



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS  
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »  
[www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr](http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr)

RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

**MISE EN ŒUVRE ET ISOLATION  
DES PLANCHERS MIXTES BOIS-  
BÉTON**

MARS 2015

RENOVATION



# ÉDITO

**L**e Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

**Alain MAUGARD**

Président du Comité de pilotage du Programme  
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »  
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

## « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

[www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr](http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr)

# AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



# Sommaire

<b>1 - Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>2 - Domaine d'application .....</b>	<b>8</b>
<b>3 - Références .....</b>	<b>10</b>
<b>4 - Glossaire .....</b>	<b>15</b>
<b>5 - Composition et fabrication .....</b>	<b>22</b>
5.1. • Éléments constitutifs.....	22
<b>6 - Principes de mise en œuvre .....</b>	<b>29</b>
6.1. • Mesures de sécurité sur chantier .....	29
6.2. • Principes généraux de mise en œuvre.....	34
<b>7 - Conception et dimensionnement .....</b>	<b>62</b>
7.1. • Stabilité en phase provisoire .....	62
7.2. • Stabilité en phase définitive .....	67
7.3. • Sécurité au feu .....	88
7.4. • Thermique.....	90
7.5. • Acoustique .....	104
7.6. • Séisme .....	110
7.7. • Finition et aspect .....	131
7.8. • Durabilité.....	131
<b>8 - Annexe – Exemple d'attestation de bon dimensionnement du plancher bois en support de dalle .....</b>	<b>134</b>



# Introduction

---

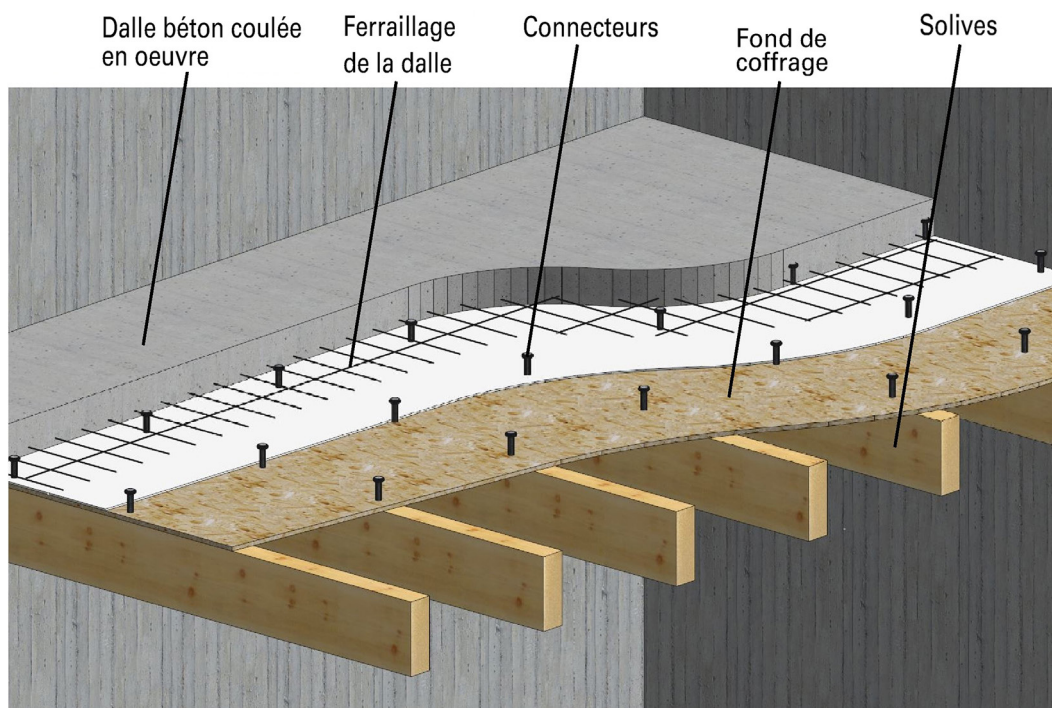
1



Les planchers mixtes connectés bois-béton sont composés de solives sur lesquelles sont fixés des connecteurs le plus souvent métalliques. Les géométries, types et modes de fixation de ces connecteurs aux éléments bois varient selon les procédés. Les planchers mixtes bois-béton peuvent être utilisés en relation avec tout type de supports verticaux selon le degré de connaissance et de maîtrise de chaque variante.

Une dalle béton est coulée en place sur la surface composée des éléments de structure en bois et éventuellement du platelage complémentaire. Les connecteurs sont ainsi pris dans l'épaisseur variable de cette dalle, ferrillée selon les besoins. L'ensemble constitue, après prise du béton, une section mixte dont les performances mécaniques sont mesurables.





▲ Figure 1 : Plancher mixte bois-béton sur solive

Une solution de plancher mixte bois-béton constitue une réponse pertinente pour remplir les différentes fonctions d'un tel composant d'ouvrage.

Les planchers mixtes sont souvent utilisés pour leur capacité à reprendre les charges. Ainsi, un plancher bois-béton permet d'utiliser en flexion gravitaire le bois en zone tendue et le béton en zone comprimée avec une optimisation mécanique et massique.

Un plancher bois-béton permet de disposer de poutres ou dalles massives offrant une bonne résistance au feu et un écran efficace avec la dalle béton pour freiner la propagation directe de l'incendie d'un étage à un autre. Une telle solution permet d'allier un matériau léger ayant de bonnes caractéristiques mécaniques en flexion-traction à un matériau plus lourd qui apporte, outre une rigidité en flexion, une masse propice à la loi de masse pour participer à l'isolation phonique d'étage à étage, mais également une inertie thermique particulièrement intéressante pour le confort d'été de bâtiment à ossature en bois.

La connexion mécanique du système de poutraison à une dalle en béton armé offre le choix pour la connexion du plancher aux murs en maçonnerie ou en béton armé : cette connexion peut se faire directement de la dalle béton armé aux murs au droit des chaînages, avec des liaisons continues et particulièrement résistantes et rigides ; mais elle peut également se réaliser par un ancrage des poutres dans les chaînages des murs. Cette dernière solution offre une possibilité intéressante de supprimer un pont thermique par interposition d'un isolant à la périphérie de la dalle. Elle est cependant peu recommandée pour une utilisation en zone sismique. Une connexion mécanique entre les poutres ou les dalles en bois et la dalle en béton armé permet

de gérer, et d'optimiser, la rigidité de cette connexion afin de limiter les effets indésirables de dilatation et de retrait différentiel d'origines physiques (température, humidité, prise ou durcissement, etc.).

Cette technique a également l'avantage de pouvoir se combiner à de nombreuses solutions standards d'isolation thermique et acoustique (plafonds suspendus, chapes isolées, contre-cloisons, etc.). Ainsi, par exemple, l'épaisseur réduite de la dalle béton permet de ménager des espaces supplémentaires afin de rapporter de l'isolant. Ceci constitue une solution intéressante pour l'amélioration thermique des planchers hauts et bas.

Bien qu'étant utilisés depuis une vingtaine d'années, les planchers mixtes bois-béton sont aujourd'hui considérés comme une technique non traditionnelle car aucun document ne décrit de façon unifiée comment les dimensionner. Aucun document indiquant leur principe de mise en œuvre n'est par ailleurs disponible.

La procédure volontaire d'Avis Technique, constitue donc la seule base technique disponible à ce jour. Il existe néanmoins une variété de types de planchers mixtes disponibles sur le marché et utilisés sans Avis Technique associé.

L'objectif du présent document est de constituer un premier référentiel technique de conception et de mise en œuvre des planchers mixtes bois-béton qui aille au-delà des éléments figurant dans les Avis Techniques.

Ces recommandations professionnelles présentent donc d'une part un état de l'art sur cette technique, et d'autre part des précisions sur des points pour lesquels les Avis Techniques n'apportent pas nécessairement de réponse :

- impact des dispositifs constructifs associés aux planchers mixtes bois-béton sur les performances thermiques ;
- possibilité de réduction des ponts thermiques en façade par utilisation de ces planchers et selon la typologie des murs (bois, béton, maçonnerie...) ;
- précisions sur les bonnes pratiques de mise en œuvre (stabilité en phase provisoire, étalement, conditions de sécurité sur chantier...).

# 2

## Domaine d'application



Ces recommandations professionnelles RAGE traitent des planchers mixtes bois béton mise en œuvre sur supports verticaux en béton, en maçonnerie, en ossature bois ou en construction métallique.

Les planchers mixtes concernés comprennent des solives en éléments de structures bois sur lesquels sont fixés des connecteurs assurant la liaison bois-béton. La raideur en cisaillement de la connexion entre le bois et le béton doit être connue ou pouvoir être calculée.

Le domaine d'application visé est celui des bâtiments d'habitations, de bureaux ou Etablissements recevant du public dans les conditions de la France Européenne, en zone de sismicité 1 à 4 inclus.

Les planchers visés sont dédiés exclusivement à la reprise de charge statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A,B,C1,C2,C3 et D1 au sens de la norme EN 1991-1.

Le présent document ne traite pas de l'utilisation sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue.

Le présent document traite de l'utilisation des planchers dans des locaux de faible ou moyenne hygrométrie à l'exclusion des locaux à forte et à très forte hygrométrie c'est-à-dire ceux pour lesquels  $W/n > 5 \text{ g/m}^3$ .

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

Ce document a pour objectif de définir des recommandations d'exécution, propres à tirer le meilleur parti technique de ces procédés en gardant à l'esprit la nécessaire compatibilité entre la performance énergétique du bâtiment, considérée comme la priorité majeure de ce document, et les autres exigences (acoustique, sismique, feu, mécanique...).



**Le présent document traite de l'utilisation des planchers mixtes en rénovation exclusivement.**

# 3

## Références

- NF EN ISO 10140-5, « Acoustique – Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction – Partie 5 : exigences relatives aux installations et appareillage d'essai », mars 2013
- NF EN 12354-1, « Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 1 : isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux », août 2000
- NF EN 12354-2, « Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 2 : isolement acoustique au bruit de choc entre des locaux », septembre 2000
- NF EN 12354-3, « Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 3 : isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur », juin 2000
- NF P 03-001, Marchés privés – Cahiers types – Cahier des clauses administratives générales applicable aux travaux de bâtiment faisant l'objet de marchés privés, décembre 2000
- NF EN 206-1. Béton – Partie 1 : spécification, performances, production et conformité, avril 2004
- NF EN 300 Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB) – Définitions, classification et exigences, octobre 2006
- NF EN 312 Panneaux de particules – Exigences, novembre 2010
- NF EN 338 Bois de structure – Classes de résistance, décembre 2009

- NF EN 636 Contreplaqué – Exigences, novembre 2012
- NF B52-001 Règles d'utilisation du bois dans la construction – Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus – Partie 1 : bois massif, août 2011
- NF EN 13670. Exécution des structures en béton, février 2013.
- NF EN 14279+A1. Lamibois (LVL) – Définitions, classification et spécifications, mai 2009
- NF EN 14374. Structures en bois – LVL (Lamibois) – Exigences, mars 2005
- NF EN 15497. Bois massif de structure à entures multiples – Exigences de performances et exigences minimales de fabrication, juin 2014
- NF B50-105-3 Durabilité du bois et des produits à base de bois – Bois massif traité avec produit de préservation – Partie 3 : performances de préservation des bois et attestation de traitement – Adaptation à la France métropolitaine et aux DOM, février 2008
- NF EN ISO 10211 Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles – Calculs détaillés, avril 2008
- NF EN 12871 Panneaux à base de bois – Détermination des caractéristiques de performance des panneaux travaillants utilisés en planchers, toitures et murs, août 2013
- NF EN 26891, Structures en bois – Assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation – Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation, août 1991
- EN 13501-1+A1, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu, février 2013
- EN 13501-2+A1, Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 2 : classement à partir des données d'essais de résistance au feu à l'exclusion des produits utilisés dans les systèmes de ventilation, mars 2013
- NF EN 14080 Structures en bois – Bois lamellé collé et bois massif reconstitué – Exigences, août 2013
- NF EN 14081-1 +A1: Structures en bois – Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance – Partie 1 : exigences générales, Avril 2011
- NF EN 1990 – Eurocodes structuraux – Base de calcul des structures, mars 2003
- NF EN 1990/NA – Eurocodes structuraux – Base de calcul des structures – Annexe nationale à la NF EN 1990 : 2003, décembre 2011







- NF EN 1990/A1 – Eurocode – Base de calcul des structures, juillet 2006
- NF EN 1990/A1 – Eurocode – Base de calcul des structures – Annexe nationale à la NF EN 1990/A1 : 2006 , décembre 2007
- NF EN 1991-1-1 – Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments, mars 2003
- NF EN 1994-1-1 – Eurocode 4 – Calcul des structures mixtes acier-béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments, juin 2005.
- NF EN 1991-1-6 –Eurocode 1 – *Actions sur les structures – Partie 1-6 : actions générales* – Actions en cours d'exécution, novembre 2005
- NF EN 1991-1-6/NA – Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-6 : actions générales – Actions en cours d'exécution – Annexe nationale de la NF EN 1991-1-6:2005 – Actions générales – Actions en cours d'exécution, mars 2009
- NF EN 1995-1-1 – Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments, novembre 2005
- NF EN 1995-1-2 – Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : généralités – Calcul des structures au feu, septembre 2005
- NF EN 1995-1-2/NA – Eurocode 5 – conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : généralités – Calcul des structures au feu – Annexe Nationale à la NF EN 1995-1-2:2005 – Généralités – Calcul des structures au feu, avril 2007
- NF EN 1998-1 – Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, septembre 2005
- NF EN ISO 717-1 – Acoustique – Evaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 : Isolement aux bruits aériens, mai 2013
- NF EN ISO 717-2 – Acoustique – Evaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : Protection contre le bruit de choc, mai 2013
- NF EN 12354-3 – Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performances des éléments – Partie 3 : Isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur, juin 2000
- Méthode de calcul Th-BCE, 2012
- Réglementation Thermique des Bâtiments Existants. Règles Th-U Ex – Fascicule 2 : Matériaux



- Réglementation Thermique des Bâtiments Existants. Règles Th-U Ex – Fascicule 5 : Ponts thermiques
- NF DTU 21 P1-1 / NF P 18-201 – Travaux de bâtiment – Exécution des ouvrages en béton– Partie 1 : cahier des clauses techniques types, mars 2004
- NF DTU 25.41 P1-1 / NF P 72-203-1-1 –Travaux de bâtiment – Ouvrages en plaques de plâtre – Plaques à faces cartonnées– Partie 1 : cahier des clauses techniques types, décembre 2012
- NF DTU 26.2 P1-1 / NF P 14-201-1-1 Travaux de bâtiment – Chapes et dalles à base de liants hydrauliques– Partie 1 : cahier des clauses techniques types, avril 2008
- NF DTU 41.2 P1-1 / NF P 14-201-1-1 –Travaux de bâtiment – Revêtements extérieurs en bois– Partie 1 : cahier des clauses techniques types, avril 2008
- NF DTU 51.11 P1-1 / NF P 63-204-1-1 –Parquets et revêtements de sols – Pose flottante des parquets contrecollés et revêtements de sol à placage bois – Partie 1 : cahier des clauses techniques types, décembre 2009
- NF DTU 51.3 P1-1 / NF P 63-203-1-1 – Planchers en bois ou en panneaux à base de bois –Partie 1 : cahier des clauses techniques types, novembre 2004
- NF DTU 52.1 P1-1 / NF P 61-202-1-1 Travaux de bâtiment – revêtements de sols scellés – Partie 1 : cahier des clauses techniques types (CCT), novembre 2010 –
- NF DTU 58.1 P1-1 / NF P 68-203-1-1 – Travaux de bâtiment – plafonds suspendus – Partie 1 : cahier des clauses techniques types (CCT), décembre 2008
- DTU 31-2 –Travaux de bâtiment – Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois, janvier 2011
- NF DTU 31.1 / NF P 21-203 – Travaux de bâtiment – Charpente et escaliers en bois – Partie 1 : cahier des clauses techniques et Partie 2 : cahier des clauses spéciales & Amendements 1 et 2, mai 1993 et août 2002
- NF DTU 41.2 / NF P 65-210 – Travaux de bâtiment – Revêtements extérieurs en bois – Partie 1 : cahier des clauses techniques – Partie 2 : cahier des clauses spéciales, mai 1995 + Amendement A1 de novembre 2001
- NF DTU 51.3 / NF P 63-203 –Travaux de bâtiment – Planchers en bois ou en panneaux à base de bois – Partie 1-1 : cahier des clauses techniques – Partie 1-2 : Critères Généraux de choix des Matériaux (CGM) – Partie 2 : cahier des clauses administratives spéciales, – novembre 2004



- Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique
- Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français
- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » + Arrêté du 25 octobre 2012 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

## 4

## Glossaire

---

**Acrotère**

Muret en béton ou en maçonnerie couronnant généralement une terrasse et destiné à recevoir les relevés d'étanchéité et éventuellement à masquer les éléments en saillie sur une toiture à faible pente.

**Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEx)**

L'ATEx est une procédure d'évaluation technique formulée par un groupe d'experts sur tout produit, procédé ou équipement ne faisant pas l'objet d'un Avis technique, afin de faciliter la prise en compte de l'innovation dans la construction.

**Armature métallique**

Pièce métallique mises en place lors du coulage du béton afin de renforcer les caractéristiques mécaniques de la dalle.

**Au droit de**

Expression signifiant « à l'aplomb de ».

**Avis Technique (AT / ATEC)**

Document produit par le CSTB et élaboré par un comité d'experts pour évaluer la performance et l'aptitude à l'emploi d'un produit, d'un matériau ou d'une technique sur lesquels on manque d'expérience.

**Bande de rive**

Bande posée au long du relief de la rive d'une couverture.

**Béton autoplaçant**

Béton très fluide, mis en place par gravité, sans nécessiter de vibration.

## Calepinage

Croquis ou plan de détail côté très précisément en vue de la préparation des commandes de matériaux et de leur mise en œuvre. On appelle calepinage une nomenclature des détails en plan, élévation et coupe, représentés à grande échelle, d'un ensemble décomposé en ses éléments simples. Se fait notamment pour les façades en pierres taillées, en marbre plaqué, pour éléments de toiture, de charpente ou de carrelage.

## CECMI

Comité d'Etudes et de Classification des Matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'Incendie (CECMI). Ce comité, animé par le ministère de l'Intérieur, a notamment pour objet de proposer une réglementation des méthodes et appareils d'essai, une classification des différents matériaux en usage dans la construction en fonction de leur comportement en présence d'un incendie.

## Chaînage

Ceinturage métallique ou en béton armé, incorporé à la construction de l'ensemble des murs d'un bâtiment pour éviter l'écartement.

## Chaînage par passes

Un chaînage est une partie rigidifiant horizontalement ou verticalement un mur en appareil de maçonnerie ou de blocs en béton.

## Chape flottante

Une chape est dite « flottante » lorsque posée au-dessus d'un isolant assurant l'isolation phonique.

## Chargement sinusoïdal

Charge appliquée sur un élément dont la valeur varie de manière sinusoïdale au long de la portée.

## Coffrage perdu

Coffrage demeurant en place dans l'ouvrage définitif.

## Conductivité thermique

Coefficient, noté  $\lambda$ , caractérisant la transmission de chaleur d'un matériau en fonction de son épaisseur (en W/m.K).

## Confort d'été

Maintien d'une température intérieure conventionnelle atteinte en été inférieure à la température de référence. Le confort d'été est fonction de paramètres sur lesquels il est possible d'agir pour réduire l'inconfort due à une chaleur excessive, sans avoir forcément recours à la climatisation.

## Connecteurs

Organe de liaison placé entre une poutre bois et une dalle de béton pour solidariser les deux matériaux dans une résistance commune aux charges qui leur sont appliquées.

## Dalle de compression

Dalle armée de treillis soudés coulée sur des éléments poutrelles et hourdis constituant l'ossature fermée ou les nervures du plancher.

## Décoffrage

Retrait des joues de coffrage après séchage du béton.

## Dessiccation

Extraction complète de l'eau d'une substance.

## Documents Particuliers du Marché (DPM)

Ils fixent les dispositions techniques nécessaires à l'exécution des prestations et les dispositions administratives du marché.

## Document Techniques Unifiés (DTU)

Documents réunissant l'ensemble des règles de mise en œuvre et des règles de calcul pour les travaux du bâtiment. Chaque DTU est dédié à une technique ou a procédé de construction donné.

## Effet de dilatation-retrait différentiel

Dilatations et retraits du béton dus aux variations de température, lorsque ces mouvement présentent des différences d'un point à l'autre de l'élément on dit qu'ils sont différentiels.

## Efforts de cisaillement

Contrainte agissant tangentiellement à un plan donné.

## Entraxe (entre connecteurs)

Distance comprise entre l'axe d'un connecteur et l'axe du suivant en longueur comme en largeur.

## Étai

Pièce de forme allongée destinée à reporter une charge sur un point d'appui. Il permet de soutenir un élément de maison (mur, ...). Un étau peut être vertical, oblique ou horizontal. Suivant le rôle qu'il remplit ou sa position, il prend le nom de : chandelle, contrefiche, étréssillon, étauçon, etc.

## Étalement

Ensemble de pièces de charpente assemblées, destinées à soutenir, provisoirement, diverses parties d'une construction menaçant ruine.



## États limites de service (ELS)

État correspondant à des conditions au-delà desquelles les exigences d'aptitude au service spécifiées pour une structure ou un élément structural ne sont plus satisfaites.

## États limites ultime (ELU)

États associés à un effondrement ou à d'autres formes similaires de défaillance structurale. Cette notion correspond généralement à la capacité portante maximale d'une structure ou d'un élément structural.

## Étrier de couture

Ferraillage vertical assurant la liaison entre le connecteur de la solive et le ferraillage de la dalle béton.

## Ferraillage

Action d'insérer les connecteurs et armatures métalliques.

## Finitions

Ensemble des ouvrages complétant une construction pour sa fermeture, sa distribution, ses revêtements.

## Flèches résiduelles

Flexion d'une poutre persistante même après enlèvement de la charge.

## Flexion gravitaire

Effort de flexion engendré par l'action de la gravité sur les éléments.

## Fluage

Déformation plastique d'un matériau sous l'action d'un effort s'exerçant de façon prolongée, continue ou intermittente à température élevée.

## Fonction de diaphragme

Propriété de rigidité d'un plancher dans son plan permettant la transmission des efforts horizontaux vers les murs et autres éléments de contreventement.

## Fonction tirant buton

Jonction mécanique entre les planchers et les murs permettant la transmission des efforts dans toutes les directions horizontales.

## Gauchissement

Torsion d'une planche ou d'un panneau par l'effet de contraintes internes.

## Isostatique

État d'un système constructif reposant sur le nombre minimum d'appuis nécessaires pour assurer la stabilité de la structure considérée.

## Joint

Espace entre deux surfaces serrées l'une sur l'autre ou matériau utilisé pour remplir cet espace afin d'assurer l'étanchéité à l'air et / ou à l'eau.

## Laitance

Suspension fluide constituée d'eau, de ciment et de fines. Elle apparaît par remontée à la surface du béton lors de la vibration. Après prise et durcissement, elle constitue une couche de faible résistance.

## Lamibois

Matériau composé de placages en bois collé et dont les fibres du bois sont majoritairement orientées dans la même direction.

## Longrine

Poutre en béton armé entretoisant les massifs de fondations dans l'infrastructure d'une construction.

## Loi « MOP »

Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée[1] est la loi française qui met en place, pour les marchés publics, la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.

## Moment fléchissant

Moment des forces mises en jeu lorsqu'une pièce est soumise à une contrainte de flexion. Il s'exprime par le produit de chacune des forces par leur distance respective à un point donné.

## Muraillière (muraillère)

Une muraillière ou un lindier est une poutre parallèle collée ou fixée au mur via des tirefonds ou un dispositif équivalent et servant le plus souvent d'appui au plancher.

## Mur de refend

Mur porteur situé à l'intérieur du bâtiment et reliant deux façades, il peut supporter une partie des charges pour réduire les portées des poutres ou solives, adosser les conduits de fumée, et éventuellement servir de contreventement.

## Normes

Ensemble de règles ou de codes prescrivant ou définissant les performances des produits (classification, dimensions, caractéristiques, méthodes d'essai, règles d'utilisation).



## **Pans de contreventement**

Ce sont des parties verticales de la construction généralement planes, parfois raidies ou renforcées par des retours formant ailes, régnant sur toute la hauteur des bâtiments et dont la fonction principale est la transmission aux fondations des efforts horizontaux. Selon la direction des efforts auxquels ils ont à résister, ils sont appelés pans de contreventement longitudinaux ou transversaux.

## **Phase provisoire**

Phase de la construction correspondant au gros œuvre.

## **Plénum**

Espace entre un plafond suspendu et la toiture ou le plancher sous laquelle il est établi.

## **Pont thermique**

Élément conducteur de la chaleur reliant accidentellement deux parties d'une construction destinées à être isolées l'une de l'autre. Les ponts thermiques nuisent à une bonne isolation des constructions.

## **Sabot**

Connecteur tri-dimensionnel permettant la fixation d'une solive bois sur un support bois, métal ou béton.

## **Solive**

Pièce de charpente en bois ou en métal qui s'appuie sur les poutres ou sur les murs porteurs d'un bâtiment et qui sert à en soutenir le plancher, le plafond ou le toit.

## **Tire-fond**

Vis à bois à tête carrée ou hexagonale que l'on visse à l'aide d'une clé.

## **Tolérances**

Écarts maximums tolérés entre les prescriptions données et la mise en œuvre.

## **Travée**

Espace compris entre deux points d'appui ou deux éléments porteurs d'un bâtiment, d'un pont, d'une voûte, etc.

## **Treillis**

Métal déployé ou fil métallique tissé employé comme armature du béton.

## **Treillis raidisseur**

Structure métallique bi ou tri-dimensionnelle comprenant une membrure supérieure, une ou plusieurs membrures inférieures et des



diagonales continues ou discontinues qui sont soudées ou assemblées mécaniquement aux membrures.

### **Trémie**

Espace vide traversant au moins un étage et réservé, dans un plancher, pour l'installation d'équipements mécaniques, électriques, sanitaires et autres. Elle permet l'installation des ascenseurs, escaliers, descentes de linge, conduits de ventilation, âtres de cheminées, etc.

### **Vibrage du béton à l'aiguille**

Des aiguilles vibrantes à haute fréquences sont utilisées pour vibrer le béton dans le but de supprimer les poches d'air créées lors du coulage.

# 5

## Composition et fabrication



### 5.1. • Éléments constitutifs

#### 5.1.1. • Description des éléments constitutifs

##### 5.1.1.1. • Éléments de structure bois

Les ouvrages de structure porteuse en bois doivent être exécutés conformément au NF DTU 31.1 à l'exception des tolérances du support et des pièces de pièces initialement présente dans l'ouvrage à renover. Il conviendra ainsi, avant toute exécution, de s'assurer de la conformité des composants et matériaux aux hypothèses de l'étude, notamment :

- classe mécanique ;
- dimensions ;
- durabilité ;
- hygrométrie.

#### Classe mécanique

Pour un usage structural, sont admis :

- les bois massifs doivent être classés selon la norme EN 14081 et avoir un niveau de résistance minimal C18 ou D18 selon la norme NF EN 338, correspondant à une classe visuelle STIII selon la norme B 52-001 ;
- les bois massifs reconstitués (BMR) d'un niveau de résistance minimal GT18 selon la norme NF EN 14080 ;
- les bois lamellés-collés d'un niveau de résistance minimal GL24 selon la norme NF EN 14080 ;

- les bois de structure comportant des aboutages à entures multiples conformes à la norme NF EN 15497 ;
- les éléments de structure en lamibois (LVL) conformes à la norme NF EN 14374.

## Dimensions

Les dimensions des sections de bois après taille doivent respecter les tolérances dimensionnelles définies dans la norme NF DTU 31.1.

## Durabilité

Si la durabilité du bois est conférée par un traitement de préservation, l'attestation de traitement établie conformément à la norme NF B 50-105-3, permet de s'assurer que le bois assure la protection requise en fonction de l'exposition du bois en service et de la classe d'emploi qui en résulte.

Dans le cas de conception basée sur la durabilité naturelle du bois, la part aubieuse admissible d'une pièce de bois, doit être conforme aux limites admises dans la norme NF DTU 31.1.

## Hygrométrie

Afin de garantir la stabilité et la bonne mise en œuvre de l'ouvrage, il est recommandé de limiter l'humidité des bois au moment de leur usinage de manière à éviter les défauts et contraintes pouvant apparaître sur chantier (gauchissement, déstabilisation des appuis, déversement, etc.).

L'humidité des pièces de bois ne doit pas s'écarter de plus de 5 % de l'humidité d'équilibre en service de l'ouvrage.

### 5.1.1.2. • Coffrage

La dalle béton est coulée sur un coffrage destiné à maintenir le béton en phase provisoire, jusqu'à son durcissement. Le coffrage n'a pas de rôle porteur en phase définitive et peut être perdu ou réutilisé. Le choix du type de coffrage dépend notamment de l'esthétique recherchée en sous-face.

Les panneaux utilisés doivent être des panneaux destinés à la construction au sens de la norme NF EN 13986. En tant qu'élément de coffrage, le platelage peut se trouver au contact du béton. On préférera des produits dont la résistance à l'humidité a été attestée d'une part de façon à s'assurer que le platelage présente des propriétés mécaniques constantes et suffisantes avant durcissement de la dalle, d'autre part afin de ne pas absorber la laitance du béton qui pourrait conduire à une perte de propriété de celui-ci.

Les panneaux le plus couramment utilisés pour le coffrage sont :

- OSB/3 et OSB/4 selon la norme NF EN 300 ;



- contreplaqué à usage structurel (marquage S) selon la norme NF EN 636 ;
- panneaux de particules P5 selon la norme NF EN 312 ;
- lamibois LVL/2 ou LVL/3 selon la norme NF EN 14279 ;
- platelage en bois massif conforme au DTU 51.3.

Les panneaux de platelage utilisés ne sont pas nécessairement en bois, il peut également s'agir de :

- tôles en acier nervurées ;
- dalles en béton préfabriquées.

En règle générale, tout panneau couvert par une norme produit adaptée à une utilisation en structure peut être utilisé en tant que platelage.

