des planchers et destinées à recevoir les connecteurs doivent être de caractéristiques de qualité suivantes ou supérieures :

- Bois massif résineux, qualité minimum C16 selon NF EN 338
- Bois massif feuillus, qualité minimum D30 selon NF EN 338
- Bois Lamellé collé, qualité minimum GL24 selon NF EN 1194.

Les solives, pour pouvoir recevoir la connexion, devront avoir les dimensions minimum suivantes: 60 mm de large et 80 mm de hauteur.

Les poutres sont en bois massif, ou lamellé-collé, et correspondent au minimum aux spécifications de la catégorie II selon la norme NF B52-001, ayant reçu, si nécessaire, un traitement approprié pour la destination des ouvrages et conforme aux règles de la construction en vigueur. Les poutres peuvent être rabotées ou non.

L'utilisation de section mixte bois-béton TECNARIA est possible pour les classes 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.

Lorsqu'il y a dans le même plancher un changement de direction de portée, il faudra considérer les deux parties comme deux planchers indépendants, à jointer. Pour appliquer le concept de la connexion TECNARIA le rapport des portées adjacentes doit être compris entre 0,8 et 1,2.

Dans le cas de plancher existant, un examen préalable de la situation devra être accompli avant le dimensionnement de la connexion et sa mise en œuvre. (cf. voir détail § 3.2)

2.3 Platelage :

Dans le cas d'une rénovation, il est possible d'utiliser le platelage existant, s'il est en mesure de recevoir le béton, ou bien de le remplacer par un panneau de fond de coffrage, type OSB ou CTBH, CTBX. Dans le cas de pose de connecteur sur le platelage, son épaisseur n'excèdera pas 40mm. Cette dernière solution est parfaitement valable pour le neuf.

Il est naturellement possible, en alternative, d'utiliser un coffrage perdu ou réutilisable qui sera, selon la situation, déposé après la prise et le durcissement du béton. Dans le cas de coffrage perdu, l'appui sur les poutres et/ou solives ne devra pas être < 15 mm. Il est aussi possible d'employer un bac acier comme fond de coffrage, en veillant toutefois à respecter les indications du fabricant concernant l'emploi et les entraxes maximum. Dans ce dernier cas il faudra s'assurer que le béton reste bien en place et ne provoque pas de salissures par la laitance.

2.4 Rehausse - Renformis :

Il est possible de mettre en œuvre une rehausse, en général un matériau isolant, de type fond de coffrage, pour favoriser la formation du renformis au droit des poutres ou solives et augmenter ainsi l'inertie des poutres en béton au droit de celles-ci. De cette façon la section mixte tire deux avantages fondamentaux de la présence de l'isolant sous le béton de la dalle : l'augmentation du rendement de la section mixte bois-béton et la contribution à l'isolation acoustique et thermique du plancher.

La continuité du béton doit être assurée au droit de la poutre et la largeur de la semelle de béton est spécifiée dans la note de calcul. Le matériau isolant peut être de toute sorte, sous forme de panneau ou autre.

La distance entre l'axe du connecteur et l'isolant doit être égale à l'épaisseur de l'isolant, avec comme valeur minimum 5 cm.

2.5 Béton :

Le béton structural est conforme aux exigences formulées selon : NF EN 1992-1-1 (octobre 2005).

Dans ce cas la valeur de résistance caractéristique, le module d'élasticité, le coefficient de fluage à prendre en compte dans les calculs ainsi que la masse volumique, sont fournis par le fabricant de béton lui-même. En tous cas, la valeur de résistance caractéristique minimum est C20/25 pour le béton.

La granulométrie du béton retenue est standard. Le diamètre des granulats sera donc ≤ 20 mm.

L'épaisseur de la dalle collaborante est déterminée par calcul et tient compte des conditions d'exercice de celle-ci. L'épaisseur minimum est de 5 cm.

Dans la plupart des cas, les poutres doivent être étayées avant le coulage du béton. La vérification est faite au moment du calcul. Le maintien des étais est prévu jusqu'à ce que la résistance du béton permette de reprendre les efforts de chantier.

Les armatures de la dalle sont constituées essentiellement par le treillis soudé, selon les indications de la norme NF EN 1992-1-1. Dans certains cas, des barres supplémentaires sont prévues et des étriers peuvent être mis en place au droit des poutres, de façon à assurer la continuité de la connexion sur toute la section de béton coulée au dessus des poutres bois.

En cas de vérification en situation de séisme, la dalle béton doit être entièrement connectée aux murs en périphérie conformément aux recommandations de NF EN 1998-1-1 et son Annexe Nationale. De fait, on peut faire l'hypothèse que les actions sismiques horizontales sont reportées exclusivement sur la dalle de béton (qui fonctionne comme une plaque).

3. Méthode de calcul

Le calcul de dimensionnement d'un plancher mixte bois-béton TECNARIA et de tous les éléments constitutifs de sa mise en œuvre doit être visé par un B.E.T ou par le Maître d'Ouvrage lui-même. Il doit tenir compte des conditions de calcul exposées dans le présent Avis Technique.

Pour faciliter le travail de dimensionnement des sections mixtes bois-béton (et non le plancher dans son ensemble), une notice destinée aux bureaux d'études techniques présente la méthodologie complète avec des exemples de calculs.

3.1 Planchers neufs

Dans le cas de planchers neufs, les caractérisations à prendre en compte sont celles remises par le fournisseur du bois. L'avantage de dimensionner la connexion pour un plancher neuf est que les paramètres du bois peuvent être optimisés : tels que l'entraxe et la section, en cohérence complète avec les autres éléments du plancher tels que le béton, les armatures et les éventuelles rehausses d'isolant.

3.2 Planchers existants

Avant de pouvoir prendre en compte les éléments de structure existants, il est nécessaire de procéder à un relevé détaillé des éléments fondamentaux du calcul : section efficace du bois, portée, entraxe, état du bois, les déformations, classification du bois de la structure, et définir si le platelage peut recevoir le béton comme fond de coffrage.

En cas de situation problématique identifiée sur le chantier visé concernant la classification d'une ou plusieurs pièces de la structure, il sera possible d'approfondir l'examen par une visite sur place de la part d'un expert ou bien de confier à un laboratoire spécialisé les essais qui s'imposent.

La mise en conformité de la structure consistera en un remplacement des pièces défectueuses ou bien un renforcement localisé, selon les règles de l'art, de façon à ce que les conditions de la structure soient assez homogènes, avant de recevoir la connexion.

Ces décisions seront prises et mises en œuvre à la lecture des observations rédigées par l'expert ou bien le laboratoire spécialisé.

Dans le cas de poutres anciennes et neuves sur le même plancher, il sera nécessaire de prendre en compte les différentes conditions d'humidité, flèche et/ou appuis dans la conception du plancher.

3.3 Dalle collaborante en béton

La procédure de calcul, comme décrite dans l'Avis Technique TECNARIA, permet la vérification de section mixte bois-béton.

Un ensemble de plusieurs poutres mixtes constitue un plancher, à condition que la structure secondaire employée pour la répartition des charges aux poutres mixtes soit convenablement dimensionnée.

Si le plancher est à simple cadre, c'est-à-dire quand il n'y a qu'un seul sens de poutraison (ou solivage), la structure secondaire est composée de la seule dalle collaborante en béton qui est partie intégrante de la section mixte.

Si le plancher est à double cadre, cela signifie qu'il y a un solivage transversal aux poutres et dont le rôle consiste à rapporter les charges aux poutres principales.

Un cas typique de ce genre de plancher est constitué de poutres principales et de solivage en bois qui est lui-même connecté à la dalle collaborante, de façon à ce que les solives soient elles-mêmes vérifiées comme poutres mixtes, ayant, comme portée de calcul, la distance entre deux poutres principales.

Dans tous les cas de figure, la structure secondaire est soumise à vérification et doit être convenablement dimensionnée en fonction des matériaux qui la composent.

Si ce matériau est le béton de la dalle collaborante, le béton devra être dimensionné selon les indications relatives aux structures en béton : les vérifications à effectuer seront celles à l'État Limite de Service et à l'État Limite Ultime.

Au cas où la structure secondaire soit en bois, la connexion sera dimensionnée comme expliqué plus haut. Dans de très rares cas de figure, il se pourrait que la connexion du second cadre en bois ne soit pas nécessaire.

L'objectif du dimensionnement de la connexion est de définir la typologie de connecteurs à mettre en œuvre, leur hauteur et leur répartition.

Au cours de cette phase, les armatures complémentaires sont dimensionnées à leur tour. L'armature minimum est constituée d'un treillis soudé type ST 20, auquel peuvent être ajoutés, le cas échéant, des renforts tels que une ou plusieurs barres, à placer au droit des poutres et/ou solives exprimées en aire d'acier (cm²), des étriers qui pourront assurer le prolongement de la connexion.

Le dimensionnement permettra de déterminer le besoin en rehausse d'isolant ou non, de façon à augmenter la contribution du béton à la résistance mécanique de la section mixte, sans pénaliser la section elle-même par l'apport excessif de poids propre à reprendre par la section mixte.

3.4 Calcul sismique

Le calcul vis-à-vis des charges verticales s'effectue sans prendre en compte la présence des connecteurs.

3.5 Calcul feu

Le calcul s'effectue sans prendre en compte la présence des connecteurs.

3.6 Calcul de la déformation

Le dimensionnement se fait sur la poutre de plus grande portée. 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.

Ce fléchissement ne doit pas dépasser 1/500 de la portée.

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 est limité conventionnellement à 1/250 de la portée.

3.7 Vérifications en phase provisoire

La vérification de la sécurité en phase provisoire est effectuée sous l'action :

- 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 :

$$0,5 \cdot L1 \text{ si } L1 \leq 6,0 \text{ m}$$

$$1,5 + 0,25 \cdot L1 \text{ si } L1 > 6,0 \text{ m}$$

avec L1 portée libre en phase de mise en œuvre en m.

La vérification en phase de mise en œuvre concerne uniquement les poutres en bois. La contrainte sur la fibre extrême du bois est limitée, dans ce cas, à 1,5 σ_r .

4. Mise en œuvre

La mise en œuvre de la connexion consiste à fixer les connecteurs selon le descriptif de la note de calcul, et prévoit toutes les composantes de la section mixte en termes de géométrie et positionnement : étaielement (ou non), platelage ou coffrage, rehausse (ou non), connecteurs, armatures et dalle béton.

Les différentes phases de la mise en œuvre de la connexion concernent aussi la préparation de la structure destinée à recevoir la connexion, et prennent fin au moment de la dépose des étais, si présents, et au moment du durcissement définitif du béton de la dalle collaborante.

Aussi, et pour garantir la bonne connaissance préalable des différentes séquences de pose, un guide d'instructions de pose est remis lors de chaque livraison (cf : guide d'instructions de mise en œuvre).

La fixation des connecteurs dans la poutraison et/ou le solivage est très peu invasive dans la mesure où le tire-fond retenu pour la typologie BASE est de \varnothing 8 mm et \varnothing 10 mm pour la typologie MAXI.