Les caractéristiques en flexion du panneau doivent être utilisées dans la justification de celui-ci vis-à-vis des efforts de coulage du béton, mais également des charges associées à cette activité (poids des opérateurs notamment).

Ces éléments doivent donc être :

- suffisamment résistants pour permettre les travaux de bétonnage réalisés conformément au DTU 21. Le panneau doit présenter une rigidité suffisante pour résister sans tassement ni déformation aux différentes actions auxquelles il peut être soumis pendant l'exécution des travaux et à leur charges associées (selon NF EN 1991-1-6) ;
- suffisamment étanches pour empêcher les fuites de laitance lors du coulage. Leur mise en œuvre peut nécessiter des compléments afin de garantir l'étanchéité lors du coulage. Dans le cas de l'utilisation d'une bande d'étanchéité posée à plat sur le solivage, on s'assurera de disposer d'une planéité suffisante du support comme du coffrage permettant d'assurer une compression uniforme de cette bande.

Les tolérances de dimensions des panneaux doivent impérativement être respectées afin de pouvoir assurer les largeurs minimales d'appui sur solives.

En cas de fixation mécanique sur solives des panneaux à base de bois, les dimensions des panneaux doivent permettre de respecter également les conditions de pinces pour les fixations afin de garantir la bonne tenue des platelages en phase provisoire, notamment lors de la circulation des opérateurs.

### 5.1.1.3. • Connecteurs

#### Présentation

La géométrie des connecteurs est conçue de façon à reprendre les efforts de cisaillement longitudinaux dans la section.

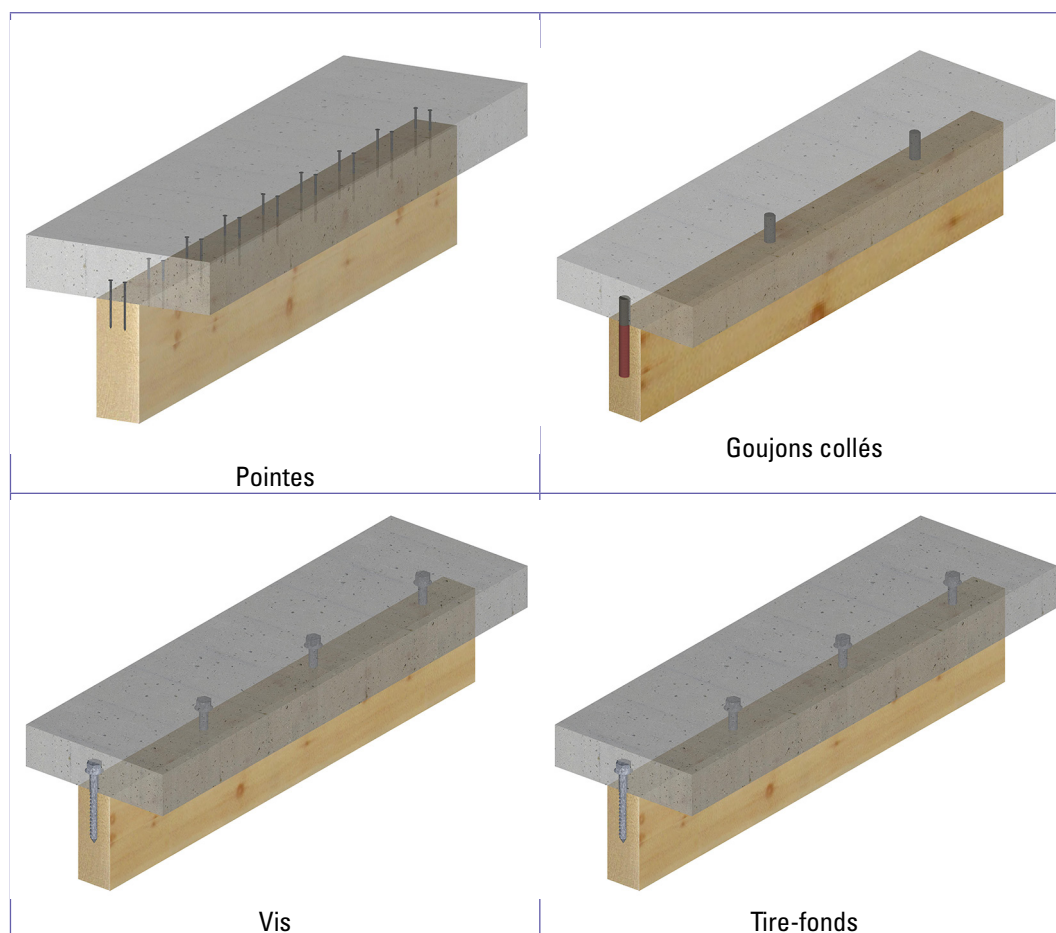
Les connecteurs sont en général métalliques. Leur rôle est d'assurer la liaison entre la dalle en béton et les solives en bois. Sans entrer dans des considérations de forme propre à chaque connecteur du marché, ils sont en général composés :

- d'une partie permettant leur fixation dans les solives bois. La partie est à visser, à clouer, à coller ou simplement à insérer dans un perçage ajusté à la forme du connecteur ;
- d'une partie noyée dans le béton qui peut prendre des formes diverses: goujon, tête de vis, tôle, cylindre.

### Principaux types de liaison

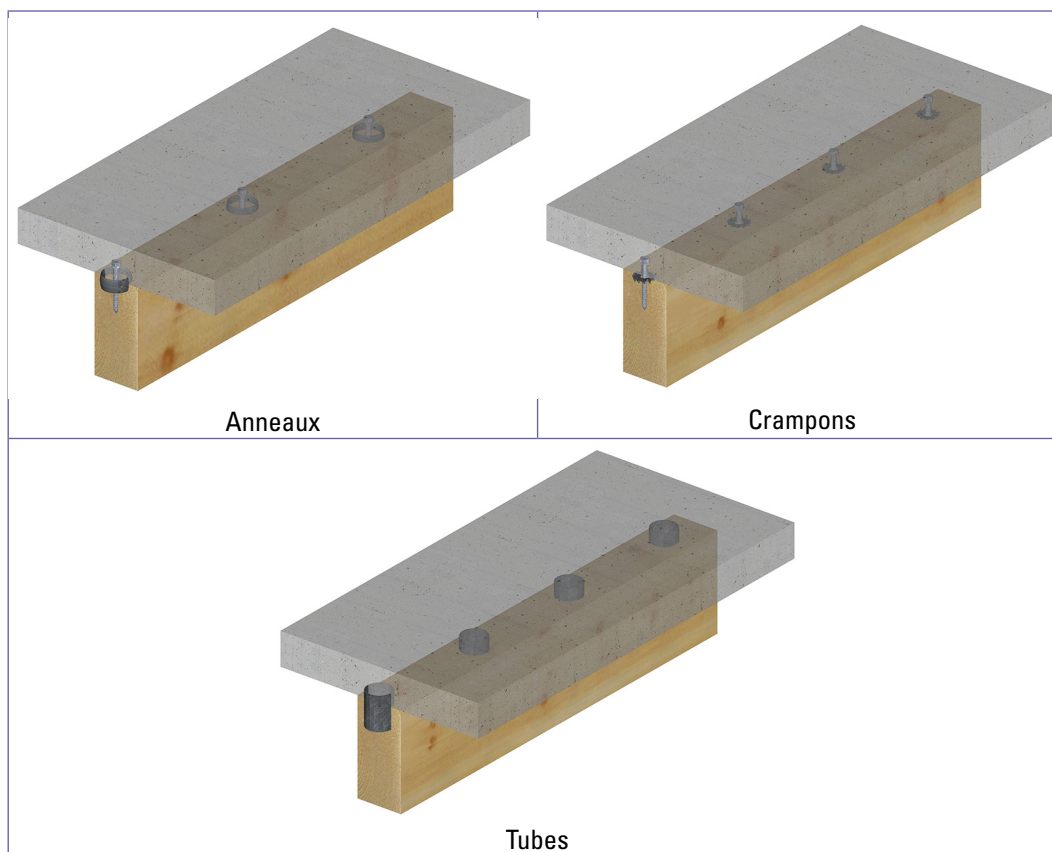
Les principaux types de liaison utilisés sont présentés ci-dessous :

- Organes métalliques de type tige



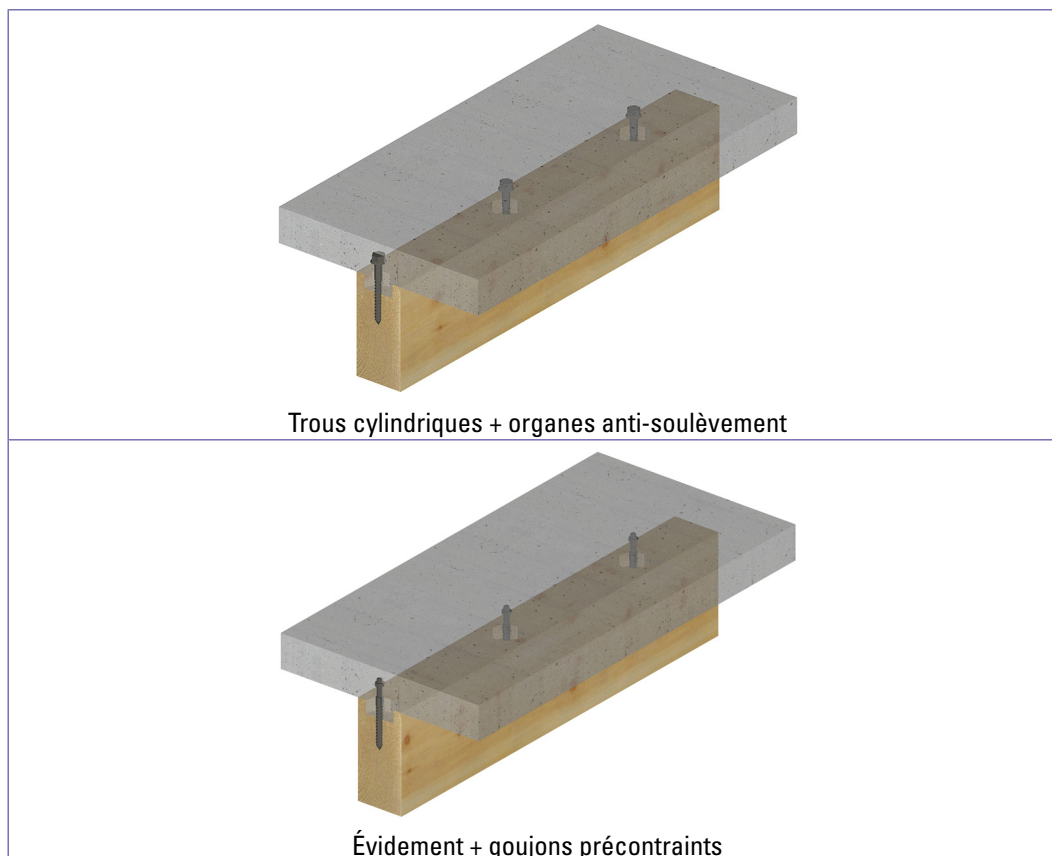
▲ Figure 2 : Organes métalliques de type tige

- Connecteurs surfaciques



▲ Figure 3 : Connecteurs surfaciques

- Liaisons par verrouillage de forme



▲ Figure 4 : Liaisons par verrouillage de forme

- Liaisons continues par connecteurs filants (type d)



▲ Figure 5 : Liaisons continues par connecteurs filants (type d)

Lorsqu'elles ne relèvent pas strictement des calculs décrits dans la norme EN 1995-1-1, les propriétés de résistance et de rigidité des liaisons doivent être déterminées par essais suivant la norme NF EN 26891 « Structures en bois – Assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation – Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation ».

#### 5.1.1.4. • Film d'interposition

La couche d'interposition est destinée à éviter les transferts d'eau entre la dalle béton et les ouvrages en bois (perte de laitance).

Elle est généralement constituée par un film polyéthylène ou polyane de 200 µm d'épaisseur minimale.

Le recouvrement entre les feuilles sera d'au moins 15 cm, et une bande collante d'au moins 5 cm de largeur devra être appliquée le long des joints de recouvrement afin d'assurer l'étanchéité.

Sur la périphérie, le film sera relevé de manière à dépasser d'au moins 10 cm au-dessus du niveau fini de la chape ou de la dalle.

#### 5.1.1.5. • Armatures

Les armatures utilisées pour ferrailer la dalle béton doivent être conformes aux exigences décrites dans la norme NF EN 1992-1 et son annexe C définissant notamment :

- la classe des armatures (A, B ou C) ;
- les critères minimaux en termes de limite d'élasticité, de résistance au cisaillement, et de valeur caractéristique de déformation ;
- l'aptitude au pliage.

En outre, les planchers en zone sismique comportent des armatures devant satisfaire les exigences de la norme NF EN 1998-1, § 5.3.2, § 5.4.1 et § 5.5.1.1.





### 5.1.1.6. • Béton

Le béton employé doit être conforme à la norme NF EN 206-1 et avoir une classe de résistance identifiée afin de permettre son dimensionnement selon les principes de calcul énoncés plus loin (cf. 7.).

La composition et la classe de consistance (selon NF EN 206-1) du béton doivent être choisies de façon à garantir le bon enrobage des connecteurs. Des tailles maximales de granulats peuvent également être préconisées pour les mêmes raisons. L'obtention d'un enrobage suffisant nécessite en générale le vibrage du béton à la règle vibrante.

Les conditions de bétonnage peuvent également varier selon les types de connexion.

Pour toutes les informations concernant la composition du béton, il est nécessaire de se rapprocher du fabricant du système de connexion qui est seul à pouvoir déterminer les conditions optimales et particulières de bonne utilisation de son procédé.

L'épaisseur de la dalle béton doit respecter les conditions suivantes :

- permettre un enrobage suffisant des armatures de la dalle et des connecteurs ;
- être de 5 cm au minimum lorsque le plancher assure le rôle de diaphragme dans l'ouvrage (selon NF EN 1992-1) ;
- être de 7 cm au minimum lorsque le plancher assure le rôle de diaphragme en zone sismique (selon NF EN 1998-1). Dans ce cas, la dalle est liaisonnée aux éléments de contreventement verticaux, et doit comporter les armatures complémentaires éventuelles (chaînages) pour assurer ce rôle (cf. 7.6).

Le dimensionnement de la dalle en béton armé (épaisseur, armatures) dépend de l'entraxe retenu pour les poutres en bois, des charges à supporter (dimensionnement de la section mixte et flexion transversale) et des exigences réglementaires en matière de résistance au feu et d'isolement phonique.

Sans spécifications particulières, il est conseillé d'utiliser un béton de classe S4 au sens de la norme EN 206-1. L'utilisation de béton autoplaçant est en revanche peu recommandée du fait des difficultés à réaliser une étanchéité suffisante de la surface du platelage.



## 6

## Principes de mise en œuvre



### 6.1. • Mesures de sécurité sur chantier

Ce chapitre évoque uniquement les mesures de sécurité propres à la technique des planchers mixtes bois-béton. Les mesures de sécurité usuelles relatives au bétonnage et aux travaux de charpente ne sont pas rappelées ici, mais sont bien entendu à prendre en compte.

En dehors des particularités liées aux planchers mixtes, la conception des étalements et des coffrages doit être réalisée conformément à la norme NF EN 13670 et au DTU 21.