Les différentes séquences de la pose seront idéalement exécutées dans l'ordre suivant, et sont communes aux planchers en rénovation et neufs, sauf mention explicite:

1. Vérification des appuis : état des poutres, des supports et alignements des poutres, surtout dans le cas de rénovation du plancher.
2. Mise en place de l'étalement retenu et mise en sécurité avant démarrage des travaux. Lorsqu'il n'est pas possible d'étayer en sous-face, par manque d'accessibilité à l'étage inférieur ou pour toute autre raison, il est possible d'avoir recours à des tirants fixés aux murs ou aux poutres de l'étage supérieur. Dans ce cas, les tirants sont fixés sur les poutres à connecter. (cf instructions spécifiques disponibles sur demande).
3. Percer les orifices des murs périmétraux qui seront destinés à recevoir les ancrages périmétraux. évitant la coïncidence avec les appuis des poutres et/ou solives. La hauteur du percement est déterminée par l'enrobage voulu des barres dans la dalle collaborante.
4. Rénovation du plancher : dégager le platelage sur les poutres et vérifier sa bonne tenue. Procéder éventuellement à la transformation du platelage selon le système de pose : si le connecteur doit être posé à même la poutre et/ou le solivage, il faut scier le platelage ou le carotter, de façon à laisser un couloir libre de au moins 60 mm (attention à la largeur des supports) (sinon voir §4.8). En cas de pose des connecteurs sur le platelage, son épaisseur ne pourra pas excéder 40 mm. Le platelage doit être de forme suffisante pour assumer la phase provisoire de montage : épaisseur, entraxe, longueur des appuis, fixation sur la poutre et typologie de panneau.
5. Plancher neuf : clouer le platelage sur les poutres en tenant compte du système de pose retenu : si le connecteur doit être posé sur le platelage, les panneaux doivent couvrir la totalité de la surface à connecter. Les clous seront fixés en tenant compte de la position des connecteurs. Sinon, poser les panneaux de façon à laisser un couloir libre de au moins 60 mm au droit des poutres et/ou solives (attention à la largeur des supports). Il est possible d'employer un autre matériau comme fond de coffrage, ou bien une banche à béton. Les précautions d'usage sont les mêmes que pour le cas de coffrage du béton : il doit être mis en place de manière telle à ne pas laisser passer la laitance au moment du coulage proprement dit. Les autres matériaux de construction employés comme fond de coffrage dans les applications courantes sont donc parfaitement recevables ici.
6. Étaler, si nécessaire, un écran de protection imperméable et transpirant. L'écran de protection peut être de type film plastique ou, mieux encore, micro poreux (type Centuria de TECNARIA). Si le type de pose retenu est le carottage, l'écran sera entaillé et découpé à l'emplacement prévu des connecteurs pour faciliter l'opération de carottage. Afin de maintenir en position le film en question, il pourra être agrafé.
7. Positionner les emplacements des connecteurs selon les espacements prévus par la note de calcul. Les espacements sont de deux types : homogène, c'est-à-dire que la distance entre chaque connecteur est la même sur toute la longueur de la poutre, ou bien variable, c'est-à-dire que la longueur de la poutre à connecter est divisée en trois segments : les $\frac{1}{4}$ gauche et droit et le $\frac{1}{2}$ central. Le premier espacement concerne la distance entre connecteur dans les deux $\frac{1}{4}$ et le second espacement concerne la distance entre les connecteurs qui se trouvent dans la partie $\frac{1}{2}$ centrale de la poutre. La proportion de la répartition entre ces deux zones $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ de la longueur sont du simple au double. C'est-à-dire que si la distance entre les connecteurs de la zone $\frac{1}{4}$ est de 20 cm, la distance entre connecteurs de la zone $\frac{1}{2}$ sera de 40 cm. Il est tout à fait possible de convertir l'espacement entre connecteurs en créant une double file de connecteurs (jusqu'à trois files admises): par exemple, si la note de calcul prévoit un espacement de 15 cm entre connecteurs pour une pose homogène sur toute la poutre, la distance devient deux connecteurs côte à côte tous les 30 cm avec une double file. En revanche, la distance minimum entre deux connecteurs est de 60 mm (d'ergot à ergot). De plus, dans le cas de plancher à double cadre, la fixation des connecteurs sur le premier cadre ne peut être qu'à contact direct sur la poutre. Dans le cas où les solives soient continues au droit des poutres, il faut donc adapter l'espacement calculé en tenant compte de la place disponible sur la poutre, entre les solives. L'important ici est de respecter le nombre de connecteurs calculé pour chaque segment (si espacement variable : chaque segment $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ aura le nombre prévu de connecteurs). Pour finir, l'espacement maximum entre connecteurs, pour permettre à la connexion d'être efficace, est de 50 cm.
8. Carottage : si la solution de pose retenue prévoit le carottage du platelage, à l'emplacement prévu des connecteurs comme décrit au §7, à l'aide d'une fraise de \varnothing 65 mm pour les connecteurs BASE et 90 mm pour les connecteurs MAXI, procéder au fraisage de l'épaisseur totale du platelage.

9. Exécuter un avant trou de \varnothing 2 mm de moins que le \varnothing du tire-fond et de même longueur. C'est-à-dire, pour le connecteur MAXI : pré percement de \varnothing 8 mm. Pour le connecteur BASE pré percement de \varnothing 6 mm dans les situations suivantes : _en présence de bois durs (chêne continental et tropical, poutres anciennes) _lorsque la largeur de la poutre ou solive est $<$ 12 cm, lorsque l'espacement calculé des connecteurs est $<$ 15 cm. Sur les bois existants il est même recommandé d'utiliser une mèche à métaux en lieu et place de la mèche à bois, pour la perceuse.
10. Choix des vis tire-fonds : la longueur des vis doit respecter une exigence d'écart minimum entre la pointe de la vis, dans sa position définitive, et l'arase inférieure de la poutre et/ou solive. Il ne peut y avoir moins de 10 mm entre ces deux points. Ainsi les dimensions minimum recommandées sont les suivantes :
La longueur standard des vis tire-fonds du connecteur BASE est 100 mm. Il est toutefois possible d'utiliser les vis tire-fonds de longueur 70 mm au cas où le connecteur posé à contact direct sur une poutre de Hauteur 80 mm à 110 mm.
Il est aussi possible d'utiliser les vis tire-fonds de longueur 120 mm lorsque le connecteur est fixé sur la poutre sur le platelage d'une épaisseur $>$ 20 mm.
La longueur standard des vis tire-fonds du connecteur MAXI est 120 mm. Il est toutefois possible d'utiliser les vis tire-fonds de longueur 100 mm au cas où le connecteur posé à contact direct sur une poutre de Hauteur 110 mm à 130 mm.
Il est aussi possible d'utiliser les vis tire-fonds de longueur 140 mm lorsque le connecteur est fixé sur la poutre sur le platelage d'une épaisseur $>$ 20 mm.
11. Lubrifier les tire-fonds avant de les visser.
12. Faire pénétrer (les premiers mm) les tire-fonds à l'aide d'un seul coup de marteau.
13. Visser les tire-fonds à l'aide d'une clé à choc (couple de serrage : 440 Nm) ou bien d'une visseuse à grand couple. L'insert hexagonal de 13 mm est compatible pour les deux types de connecteurs BASE et MAXI.
14. Rehausse : dans certains cas, il est prévu, conformément au calcul, la présence d'une rehausse entre la dalle collaborante et le fond de coffrage. Le plus souvent cette rehausse se présente sous forme de panneau, dont la largeur sera découpée de façon à respecter le couloir du renformis prévu par la note de calcul, en pratique là où sont placés les connecteurs, afin de pouvoir assurer la continuité du béton et donc de la connexion. (cf Point N° 1 de la Partie I de L'atec).
15. Mettre en place les armatures supplémentaires dans cet ordre : les étriers (si prévus) ligaturés aux barres éventuelles, ensuite le treillis soudé prévu (une ou deux nappes). Pour finir, les ancrages périmétraux dans les orifices préparés au moment du démarrage de la pose.
16. Le coulage de la dalle : peut se faire par tout moyen d'approvisionnement du béton sur le chantier. Le béton doit être coulé, conformément aux règles de l'art, concernant les bétons de structure.
17. Dépose des étais : Une fois le durcissement du béton terminé, si présents, les étais peuvent être déposés.

B. Résultats expérimentaux

1. Résultats de tests de laboratoire

Différentes campagnes de tests de laboratoire ont été menées afin de mieux connaître et prévoir les comportements des sections mixtes bois-béton connectées TECNARIA.

Les essais de type « push out » ont été accomplis par les laboratoires suivants :

Laboratoire expérimental pour les essais sur les matériaux de construction de la Faculté D'Ingénierie de l'Institut des Sciences et Techniques de la Construction de l'Université de PADOUE (Italie) . Thème de la campagne : « Evaluation du comportement des connecteurs TECNARIA selon les exigences de la norme Eurocode 5 ». 3 sessions d'essais exécutées : mars 1995 – septembre 1995 – juin 1996.

CNR de FLORENCE (Italie) – Institut pour la Recherche sur le Bois : Thème de la campagne : « Evaluation du comportement des connecteurs TECNARIA selon les exigences de la norme Eurocode 5 ». Session d'essais : janvier 2001.

Université de TRIESTE (Italie) – Département d'Ingénierie Civile : Thème de la campagne : « Evaluation du comportement de connexions mécaniques Bois-Béton, à court et long terme ».

Etude du comportement du système de connexion TECNARIA dans la section mixte Bois-Béton à long terme, dans les conditions d'humidité et de température constante (essais de fluage) et en condition d'humidité variable, sous l'action de charges de service avec béton standard et béton allégé. Période des essais : septembre 2000 – mai 2001.

C. Références de chantiers quantitatifs

Quantité totale de planchers connectés TECNARIA :

Les premiers connecteurs TECNARIA ont été posés en mars 1995, en Italie. A fin juin 2008, le nombre total de connecteurs posés, essentiellement en Italie, dépasse les 6 millions de connecteurs, soit plus de 800 000m² de planchers mixtes Bois-Béton connectés avec les connecteurs TECNARIA

Les pays européens suivants, outre à la France et l'Italie, ont eu recours à la technique de renforcement des planchers TECNARIA : Belgique, Croatie, Espagne, Grèce, Portugal, République Tchèque, Slovénie.

Chantiers de référence en France :

Parmi les premiers chantiers exécutés en France, nous retenons les chantiers suivants :

- Immeuble de Bureaux – Rue Clémenceau CANNES (06) : immeuble existant, 1 200m² de planchers existants renforcés – portée 6,25m et entraxe 0,45m. 8 600 connecteurs posés sur le platelage.
- Magnanerie – Seillans (83) : immeuble en pierres, 600m² de planchers existants renforcés – portée 7,40m et entraxe 1,00m. 3 000 connecteurs.
- Avenue Franklin Roosevelt – Paris (72) : immeuble de bureaux où les structures existantes ont été renforcées par le système TECNARIA, y compris sur les zones mixtes acier-béton, dont 90m² de planchers bois-béton. 760 connecteurs.
- Magasin BENETTON – Cannes (06) : immeuble existant, 115m², avec structure du plancher en double cadre. 700 connecteurs.
- Habitation privée – Urrugne (64) : maison ancienne de 330m² sur deux niveaux, chaque pièce présentait une structure de poutraison et solivage différent, et avec essences différentes. 3 000 connecteurs.
- Restaurant Mac Donald's – Marseille La Canebière (13) immeuble existant, 120m², où la section mixte bois-béton se trouvait confrontée à la présence d'une poutre métallique de type IAO au milieu de la trame. Les deux systèmes TECNARIA pour les sections mixtes acier-béton et bois-béton, se sont complétés pour le renforcement du plancher de cet ERP. 800 connecteurs.