#### 6.1.1. • Conception de l'étalement sur un niveau existant

La nécessité d'étayer ou non les solives en phase provisoire doit être impérativement précisée par le bureau d'études.

Dans le cas où l'étalement est nécessaire, chaque étau est justifié pour une charge de phase provisoire ponctuelle supposée appliquée successivement au droit de chaque étau.

En tête, les étais sont bloqués sous la solive par un système empêchant tout glissement : tête de fourche + coins entrés en force ou clouage, par exemple.

En pied, les étais doivent reposer sur une structure capable de reprendre la charge appliquée. Dans le cas courant où le plancher situé en pied d'étalement est également un plancher mixte bois-béton, il est peu probable que la table de compression puisse équilibrer la charge ponctuelle en pied d'étau. A moins que les solives ne soient strictement alignées l'une en dessous de l'autre, il convient alors de mettre en œuvre des profils de répartition ramenant la charge en pied d'étau vers des cales au droit des solives préalablement repérées.

Les solives du plancher bas doivent également être justifiées sous la réaction en pied d'étais

Par ailleurs, le démontage des étais après que le béton a atteint une résistance suffisante (à préciser par le bureau d'études) doit se faire en commençant par les niveaux les plus hauts, du haut vers le bas, afin d'éviter de reporter sur un niveau bas la charge des niveaux supérieurs.

Lorsque les étais sont posés sur un niveau existant, il est impératif de vérifier la capacité de ce dernier à reprendre la charge appliquée. Cette vérification nécessite un relevé et un diagnostic de l'existant.

Bien que chaque cas soit particulier, on peut cependant regrouper les nombreuses configurations possibles, en quatre cas types listés ci-dessous, de la plus simple à la plus complexe. Il faut garder à l'esprit qu'un plancher existant de bâtiment courant n'a jamais été conçu pour reprendre des charges ponctuelles sensibles, de sorte que la vérification d'un existant sous charge d'étalement est une étude à part entière, qui nécessite notamment les données d'entrée suivantes :

- charges ponctuelles appliquées par l'étalement ;
- charges surfaciques éventuellement appliquées simultanément (charge de chantier, de circulation...) ;
- relevé de l'existant : géométrie, état, nature, masse, résistance et rigidité des constituants .

#### 6.1.1.1. • Cas 1 : Le niveau inférieur n'est capable en aucun point de reprendre la charge d'étalement

Il convient alors d'étayer « en cascade » jusqu'à un niveau capable de reprendre la charge d'étalement, éventuellement sur toutes les hauteurs d'étage jusqu'au sol. Dans ce dernier cas, on doit également vérifier la capacité de ce dernier à reprendre la charge appliquée, ce qui nécessite souvent de diffuser la charge sur une surface suffisante, par exemple à l'aide de semelles de répartition.

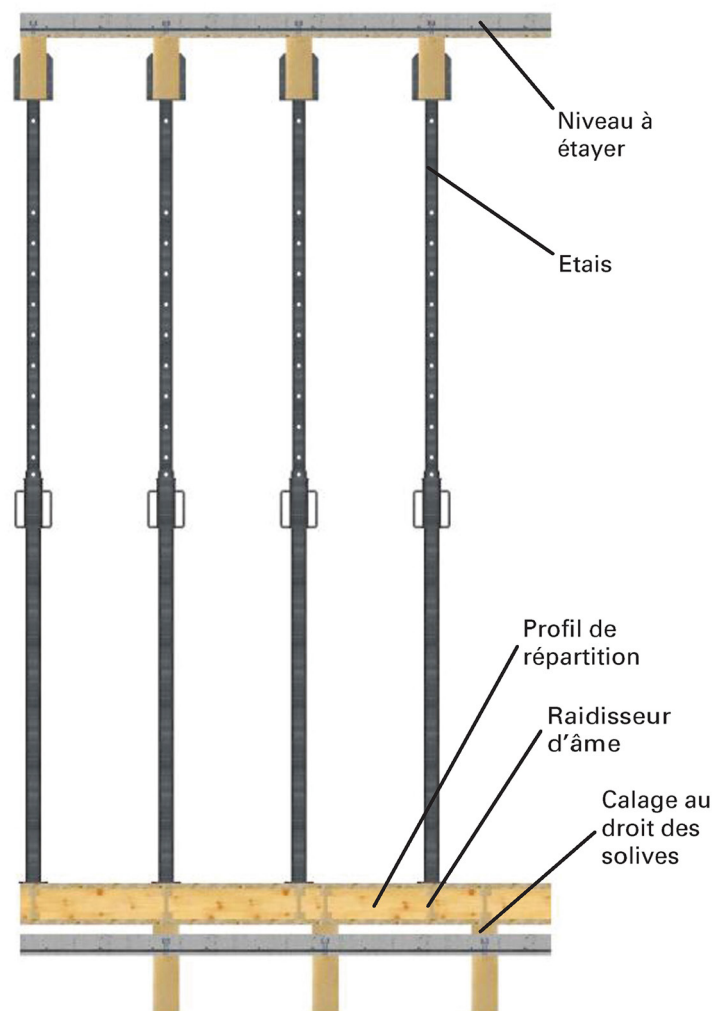
#### 6.1.1.2. • Cas 2 : Le niveau inférieur peut reprendre la charge des étais en tous points

Ce cas se rencontre en pratique dans le cas de dallage au sol, de voûte maçonnée de forte épaisseur ou de dalle béton. On peut alors disposer les étais aux points nécessaires. Il convient éventuellement de prévoir en pied d'étais des profils ou semelles de répartition pour éviter le poinçonnement du support.

#### 6.1.1.3. • Cas 3 : Le niveau inférieur peut reprendre la charge des étais au droit de solives uniquement

Ce cas se rencontre couramment en pratique dans les planchers bois traditionnels, où les solives sont capables de reprendre des charges

ponctuelles sensibles, mais non le platelage entre solives. On doit alors disposer un profil de répartition destiné à ramener les charges depuis les pieds d'étais vers des cales au droit des solives préalablement repérées :

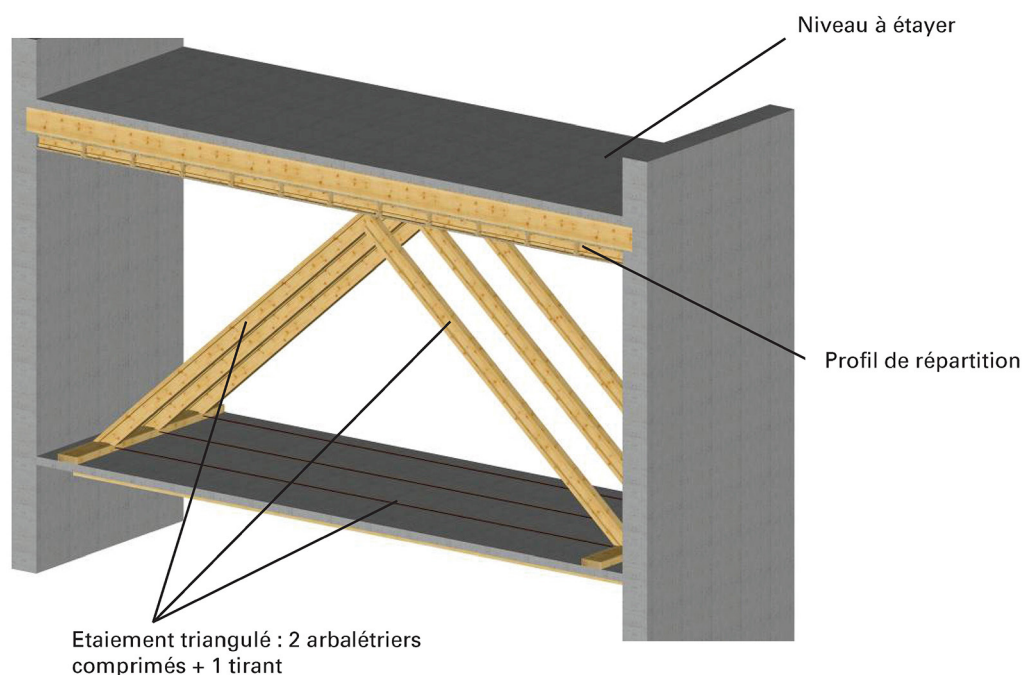


▲ Figure 6 : Dispositifs de répartition des efforts en pied d'étais

Si le profil de répartition est un profil en H ou en I du commerce, il convient de le munir de raidisseurs d'âme au droit de chaque cale et de chaque étau.

#### 6.1.1.4. • Cas 4 : Les solives du niveau inférieur peuvent reprendre l'effort tranchant mais non la flexion

Il arrive couramment que les solives puissent reprendre la charge ponctuelle de l'étalement en cisaillement mais non en flexion. Dans ce cas, on peut utiliser un système d'étalement triangulé, similaire à une ferme, renvoyant les efforts aux appuis de solives.

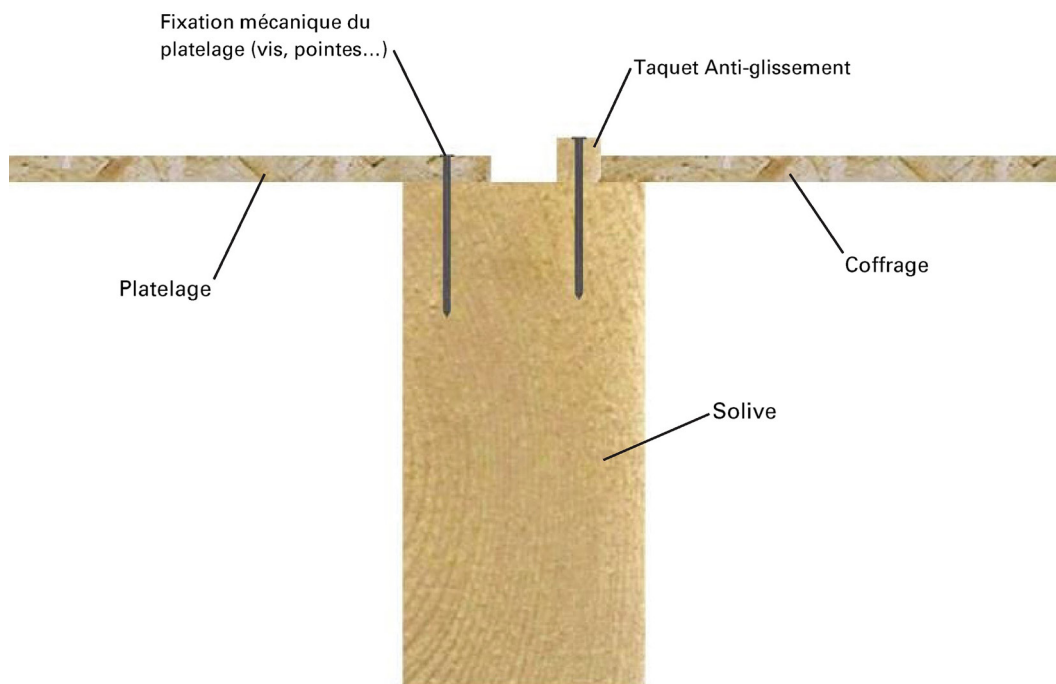


▲ Figure 7 : Dispositifs de répartition des efforts en tête d'étais et étaieement triangulé.

Dans ce cas, la justification de la capacité de la solive à transmettre la charge doit non seulement comprendre la vérification de la solive au cisaillement (y compris le cas échéant l'effet d'entaille), mais aussi la vérification de la contrainte à l'appui sur la maçonnerie. Ce dernier point nécessite de connaître la longueur d'appui de la solive dans la maçonnerie, ainsi que la nature de cette dernière.

### 6.1.2. • Exemple de conception et pose des coffrages

Si l'on utilise un coffrage perdu, l'appui des panneaux de coffrage sur les poutres doit se faire sur trois appuis au moins conformément au DTU 51.3. Le recouvrement sur les appuis doit être de 18 mm au minimum, 20 mm étant conseillé. Les panneaux de coffrage sont fixés sur les solives, par clouage, vissage, agrafage ou collage, afin de prévenir leur glissement. L'espacement maximal des organes de fixations des panneaux est de 150 mm sur les appuis et de 300 mm en partie courante et à une distance minimale de 8 mm des rives, 10 mm étant recommandé. De façon générale les conditions de pinces à respecter pour les organes d'assemblages sont celles définies dans la norme EN 1995-1-1.



▲ Figure 8 : Dispositifs de maintien des platelages sur solives

Les coffrages récupérables doivent être bloqués entre solives pour éviter tout glissement et posés sur étais ou système provisoire fixé aux solives. Le dimensionnement des panneaux de coffrage doit être réalisé en tenant compte des charges de chantier tel que décrit plus loin (cf. 7.1.2). La flèche des panneaux de coffrage doit être la plus réduite possible.

Deux techniques peuvent être utilisées pour poser les coffrages en sécurité :

- pose des coffrages à partir d'un échafaudage roulant muni de garde-corps. L'échafaudage circule sur le plancher du niveau inférieur. Le plancher de travail est calé de telle sorte que la lisse supérieure du garde-corps soit située immédiatement sous le coffrage. On évite ainsi tout risque de chute, mais il faut pouvoir transférer l'échafaudage d'une trame à l'autre en passant sous les solives ;
- après pose de la première trame à partir d'un échafaudage, pose des trames suivantes à l'avancement à partir des trames déjà posées. En l'absence de garde-corps (qui empêcheraient la pose des coffrages), cette technique nécessite que les ouvriers soient munis de ligne de vie et de stop-chute. Elle présente le risque de maintenir des zones dangereuses non munies de protection collective.

La première technique par échafaudage roulant doit donc être systématiquement privilégiée. La technique par avancement et stop-chute doit être réservée aux cas où il n'est pas possible de mettre en œuvre un échafaudage.

Un plancher existant peut être laissé en place et utilisé en tant que coffrage perdu. Il convient dans ce cas de vérifier au préalable l'état de conservation de ce plancher, de remplacer le cas échéant les éléments défectueux et de vérifier par le calcul la capacité de ce plancher à reprendre le poids du béton frais et la surcharge de bétonnage, comme pour un coffrage neuf.

Les travaux de mise en œuvre des ferraillages ne présentent pas de spécificité. Il convient de protéger les attentes verticales par des « bouchons » ou par un acier filant soudé, et de tenir sécurisé le chantier vis-à-vis des chutes.

Les travaux de bétonnage ne présentent pas de spécificité. Il convient impérativement d'éviter l'accumulation de béton. Celui-ci doit être immédiatement étalé pour éviter les surcharges localisées sur le coffrage.

## 6.2. • Principes généraux de mise en œuvre

### 6.2.1. • Diagnostic et faisabilité

Lors de la réutilisation d'un plancher bois existant, de nouvelles charges sont appliquées sur le plancher. L'ajout de nouvelles sollicitations, associé à la modification potentielle et locale du support (équarrissage des parties de solives détériorées, modification des conditions d'appuis...), est de nature à réduire la capacité portante du plancher bois.

Le diagnostic de l'existant peut préconiser des travaux locaux ou globaux de réfection. Ces travaux, par leur nature et leur ampleur, peuvent orienter la conception de plancher et le choix entre une technique de chape rapportée et un plancher mixte connecté.