Chantiers de référence en Italie :

Parmi les chantiers les plus remarquables qui ont reçu la technique de renforcement des planchers mixtes bois-béton TECNARIA en Italie, nous pouvons citer les suivants :

- Théâtre LA FENICE – Venise
- Théâtre LA SCALA – Milan
- Villa BORROMEO ARESE – Milan
- Villa Imperiale – Galliera Veneta (Padoue)
- Esedra di Villa Manin – Udine
- Reggia di Venaria Reale – Turin (Patrimoine de l'Unesco)
- Château de Moncalieri – Turin
- Palais Rosso – Gênes
- Villa La Pietra – Siège de l'Université de New-York (Florence)
- Palais Assurances Fondiaria Sai – Place de la République (Florence)
- Salle Campidoglio – Rome
- Palais della Consulta – Place du Quirinale (Rome)
- Château Mediceo – Ottaviano Naples
- Banque Monte dei Paschi de Siene – Siene
- Complexe Santa Maria della Scala – Siene

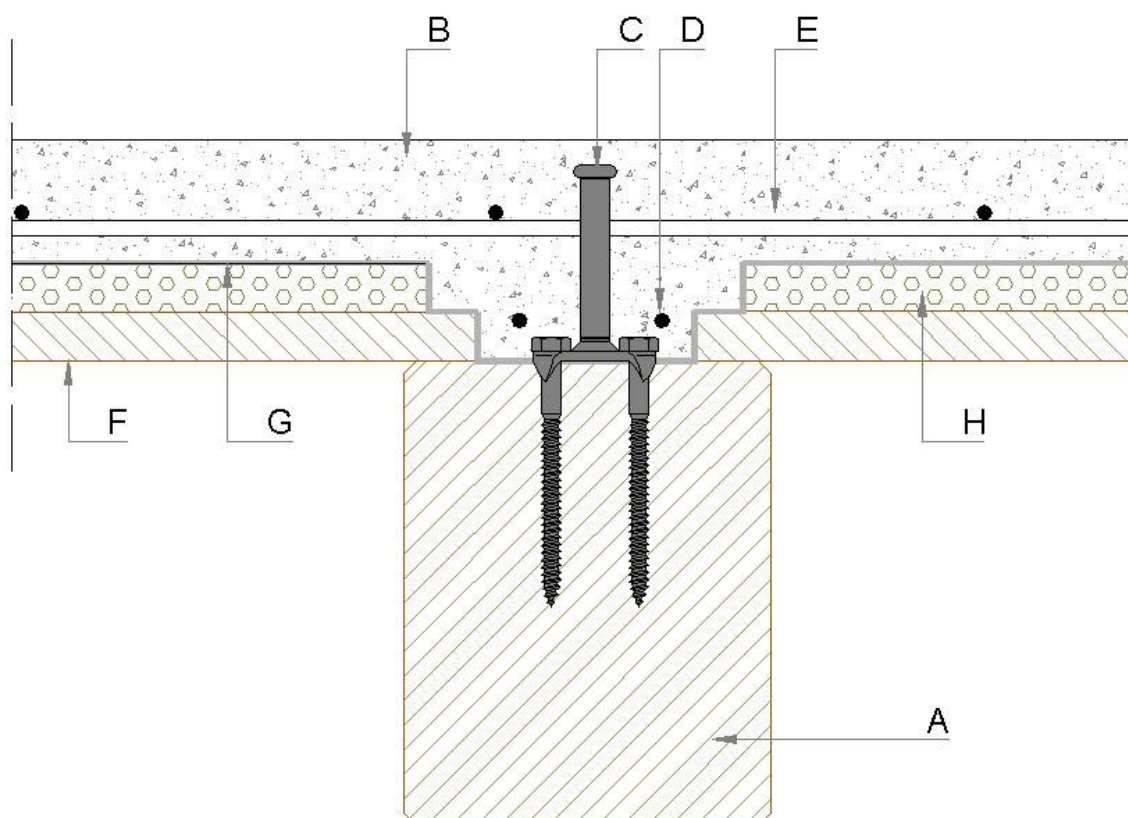
En Espagne:

- Palais de Fuensalida – Tolède

Tableaux et figures du Dossier Technique

Figure 1 : Connecteur fixé à même la poutre (ou solive)

(Platelage scié ou carotté)



Composition de principe:

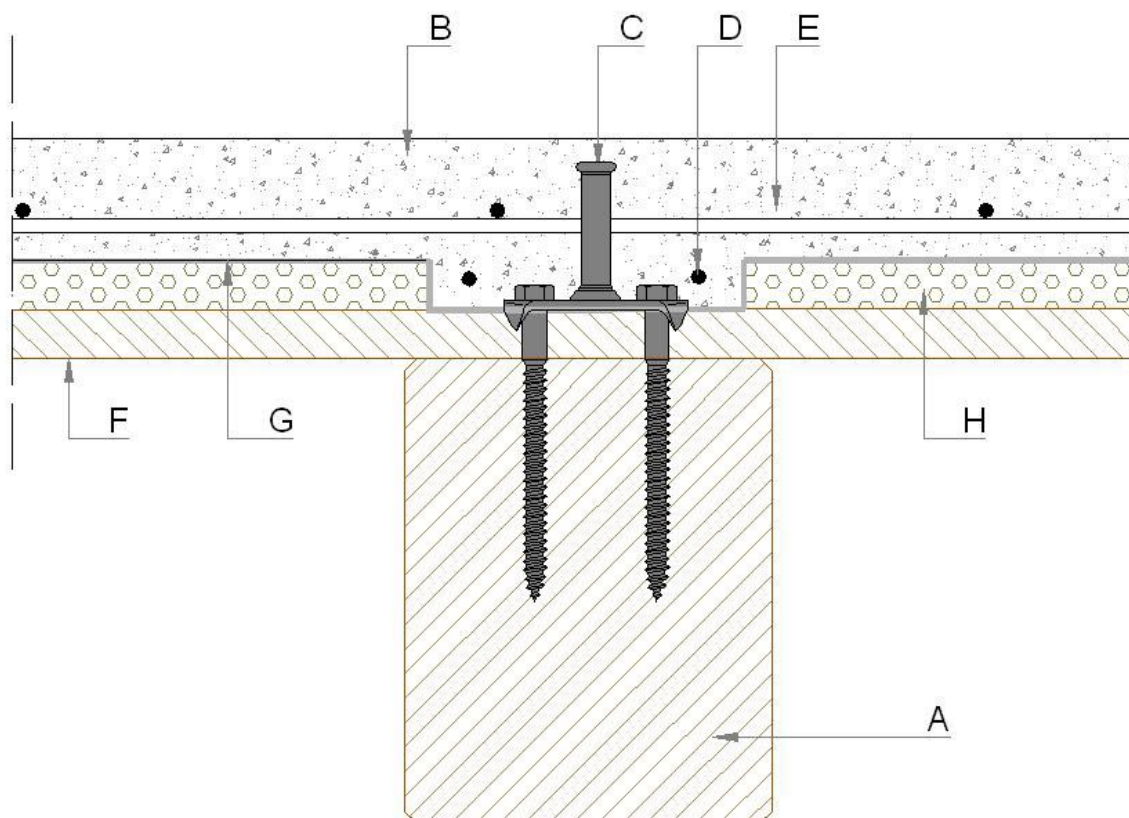
- A: Poutre (ou solive) en bois
- B: Dalle collaborante en béton
- C: Connecteur TECNARIA (CTL BASE ou bien CTL MAXI) fixé sur la poutre, crampons ancrés et tire-fonds vissés dans la poutre.
- E: Armature transversale (treillis soudé)

Sujétions éventuelles:

- D : Barre (s) selon dimensionnement, \varnothing 8 à 16 mm, dans la zone du renformis.
- F: Fond de coffrage : platelage
- G: Écran de protection, imperméable côté béton et transpirant côté bois.
- H: Rehausse en matériau isolant

La distance entre l'axe du connecteur et l'isolant (type fond de coffrage) doit être au minimum égale à l'épaisseur de l'isolant plus celle du platelage, avec comme valeur minimum 5 cm.

Figure 2 : Connecteur fixé à même le platelage



Composition de principe:

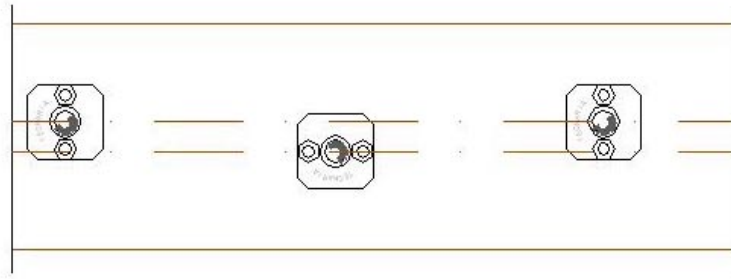
- A: Poutre (ou solive) en bois
- B: Dalle collaborante en béton
- C: Connecteur TECNARIA (CTL BASE ou bien CTL MAXI) fixé sur le platelage, crampons ancrés dans le bois du platelage. Tire-fonds vissés dans la poutre.
- E: Armature transversale (treillis soudé)

Sujétions éventuelles:

- D : Barre (s) selon dimensionnement, \varnothing 8 à 16 mm, dans la zone du renformis.
- F: Fond de coffrage : platelage
- G: Écran de protection, imperméable côté béton et transpirant côté bois.
- H: Rehausse en matériau isolant

La distance entre l'axe du connecteur et l'isolant (type fond de coffrage) doit être au minimum égale à l'épaisseur de l'isolant, avec comme valeur minimum 5 cm.

Figure 3 : Distribution des connecteurs TECNARIA



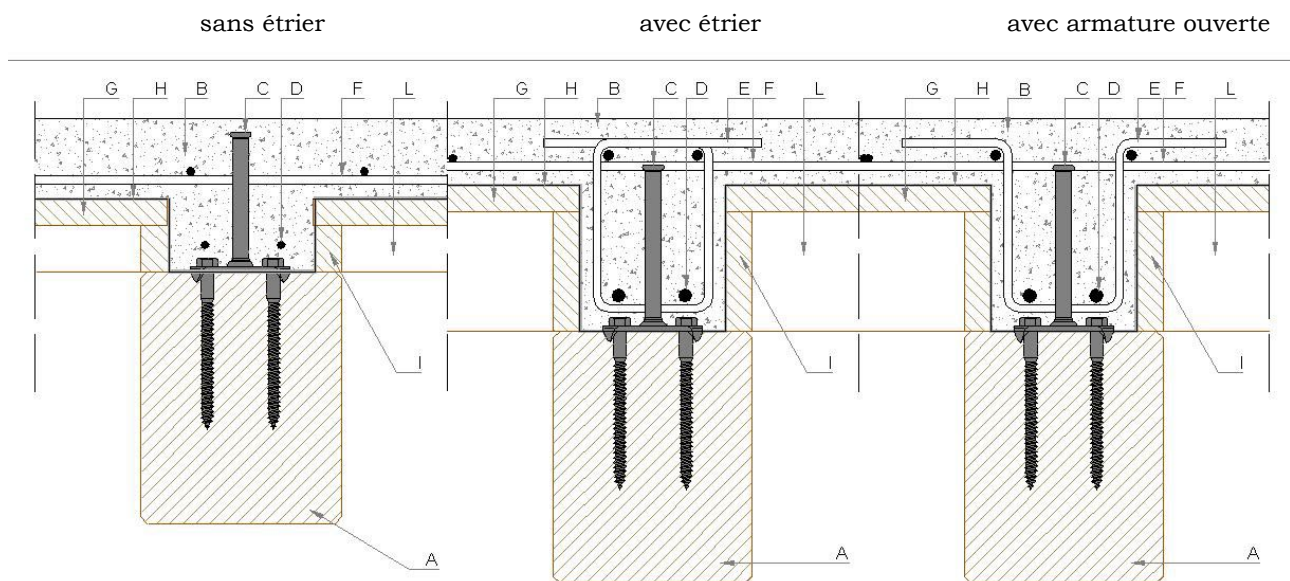
Exemple de distribution des connecteurs types Base, valable aussi pour le type MAXI.