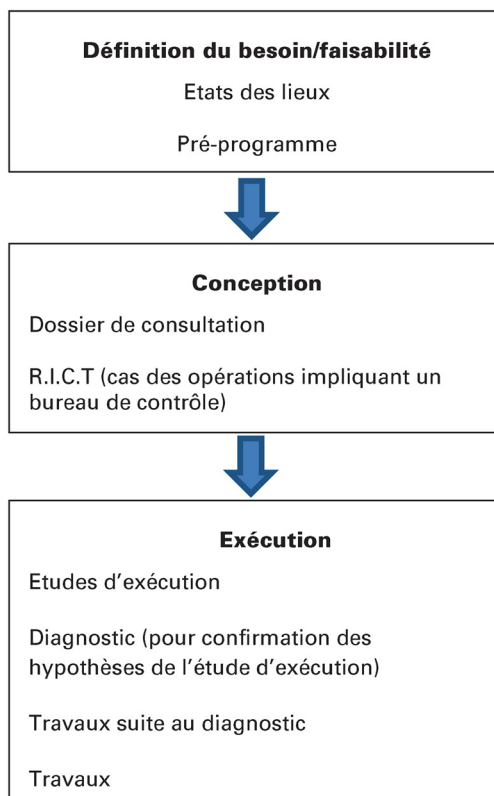
La (Figure 9) présente le phasage classique d'une opération de réhabilitation. Dans le cadre d'une opération d'une certaine importance, les étapes en amont débouchent sur la rédaction de pièces écrites du marché de travaux. Si l'étude de faisabilité conclue à des conditions de réalisation inacceptables, le projet peut être profondément modifié par rapport au préprogramme, voire abandonné.

Dans le cadre d'une opération plus modeste, où souvent un maître d'ouvrage dialogue directement avec un entrepreneur, ce découpage est moins formalisé. La faisabilité correspond alors simplement à la demande du maître d'ouvrage, qui peut être accompagné d'un état des lieux plus ou moins complet. La conception et l'exécution sont des étapes incluses dans le travail que l'entrepreneur doit réaliser pour proposer une solution.

Il est fréquent que le diagnostic avancé aboutisse à la découverte de dégradation plus importantes que prévue et occasionnant des réparations non prévues lors de la contractualisation. Afin que le surcoût lié à ces aléas puisse être imputé, au moins en partie, au maître d'ouvrage,

l'entrepreneur peut invoquer une « modification de la nature et de l'importance des travaux » et les traiter selon les propositions de la norme NF P03-001 §11.

Cette norme propose des clauses administratives à inclure dans les documents des marchés de travaux privés de bâtiment dans le cas de découvertes d'éléments non prévus.



▲ Figure 9 : Schéma général de phasage d'un chantier de rénovation

Le (Tableau 1) résume les responsabilités et les principaux documents que s'échangent les intervenants lors d'une opération usuelle de plancher connecté bois/béton dans le cadre d'une réhabilitation d'un bâtiment existant. Selon la nature de l'opération, des adaptations peuvent intervenir.

Le maître d'ouvrage peut déléguer à un maître d'œuvre (M.O.E) ou à une entreprise directement.

### 6.2.2. • Diagnostic technique des planchers existants

Le diagnostic technique fait l'objet d'une prestation spécifique. Il est obligatoire pour les marchés publics (Loi MOP1), et vivement conseillé pour les autres marchés, car il évite aux parties les surprises désagréables que peut révéler une réhabilitation mal préparée.

Le diagnostic technique est un outil d'aide à la décision qui permet au maître d'ouvrage d'apprécier les faisabilités technique et économique d'une opération de réhabilitation, et le cas échéant, d'envisager une autre alternative.



Tableau 1 : Intervenants et responsabilités lors d'une opération de plancher connecté bois/béton

Phase	Quoi	Qui	Transmis à	Contenu	
				Général	Spécificités planchers bois/ béton.
<b>Définition du besoin client</b>				Objet du réaménagement	
<b>Faisabilité</b>	État des lieux	M.Ou.	Entreprise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableau des surfaces. Principe de circulation</li> <li>Plans de l'existant</li> <li>Sondage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charges d'exploitation, objectifs acoustiques</li> <li>Section et implantation des bois et des murs (non fait par le géomètre)</li> <li>Rapport de sondage</li> </ul>
	Pré-pro-gramme	Entreprise	M.Ou.	Choix de la technique utilisée (chape ou plancher connecté)	
<b>Conception</b>	Dossier de consultation	M.Ou.	Entreprise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plans d'existant et de projet</li> <li>Pré-Diagnostic</li> <li>Note d'hypothèses</li> <li>CCTP</li> <li>Quantitatif</li> <li>Pièces administratives.</li> <li>Planning.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Note d'hypothèses (charges, durée de tenue au feu, flèches admissibles).</li> <li>Plans de projet (zones à réparer, zones à traiter en plancher connecté, nature du cofrage (si apparent).</li> <li>Vérification de la faisabilité.</li> </ul> <p>Étant donné la difficulté d'estimation complète (faisabilité réalisée par sondage), il est plus approprié de passer les marchés en BPU plutôt qu'en DPGF au regard de l'incertitude sur les conclusions du diagnostic exhaustif.</p> <p>Lorsque cela est possible, il est préférable de faire réaliser le diagnostic complet dès la phase conception.</p>
	R.I.C.T. (ne concerne que les opérations impliquant un BC)	M.Ou.	Entreprise	Revue de l'ensemble des points techniques, avec liste des points à revoir ou à compléter lors des études d'exécution	



Phase	Quoi	Qui	Transmis à	Général	Contenu
<b>CONSULTATION ET CHOIX DE L'ENTREPRISE</b>					
<b>Exécution</b>	Études d'exécution	Entreprise	M.Ou.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Note d'hypothèses</li> <li>Note de calculs</li> <li>Plans d'exécution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hypothèses: le diagnostic, charges d'exploitation en cohérence avec le programme.</li> <li>Calculs: prise en compte du phasage. Vérification des phases provisoires.</li> <li>Plans d'exécution: Nature et implantation des connecteurs. Implantation et charges sur étais. Armatures. Résistance du béton au désétalement.</li> </ul> <b>Transmission des hypothèses (selon fiche annexe B) au diagnostiqueur</b>
	Diagnostic pour confirmation des hypothèses de l'étude d'exécution)	Entreprise	M.Ou.	<ul style="list-style-type: none"> <li>État de l'existant</li> <li>Conformité avec les plans d'exécution et l'étude de faisabilité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport de diagnostic : Revue des désordres (rupture, déformations, altérations biologiques...).</li> <li>Évaluation des capacités portantes actuelles.</li> <li>Caractérisation des bois (essence, classe) et des murs (nature, résistance) existants</li> </ul> <b>Le rapport de diagnostic doit prescrire les travaux correctifs</b>
	Travaux suite au diagnostic	Entreprise	M.Ou.		Travaux de reprise du plancher et Transmission de la fiche annexe B (reprenant le § inspection et évaluation »
	Travaux	Entreprise		Exécution des travaux de connexion et de bétonnage	Conformément à l'étude d'exécution (phases provisoires et définitives)
	M.Ou.	Maître d'Ouvrage	Client particulier, toute personne physique ou morale pouvant se faire assister d'une équipe de M.O.E.		
	M.O.E.	Maître d'Œuvre	Le Maître d'Œuvre est choisi par le M.Ou. En général, l'équipe de Maîtrise d'Œuvre est constituée d'un architecte entouré de bureaux d'études techniques. Le dimensionnement de l'ouvrage décrit est assuré par le bureau d'études de structure.		
	B.C.	Bureau de contrôle	Le bureau de contrôle est désigné par le M.Ou.		
	Entreprise	Entreprise en charge des travaux de plancher connecté, qui peut éventuellement être sous-traitante d'une entreprise générale.			
	R.I.C.T. B.P.U DPGF	Rapport Initial de Contrôle Technique. Bordereau des prix unitaires Décomposition du Prix Global et forfaitaire			

On rappelle que dans le cadre d'une opération de réhabilitation, avec changement de destination des locaux, il convient de se conformer aux exigences normatives et réglementaires en vigueur, notamment :

- la stabilité des planchers vis-à-vis des efforts verticaux et horizontaux ;
- la protection des personnes contre le risque incendie ;
- l'isolation acoustique ;
- l'isolation thermique.

### 6.2.2.1. • Objectifs du diagnostic

Un diagnostic préalable de l'existant est nécessaire pour définir les opérations de réhabilitation éventuelles.

Il doit permettre de s'assurer de l'aptitude de l'existant à recevoir les nouvelles sollicitations engendrées par le projet de rénovation et définir les travaux à mettre en œuvre pour assurer la sécurité structurelle et un état de service normal de l'ouvrage dans la durée d'utilisation prévue.

L'intervenant responsable du diagnostic doit être défini dans les pièces du marché. Il peut s'agir :

- d'un bureau d'étude spécialisé ;
- d'une entreprise de charpente qualifiée dans les travaux de réparation/renforcement des ouvrages en bois.

Le diagnostic s'effectue à partir de visites sur le site et avec le support des documents de l'état des lieux. Il se concentre principalement sur la ou les zones directement ou indirectement concernées par les modifications. Dans le cadre du présent document, il s'agit principalement des zones de jonctions entre planchers et murs ainsi que des éléments servant à la descente des nouvelles charges.

Pour des opérations d'une certaine importance, le diagnostic technique peut associer plusieurs corps de métier choisis par le maître d'œuvre en fonction des problèmes rencontrés. Des analyses non destructives et des relevés d'échantillons (carottage) suivis d'analyses en laboratoire peuvent être effectués lorsque des informations précises sur les matériaux sont recherchées.

Le diagnostic étant basé sur des sondages et non sur la totalité de la structure, l'entrepreneur doit dans tous les cas vérifier la cohérence de la situation rencontrée avec le résultat du diagnostic. En particulier, il convient de vérifier l'absence de pathologies de nature à remettre en cause la pérennité de l'ouvrage et/ou nécessitant une intervention particulière.

### 6.2.2.2. • Recueil d'informations

Il convient au préalable de recueillir le maximum d'informations disponibles auprès du maître d'ouvrage :

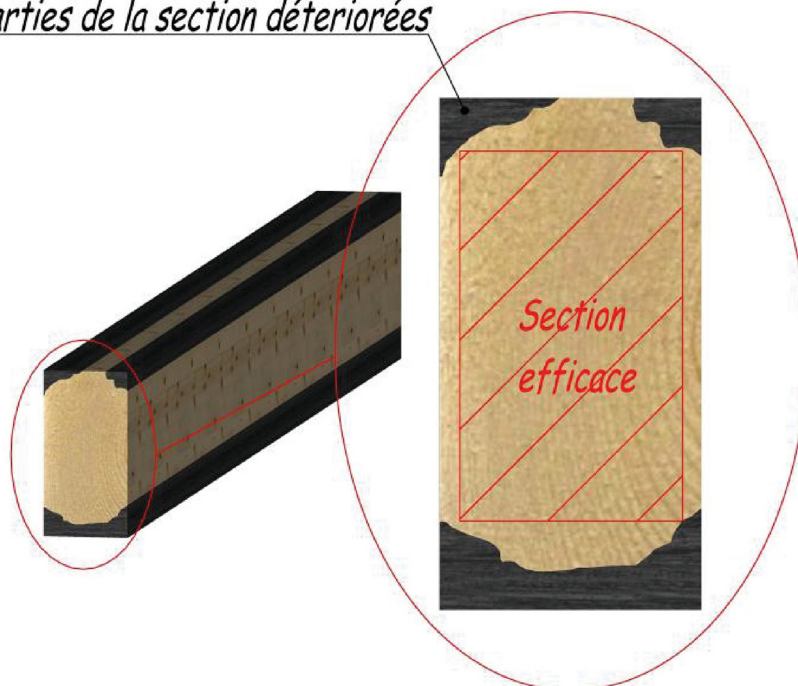
- historique: âge de la construction, affectation des locaux, modifications, réparations antérieures, diagnostics déjà établis, sinistres antérieurs éventuels ;
- plans du bâtiment et plans de fabrication des ouvrages structuraux ;
- justifications techniques des ouvrages (notes de calcul) ;
- éléments de définition du projet de rénovation.

### 6.2.2.3. • Inspection et évaluation

L'inspection des différents éléments constituant l'ossature porteuse des planchers a pour objectif de disposer d'un relevé détaillé des éléments suivants:

- des dimensions effectives des pièces (section efficace, entraxe, portée), de leur position et de leur mode d'assemblage ;

*Parties de la section détériorées*



▲ Figure 10 : Principe de prise en compte de la section efficace

- des critères d'évaluation de la qualité mécanique du bois ;
- de la présence et localisation d'éventuelles pathologies d'origine biologique (dégâts ou traces d'attaque d'insectes ravageurs de bois d'œuvre, dégradation fongique) ou mécanique (fentes, déformations excessives) ;
- de l'humidité des pièces de bois.

Depuis la surface du plancher, l'inspection permet le repérage :

- des zones présentant une déformation sous le poids d'une personne ;
- des défauts de planéité ;
- des défauts de fixation de lames ou de panneaux ;
- de lames détériorées ou manquantes ;
- de l'état des joints entre les lames ou entre panneaux.

### Relevé de constitution

## Pièces de bois

La détermination de la section effective des pièces de bois peut nécessiter de prendre en compte d'éventuelles irrégularités liées au façonnage ou résultant d'altération.

Les désordres d'origine physique ou mécaniques ayant une conséquence sur le comportement des ouvrages doivent être inventoriés en fonction de leur gravité.

On laissera au professionnel du diagnostic le soin d'apprécier le degré de gravité d'une dégradation. Nous proposons à titre indicatif la hiérarchie non exhaustive suivante du plus au moins grave :

1. Destruction totale ou partielle des abouts de solives ;
2. Destruction totale ou partielle des assemblages de chevêtre, notamment trémie d'escalier ;
3. Dégradation des parties courantes de solives entraînant des réductions de section efficace ;
4. Dégradation des éléments de platelages.

## Assemblages

L'inspection des assemblages doit principalement permettre de contrôler l'absence de détérioration, de déplacement significatif ou de détachement.

Un relevé de constitution est nécessaire pour une vérification du dimensionnement.

## Qualité du bois

La détermination de l'essence de bois peut être faite in-situ ou par analyse en laboratoire sur prélèvement.

Les caractéristiques mécaniques des pièces de bois peuvent être évaluées :

- soit par classement visuel, à partir des singularités du bois (nœuds, fentes, flaches, pentes de fil...), en se basant sur la norme NF B 52-001 pour les bois massifs français ;

- soit par des essais mécaniques en laboratoire, ce qui nécessite de disposer d'un échantillonnage suffisamment représentatif à partir de prélèvements pouvant être conséquents.

## Altérations biologiques

Les principaux agents d'altération biologiques du bois sont :

- les champignons ;
- les insectes.

## Dégradations par les champignons

Les champignons ne s'attaquent qu'à des bois dont l'humidité est supérieure à 20-25%. Leur développement est la conséquence d'une humidité excessive au sein des éléments de bois attaqués ou d'une inadéquation de leur durabilité (naturelle ou conférée par traitement) par rapport à celle requise par la classe d'emploi.