Lorsque les dimensions de la poutre le permettent, il est conseillé de poser les connecteurs de façon à ce que les plaques de base ne soient pas alignées entre elles. Les décalages doivent tenir compte du respect des distances minimum par rapport aux bords de la poutre.

Au cas où la largeur de la poutre serait insuffisante pour permettre ce type de distribution, l'alignement sur un axe seul de tous les connecteurs ne remet pas en cause les données du calcul et la résistance de la section mixte est de toute façon vérifiée.

Figure 4 : Connecteur fixé à même la poutre d'un double cadre

- Trois principes d'armatures complémentaires -



Composition de principe:

- A: Poutre en bois
- B: Dalle collaborante en béton
- C: Connecteur TECNARIA (CTL BASE ou bien CTL MAXI) fixé à même la poutre, crampons ancrés et tire-fonds vissés dans la poutre.
- D : Barre (s) selon dimensionnement, \varnothing 8 à 16 mm, dans la zone du renformis.
- F: Armature transversale (treillis soudé)

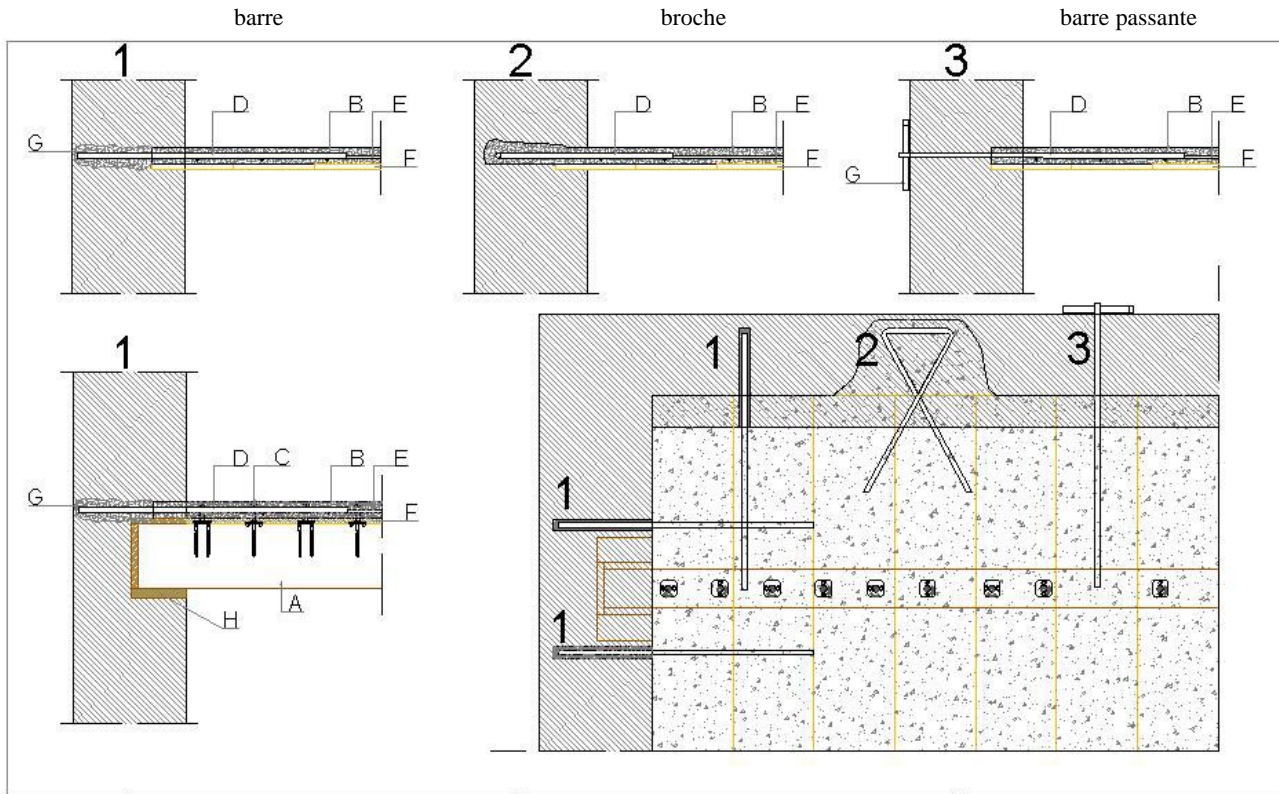
Sujétions éventuelles:

- E : Etrier ou armature ouverte.
- G: Fond de coffrage : platelage ou autre matériau
- H: Écran de protection, imperméable côté béton et transpirant côté bois.
- I: Joes de fond de coffrage latéral.
- L: Solivage en bois ou autre matériau, discontinu au droit des poutres.

Figure 5 : Exemples d'ancrage du plancher aux murs périphériques.

Barre – barre passante

Ces renforts contribuent à améliorer le comportement de l'édifice après qu'il ait reçu un accroissement sensible des charges verticales reprises par les murs dues au coulage de la dalle collaborante.



Composition de principe:

- A: Poutre en bois
- B: Dalle collaborante en béton
- C: Connecteur TECNARIA (CTL BASE ou bien CTL MAXI),
- D: Barre ancrées aux éléments de structure porteurs verticaux.

La résistance caractéristique au cisaillement pour les actions sismiques de chaque barre est calculée par la formule suivante:

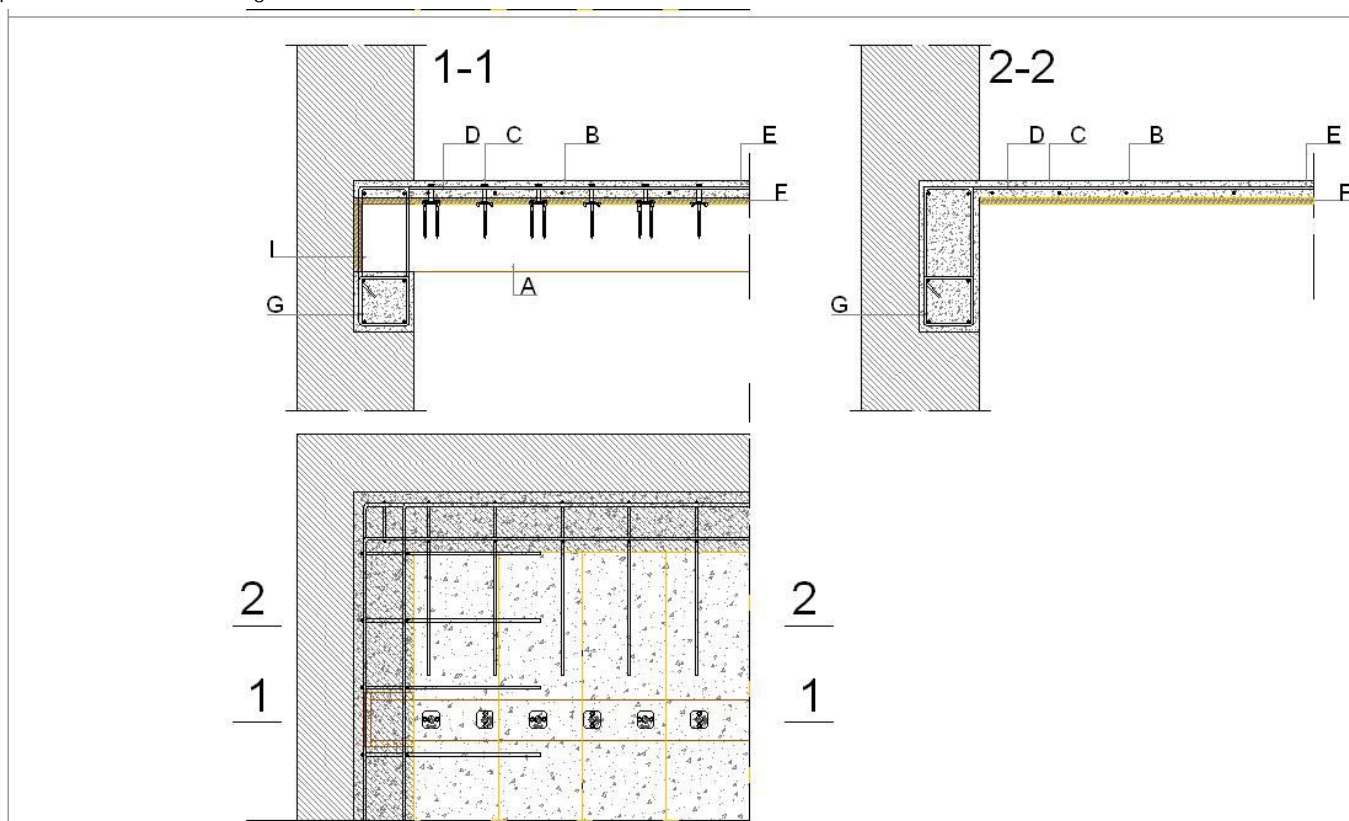
$$R_k = \frac{A_s f_{yk}}{\sqrt{3}}$$

La barre doit avoir un enrobage de (au moins) 2 cm et doit être ancrée dans la dalle par 52 fois le diamètre.

- E: Treillis soudé.
- F: Platelage protégé par écran de protection (ou fond de coffrage en tout type de matériau)
- G: cas de figure 1 : Colle fluide, expansive ou résine avec la barre
cas de figure 2 : barre pliée.
cas de figure 3. Clavette de retenue de la barre en inox (ou à traiter anti-rouille)
- H: Plaque d'appui en chêne ou métallique
- I: couches de protection en matériau isolant ou en liège, sur les trois faces latérales ainsi que sur le dessus de la poutre en bois.

Figure 6 : Exemples d'ancrage du plancher aux murs périphériques.
- Exemples de chaînages périphériques -

Ces ancrages contribuent à améliorer le comportement de l'édifice après qu'il ait reçu un accroissement sensible des charges verticales reprises par les murs dues au coulage de la dalle collaborante.



Composition de principe:

A: Poutre en bois

B: Dalle collaborante en béton

C: Connecteur TECNARIA (CTL BASE ou bien CTL MAXI),

D: armature de du chaînage périphérique prolongée dans la dalle collaborante;
 1 étrier Ø 8 mm tous les 20 cm dans les murs périphériques coïncidant avec le plancher.

E: Treillis soudé

F: Fond de coffrage : platelage ou autre matériau, revêtu de l'écran de protection.

G: Chaînage périphérique de béton continu au dessous de la poutre.

I: couches de protection en matériau isolant ou en liège, sur les trois faces latérales ainsi que sur le dessus de la poutre en bois.