On distingue :

- les champignons lignicoles (moisissure ou bleuissement) qui se développent en surface du bois uniquement et n'occasionnent que des dégâts esthétiques ;
- les champignons lignivores (ou champignons de pourriture) qui dégradent les constituants de la paroi cellulaire du bois et provoquent des pertes de matière et de propriétés mécaniques.

Il existe différents types de pourriture :

- La pourriture cubique (ou pourriture brune) attaque préférentiellement les bois résineux. Le bois se décompose en cubes profonds irréguliers et prend une teinte foncée. Les champignons de pourriture cubique, dont la mērule, peuvent se développer dès que le bois atteint une humidité supérieure à 20%, avec une humidité optimale de 30 à 40%,
- La pourriture fibreuse (ou pourriture blanche) attaque préférentiellement les feuillus. Le bois, ramolli, se décompose en fibrille en profondeur et prend une coloration très claire. Elle se développe en général à partir de 35 à 40% d'humidité dans le bois ;
- La pourriture molle se développe généralement au-delà de 50% d'humidité dans le bois, principalement sur les feuillus. La surface du bois devient très foncée, presque noire et se craquelle en petits cubes réguliers, la texture du bois est ramollie.

## Dégradations par les insectes

Les insectes à larves xylophages, les insectes nidificateurs et les termites souterrains dégradent les composants du bois et provoquent des pertes de matière et de propriétés mécaniques.

Les insectes à larves xylophages se développent en pondant des œufs dans le bois, qui éclosent et se transforment en larves. Ces larves vivent de quelques mois à plusieurs années dans le bois (selon les espèces) pour s'y nourrir en creusant des galeries. Les larves se transforment en nymphe puis en insecte adulte qui quittent le bois en forant des trous de sortie. Les principaux insectes à larves xylophages sont :

- le capricorne des maisons qui n'attaque que les bois résineux ;
- le lyctus, qui n'attaque que des bois feuillus ;
- la vrillette (grande et petite) qui attaque tous les bois feuillus ou résineux d'essences tempérées.

Les principales manifestations de présence d'insectes à larves xylophage sont :

- des galeries dans le bois ;
- des trous de sortie à la surface du bois, dont la forme et la dimension sont caractéristiques du type d'insecte ;
- de la vermoulure sur le bois ou au sol dont la forme et la dimension sont également caractéristiques du type d'insecte ;
- la présence de larves et d'insectes ;
- éventuellement de bruits de grignotement.

Les termites sont des insectes sociaux formant des colonies organisées en castes : reproducteurs qui pondent, soldats qui défendent la termitière et ouvriers qui la nourrissent. Ce sont les ouvriers qui provoquent les dégâts dans les constructions en creusant des galeries dans les matériaux tendres (bois, plastique, terre, plâtre...) pour se déplacer à l'abri de la lumière et en consommant le bois pour se nourrir. Ils s'attaquent à un très grand nombre d'essences de bois.

En France métropolitaine, les régions du sud et en particulier du sud-ouest sont les plus fortement infestées.

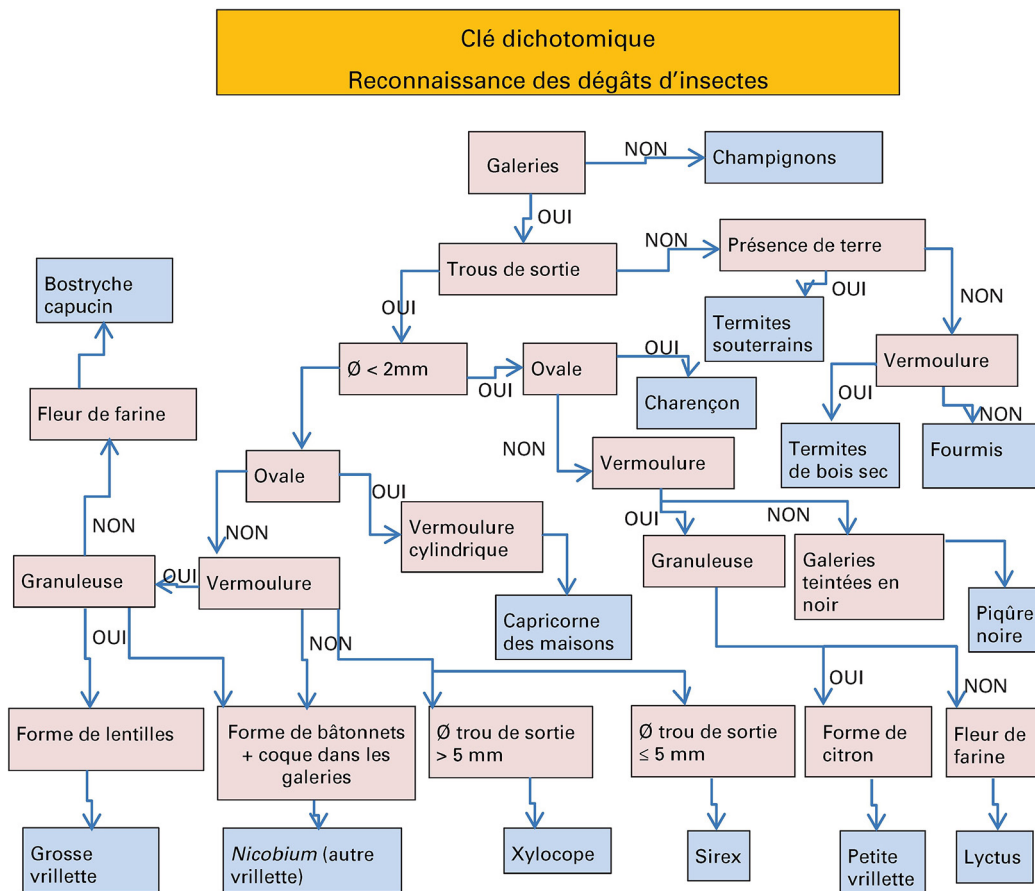
En application de l'article L. 133-5 du code de la construction et de l'habitation, lorsque, dans une ou plusieurs communes, des foyers de termites sont identifiés, un arrêté préfectoral délimite les zones contaminées ou susceptibles de l'être à court terme dans le département. Dans ces zones, les travaux de démolition sont encadrés et les diagnostics sont obligatoires en cas de vente.

La carte des "départements couverts par un arrêté préfectoral délimitant les zones infestées par les termites" est consultable sur les sites internet du ministère : [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr) / rubrique « Bâtiment et construction ».

Les insectes nidificateurs dégradent le bois en y creusant leur nid mais ne s'en nourrissent pas. Ils s'attaquent plutôt aux bois tendres ou humides, déjà attaqués par des champignons. Les insectes nidificateurs plus courants sont les abeilles charpentières et les fourmis charpentières.



Les principaux indices d'identification des dégâts d'insectes ravageurs du bois en œuvre sont résumés dans la (Figure 11).



▲ Figure 11 : Clé d'identification des dégâts d'insectes ravageurs du bois en œuvre

L'étendue des dégradations causées par des agents d'altération biologique doit être évaluée par sondages avec purge jusqu'au bois sain.

## Humidité

La pérennité des ouvrages en bois dépend de l'adéquation entre la durabilité pour la classe d'emploi prévue et les conditions réelles d'humidification. L'apparition de dégradations fongiques est nécessairement la conséquence d'une humidification anormale, qui résulte :

- soit d'une mauvaise maîtrise de la classe d'emploi, par le choix d'une essence présentant une durabilité insuffisante ou par une conception inadaptée favorisant la rétention d'humidité ;
- soit d'un dérèglement de l'état sanitaire du bâti, pouvant être dû à un entretien déficient ou à des modifications mal conçues.

Les ouvrages en bois peuvent être exposés à des arrivées d'eau sous forme liquide qui peuvent avoir pour origine :

- des défauts d'étanchéité de l'enveloppe (ex : fuite de couverture, fissure ou porosité des façades, infiltration par des points singuliers, etc.) ;
- des remontées capillaires depuis l'assise ;

- des fuites de canalisation à l'intérieur du bâtiment.

L'humidité peut également être causée par des phénomènes de condensation liés à de mauvaises performances hygrothermiques du bâti :

- mauvaise isolation, ponts thermiques, etc. ;
- défaut de ventilation ;
- finitions non respirantes.

Des mesures de teneur en humidité des pièces de bois permettent de vérifier leur état, par comparaison des différentes valeurs obtenues en partie courante et aux points singuliers (ex : ancrage des appuis dans le gros œuvre), par rapport aux valeurs d'équilibre hygroscopique du bois en fonction de la température et de l'humidité de l'air ambiant.

Elles peuvent être réalisées :

- *in situ*, à l'aide d'un hygromètre à pointes fonctionnant par méthode électrique par résistance ou par capacité ;
- en laboratoire sur échantillons, par détermination de la perte de masse après dessiccation.

### Établissement du diagnostic

Après analyse et interprétation des informations recueillies et des constats effectués sur site, le diagnostic doit présenter :

- les résultats d'inspection, en précisant les limites de celle-ci, illustrés par des photographies et des vues en plan et coupes de principe ;
- des recommandations pour le traitement des causes d'altération biologique :
  - identification et suppression des causes d'humidification anormale,
  - nécessité de procéder à un traitement curatif et/ou préventif ;
- la vérification du dimensionnement des éléments porteurs (poutres, solives, ...) et de leurs assemblages, ainsi que des éléments de plancher (planches, lames, panneaux,...) vis-à-vis des exigences de solidité et rigidité définies respectivement au (cf. 6.2.3) en prenant en compte la nouvelle affectation du local ;
- la vérification des appuis sur les porteurs verticaux ;
- des préconisations de remplacement ou renforcement localisé des éléments porteurs défectueux (dégradés et/ou sous-dimensionnés) ;
- des préconisations pour la remise en état du plancher, en prévoyant :
  - le remplacement des éléments de plancher défectueux (cassés, fendus ou trop déformés), manquants ou sous-dimensionnés ;



- le rétablissement de la bonne fixation des lames ou des panneaux mobiles, de préférence par vissage ;
- l'élimination des fixations saillantes susceptibles de détériorer la couche d'interposition.

Le rapport de diagnostic devra être remis aux différents intervenants. Il sera indissociable de la fiche méthodologique et de l'attestation de bon dimensionnement du plancher (cf. Annexe).

#### 6.2.2.4. • Réutilisation potentielle des matériaux du plancher

##### Possibilité et méthode de réparation des solives conservées

Sur la base du diagnostic, la définition des techniques de réparation résulte d'une analyse technico-économique prenant en compte les différents objectifs visés ainsi que les contraintes inhérentes à l'opération, notamment :

- l'apparence souhaitée de la structure ;
- les possibilités d'intervention sur l'existant ;
- la nécessité de rétablir durablement la capacité portante initiale ou de l'améliorer pour répondre aux exigences de performances liées à la nouvelle utilisation ;
- le respect des exigences réglementaires en particulier vis-à-vis de la sécurité incendie et du risque sismique ;
- les possibilités d'entretien des ouvrages réparés ou renforcés.

Les travaux nécessaires pour assurer la durabilité des ouvrages bois (suppression des risques d'humidification anormale et l'application de traitement de préservation) ne font pas partie des travaux de réparation ou renforcement. Ils peuvent toutefois être intégrés à la demande du maître d'ouvrage.

À l'issue du diagnostic, l'ensemble des défauts affectant les solives existantes doit être identifié. En fonction de l'état des solives, de l'intérêt patrimonial du bâtiment, des possibilités d'amener de nouvelles solives (ce qui n'est pas toujours aisé dans un bâtiment existant), et du coût, on pourra procéder soit au remplacement des solives endommagées, soit à leur réparation.

Les principales pathologies rencontrées sur les solives sont :

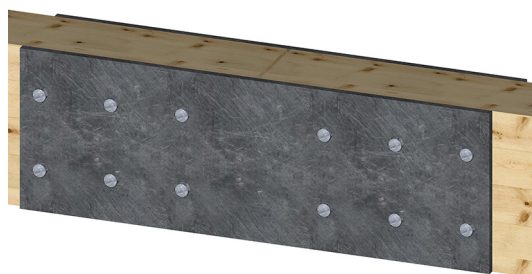
- un endommagement des abouts, dû à l'humidité transmise par la maçonnerie des murs ;
- des ruptures en travées, notamment au droit de nœuds du bois.

## Exemples d'assemblages traditionnels

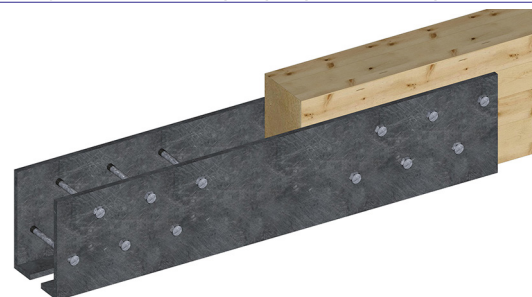
Les parties détériorées peuvent être remplacées par de nouveaux éléments en bois assemblés mécaniquement à l'existant par des techniques traditionnelles devant permettre d'assurer la continuité de l'élément à réparer pour rétablir la résistance nécessaire.



Assemblage de continuité par plaques en bois boulonnées



Assemblage de continuité par plaques métalliques boulonnées

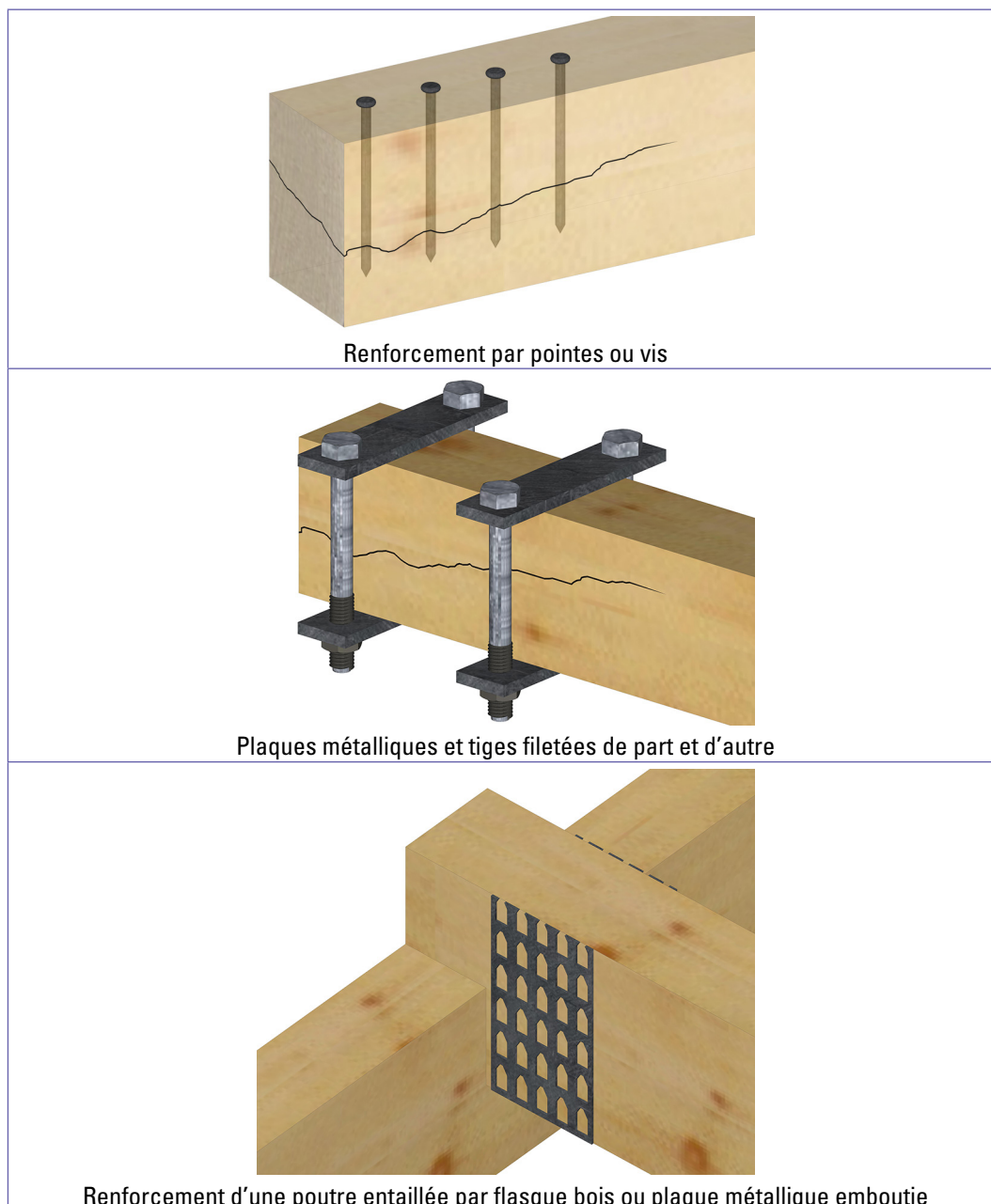


Assemblage en bout par profilés métalliques boulonnés

▲ Figure 12 : Assemblages traditionnels de continuité

L'adjonction d'éléments de renfort peut également permettre d'améliorer la section résistante :

- en apportant de l'inertie et de la rigidité pour améliorer le comportement en flexion ;
- en augmentant la résistance à la compression transversale ;
- en s'opposant au risque de fendage par cisaillement et/ou par traction perpendiculaire aux fibres.



▲ Figure 13 : Renforcement mécanique des sections

### Techniques de renforts collés à l'aide de résine

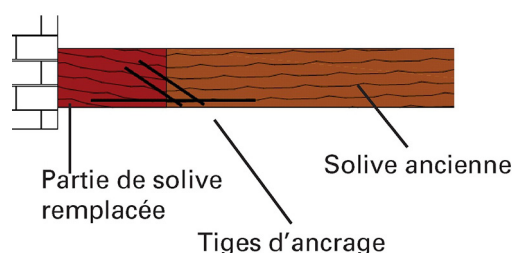
Ces techniques peuvent être utilisées pour :

- le remplacement de parties dégradées ou d'abouts de poutres ;
- le renforcement de poutres existantes.

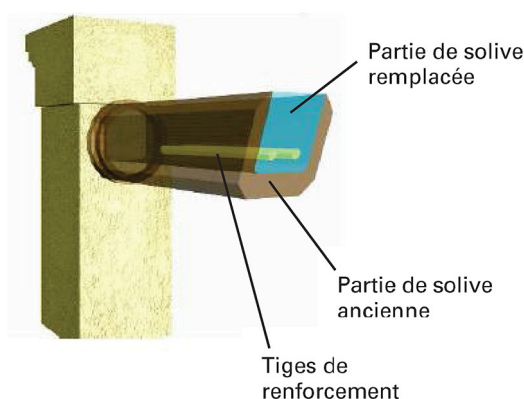
Il s'agit de coller de éléments de types tiges et profilés pouvant être en métal (tige filetée, armature de béton armé), en fibres de verre ou carbone. Ils sont scellés dans des percements ou rainures à l'aide de résine adaptée.

Dans une opération de réparation, les tiges scellées constituent des armatures de liaison entre l'élément de substitution de la partie dégradée et la partie saine conservée.

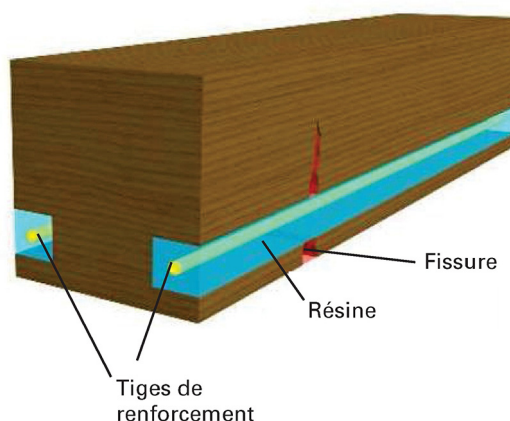
L'élément de substitution, également appelé greffon, peut être en bois ou en mortier de résine. Dans ce dernier cas, l'utilisation d'un coffrage permanent en bois permet de conserver l'apparence de la structure et peut également contribuer à protéger la résine en cas d'incendie.



Liaison entre existant et élément de remplacement sur appui. Réparation d'abouts endommagés par coulage de résine et scellement de tiges



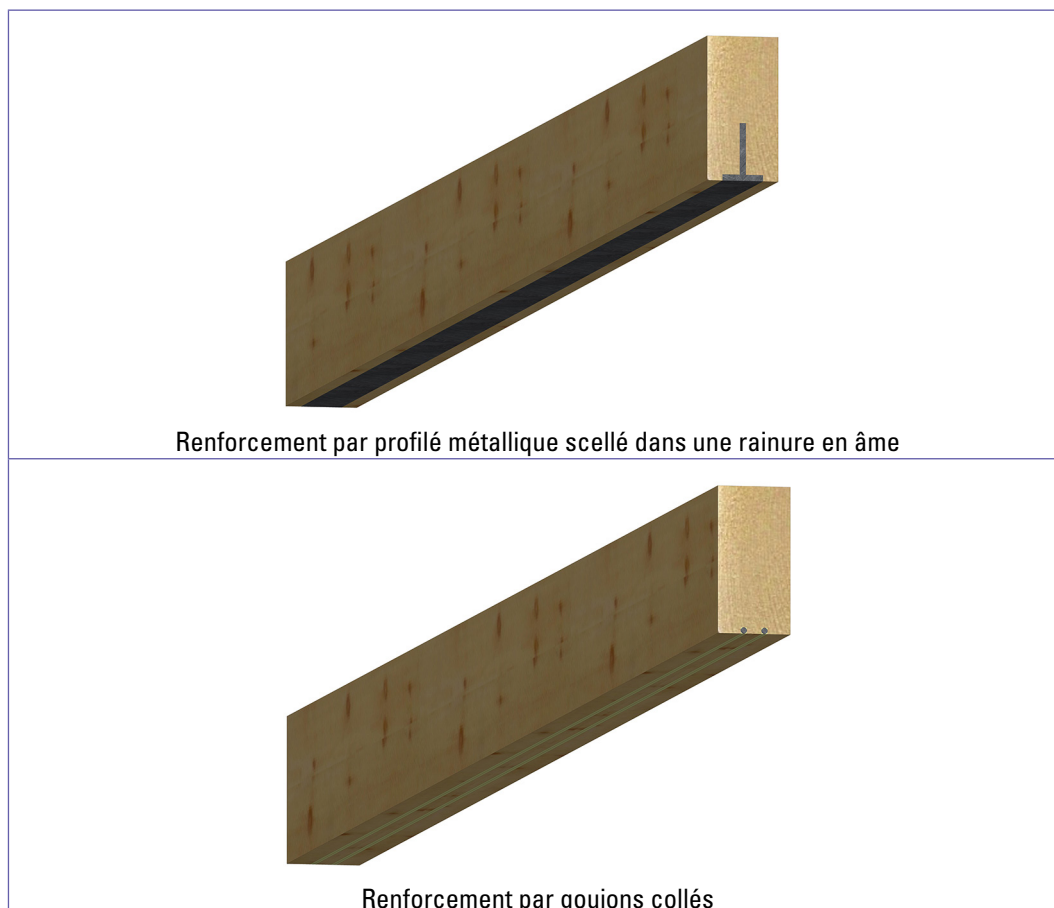
Remplacement des abouts endommagés par une pièce coulée en mortier de résine et lissée au bois sain conservé par des joncs scellés à la résine. Le coffrage en bois peut être conservé, de sorte que la réparation reste invisible.



Reconnexion de deux « morceaux » de poutres à l'aide de joncs scellés en saignée

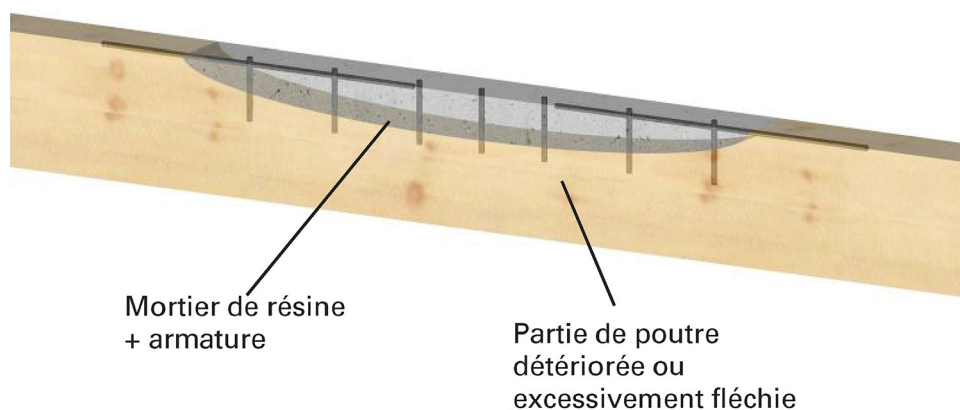
▲ Figure 14 : Remplacement de parties dégradées de sections afin d'assurer une continuité

Lorsqu'un renforcement est nécessaire, le scellement de tiges, de plats ou de profilés dans le bois ou le collage d'éléments de renfort en surface permet d'améliorer les propriétés mécaniques d'une section existante.



▲ Figure 15 : Renforcement des sections par collage de pièces métalliques

Le collage peut également être utilisé pour des réparations en partie courante.



▲ Figure 16 : Réparation en partie courante par mortier de résine et scellement d'armatures

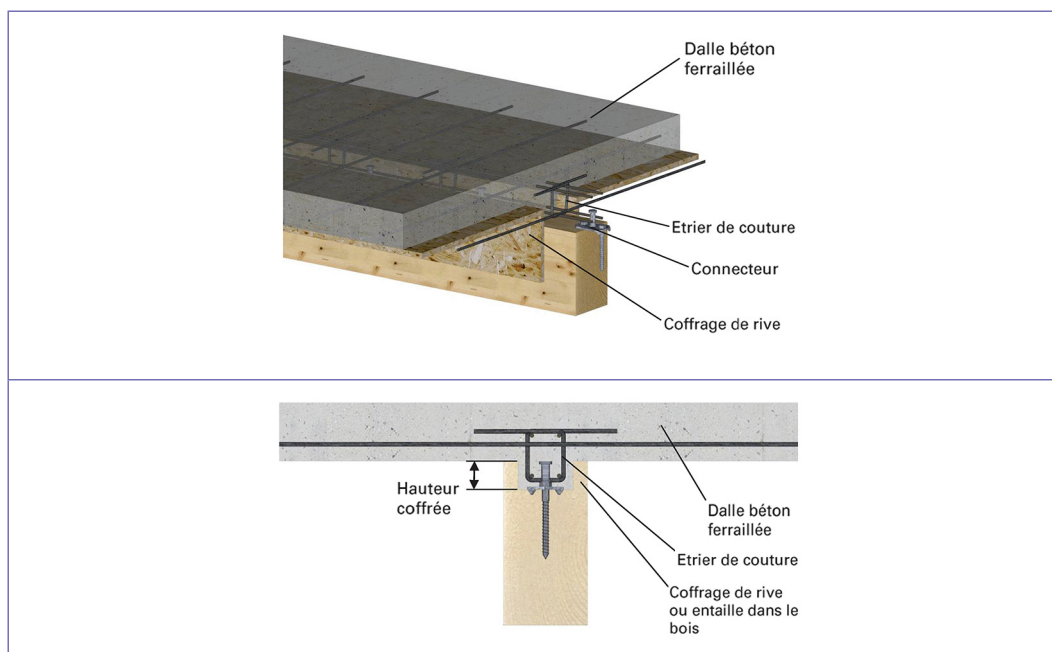
Pour ces opérations de renforts collés, mettant en œuvre des techniques spécifiques, il convient de se référer aux « Règles professionnelles pour la réparation et renforcement des ouvrages bois par des techniques de résine » éditées par la Fédération de l'Industrie Bois Construction (FIBC).

### 6.2.2.5. • Traitement des points singuliers

Les solives existantes présentent souvent des flèches résiduelles importantes du aux phénomènes de fluage, même après suppression du plancher. Ces déformations sont susceptibles de remettre en cause leur réutilisation dans un nouveau plancher. En effet, sans correction, ces flèches génèreraient des surépaisseurs de béton nuisibles en milieu de portée. De plus, il peut exister des différences de niveau d'une solive à l'autre.

Une solution permettant de résoudre ce problème consiste à coffrer les rives des poutres fléchies afin de réaliser une sous-face de dalle horizontale et de même niveau. Pour le calcul, on pourra faire abstraction de la hauteur coffrée, puisque celle-ci vient augmenter la hauteur de la poutre et par conséquent sa résistance. Il convient toutefois de prendre garde à ce que l'ancrage du connecteur se fasse bien dans la hauteur de la dalle.

Dans le cas où la tête du connecteur ne dépasse pas le niveau du treillis de la dalle, il convient de mettre en œuvre des aciers verticaux de couture, afin d'assurer la transmission du glissement entre connecteur et table de compression (Figure 17). Afin d'assurer l'ancrage de l'étrier de couture il convient de respecter les longueurs minimales de recouvrement entre les bras de la cage d'étrier et le treillis.



▲ Figure 17 : Coffrage de rive permettant de récupérer les flèches et différences de niveaux entre solives en réhabilitation

### 6.2.2.6. • Diagnostic des éléments porteurs verticaux

L'aptitude des éléments porteurs verticaux à reprendre correctement les charges verticales et éventuellement horizontales, apportées par les planchers, doit également être vérifiée.



## Inspection

L'état apparent des porteurs verticaux doit être évalué par une inspection visuelle visant à identifier d'éventuelles pathologies :

- manifestation de déplacements, déformations ;
- fissures ;
- décollement des parements, présence d'humidité...

## Reconnaissance de constitution

En l'absence de données ou si celles-ci sont insuffisantes, une reconnaissance de constitution des porteurs verticaux est nécessaire pour étudier le projet de création ou restructuration de plancher :

- Ouvrages en béton armé : caractérisation du béton par auscultation et essais en laboratoire sur prélèvements par carottages, reconnaissance du ferrailage par auscultation (pachomètre, radar) et sondages ;
- Murs en maçonnerie de corps creux : reconnaissance de ferrailage de chaînage par auscultation (pachomètre, radar) et sondages ;
- Maçonnerie de pierre : sondages par carottage pour reconnaissance de constitution (pierres de tailles, moellons, double parois...) et prélèvements pour caractérisation en laboratoire (essais mécaniques, mesures d'humidité, mesures de capillarité...) ;
- Ossature poteaux-poutres métallique : relevé dimensionnel et prélèvements pour caractérisation en laboratoire (essais mécaniques) ;
- Ossature poteaux-poutres bois, pans de bois : les principes de diagnostic relatifs aux planchers bois présentés au (cf. 6.2.2) s'appliquent.

Le mode d'appui des planchers existants sur les porteurs verticaux doit être examiné. La bonne tenue des ancrages doit être vérifiée.

### 6.2.3. • Pose des éléments constitutifs

La pose et l'exécution des ouvrages doivent faire l'objet de documents d'exécution qui définissent précisément les dispositions des planchers à réaliser.

#### 6.2.3.1. • Pose du solivage

Les éléments porteurs discontinus en bois (poutres, solives) doivent être mis en œuvre conformément au DTU 31.1.

L'hygrométrie du bois à la mise en œuvre doit être la plus proche possible de la valeur moyenne d'équilibre atteinte par l'ouvrage en service.



Les tolérances à respecter sur l'humidité de mise en œuvre des éléments, définies par le DTU 31.1, figurent dans le (Tableau 2).

Classe de service de destination	Exemples de localisation des pièces de bois	Valeur moyenne d'humidité visée	Valeur extrême localement
1 (7 < Héquilibre ≤ 13 %)	Intégralement inclus dans un local chauffé en continu Plancher intermédiaire	12 %	15 % au maximum
2 (13 < Héquilibre ≤ 20 %)	Séparateur des volumes froids et chauffés, à l'abri des intempéries Plancher bas (sur vide sanitaire bien ventilé)	18 %	22 % au maximum

▲ Tableau 2 : Hygrométrie du bois à la mise en œuvre

### 6.2.3.2. • Conditions d'appui des solives

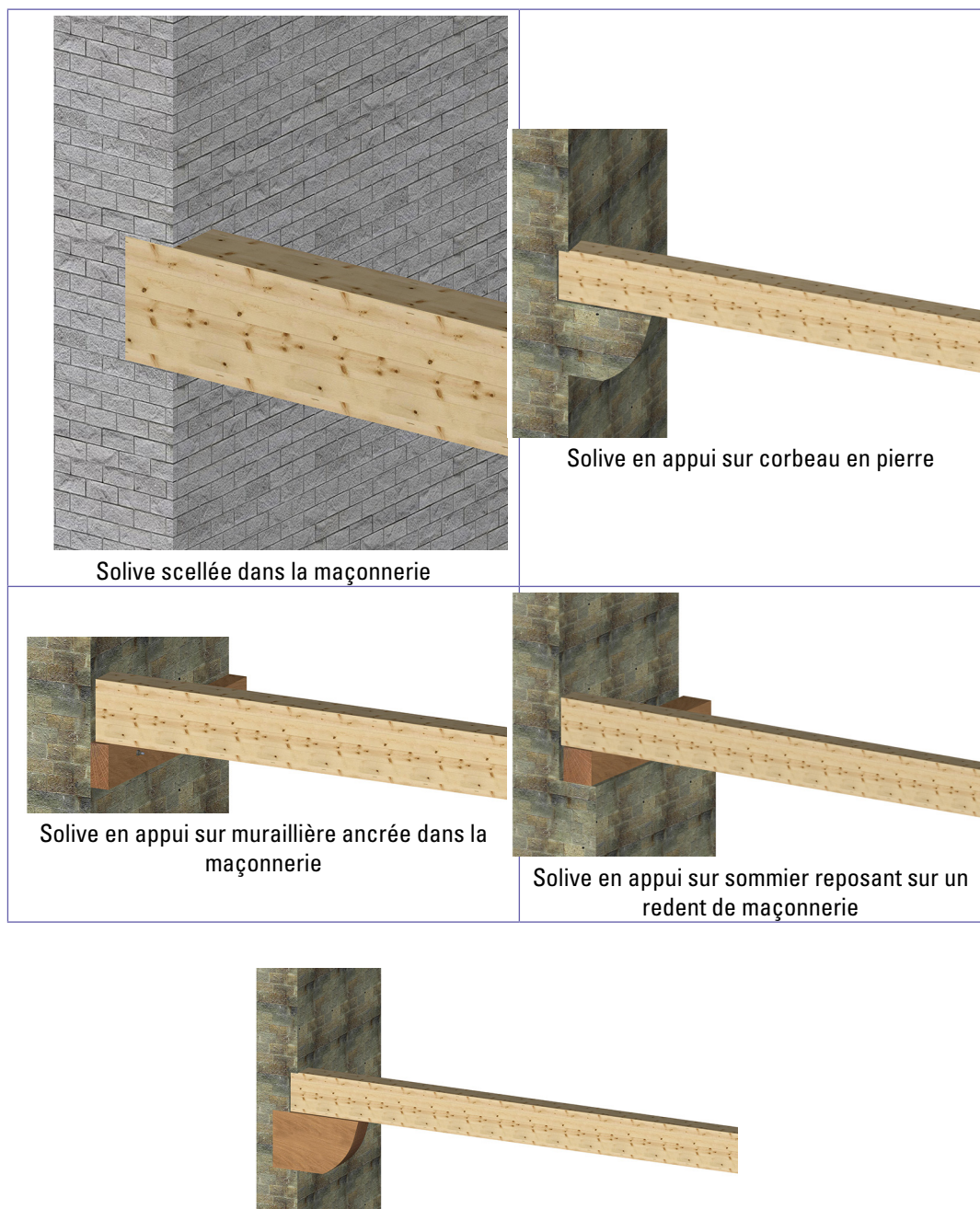
Différents modes d'ancrage des ouvrages sur les porteurs verticaux peuvent être envisagés :

- Appui direct sur les éléments verticaux
  - par fixation en appui sur le gros œuvre. La longueur minimale d'appui des poutres sur les porteurs doit être au moins de 5 cm. L'appui doit au besoin comporter une semelle ou sommier d'appui en bois permettant de limiter le poinçonnement dû au gros œuvre et d'éviter l'humidification des solives ;
  - par scellement dans des réservations du gros œuvre ;
  - à l'aide de ferrures d'ancrage fixées dans le gros œuvre par chevilles mécaniques ou chimiques ;
  - à l'aide de ferrures d'ancrage préscellées dans le gros œuvre ou dans des réservations du gros œuvre.

Dans le cas d'appui direct des poutres bois sur les éléments verticaux, il existe un risque accru de dégradation de ces poutres par les champignons ou par les insectes xylophages. Il conviendra de protéger les appuis des solives au moyen de traitements chimiques ou de films bitumineux tels que préconisés par le DTU 31.1.

- Appuis déportés
  - par fixation en appui sur une muraillière ;
  - à l'aide de ferrures d'ancrage fixées dans une muraillière.





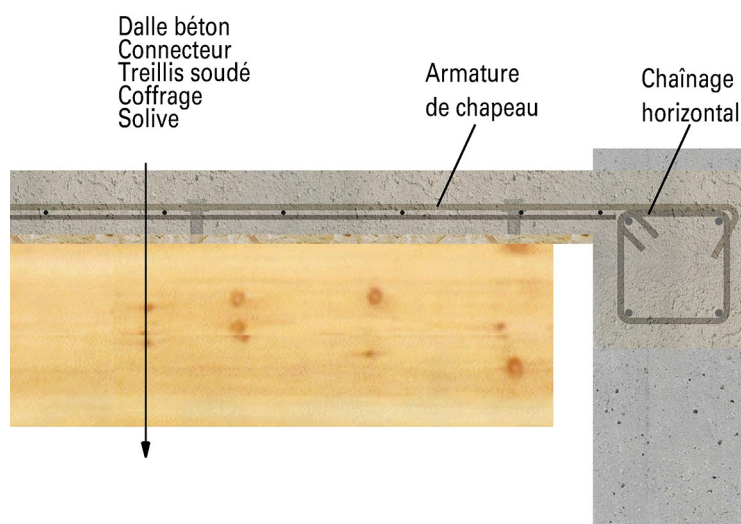
Solive en appui sur corbeau bois scellé dans la maçonnerie

▲ Figure 18 : Typologie d'appuis de solives sur murs maçonnés

- Appuis de la dalle béton uniquement

La constitution de plancher renforcé par des nervures bois connectées est permise par certain procédés. Les connexions doivent avoir fait l'objet d'une étude particulière par le fabricant de façon à attester de cette possibilité.

Cette solution peut être mise en œuvre afin de préserver les appuis de solives bois d'un contact avec un support humide.



▲ Figure 19 : Exemple de plancher nervuré utilisant des solives bois non appuyées



**L'emploi de cette solution nécessite l'emploi de connecteurs présentant une résistance avérée à l'arrachement. Cette résistance doit être communiquée par le fabricant du connecteur et correspondre à la classe de bois et de béton du projet étudié.**

### 6.2.3.3. • Conditions d'appuis des coffrages

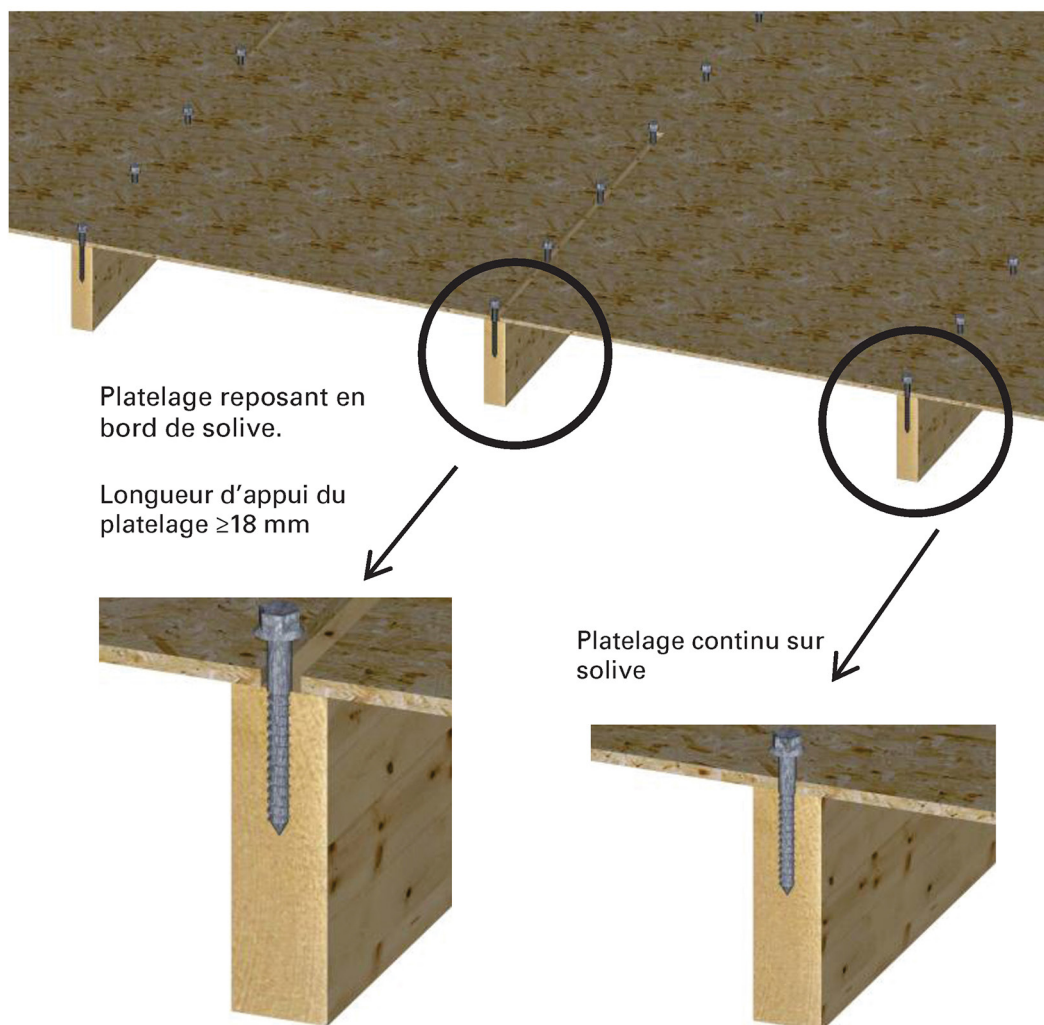
Les lames à plancher, planches ou panneaux doivent reposer sur trois appuis au moins. Le mode d'appui du platelage bois sur le support dépend du mode de connexion.

Lorsque les connecteurs sont posés à travers le platelage, celui-ci est fixé sur les poutres en couvrant toute la surface de connexion. Les organes de fixation doivent être disposés en tenant compte de la position des connecteurs.

Lorsque la connexion nécessite un contact direct entre le béton et les poutres, les panneaux ou planches ou lames doivent reposer sur une largeur de 18 mm au minimum, 20 mm étant conseillé.

Le platelage bois est fixé sur le support par clouage, agrafage ou vissage.

L'espacement maximal des organes est de 150 mm sur les appuis et de 300 mm en partie courante et à une distance minimale de 8mm des rives, 10 mm étant recommandé.



▲ Figure 20 : Tolérances de fixation des éléments de coffrage

#### 6.2.3.4. • Film d'interposition

Le film d'interposition est disposé sur le platelage bois.

Le recouvrement entre les feuilles sera d'au moins 15 cm et une bande collante d'au moins 5 cm de largeur devra être appliquée le long des joints de recouvrement afin d'assurer l'étanchéité.

#### 6.2.3.5. • Connecteurs

Les connecteurs sont mis en place conformément aux dispositions définies dans le dossier d'exécution.

La pose des connecteurs se fait généralement sur chantier. Les connecteurs peuvent également être disposés en atelier sur les éléments porteurs, qui sont alors livrés préconnectés.

À défaut de spécifications particulières, la mise en place des organes de fixation mécanique doit respecter les prescriptions ci-dessous :

- Pointes

Pour les pointes de diamètre supérieur à 8 mm et pour les pointes dans les bois de forte densité (au-delà de 500 kg/m<sup>3</sup>),

un préperçage n'excédant pas  $0,8 d$  ( $d$  étant le diamètre de la pointe) doit être réalisé.

- Vis et tirefonds

Pour les tirefonds dans les résineux avec un diamètre de la partie lisse  $d \leq 6$  mm, le préperçage n'est pas nécessaire.

Pour les tirefonds dans les résineux avec un diamètre de la partie lisse  $d > 6$  mm et pour tous les tirefonds dans les bois feuillus, le préperçage est nécessaire en respectant les exigences suivantes :

- le trou de guidage pour la partie lisse doit avoir le même diamètre et la même longueur que la partie lisse du tirefond ;
- le trou de guidage pour la partie filetée doit avoir un diamètre approximativement égal à 70 % du diamètre de la partie lisse.

Pour les bois de forte densité (au-delà de  $500 \text{ kg/m}^3$ ), le diamètre d'avant-trou doit être déterminé par essais.

- Anneaux

Les anneaux sont enfoncés dans leur logement sans jeu.

- Crampons

Le bon enfoncement des crampons nécessite l'utilisation d'une presse ou d'un vérin pour une pénétration correcte. Leur mise en place doit donc être réalisée en atelier.

### 6.2.3.6. • Mise en place des armatures

Les armatures doivent être mises en place suivant les dispositions définies dans les plans d'exécution.

Conformément au DTU 21 et à la norme NF EN 13670, les armatures doivent être fixées entre elles et calées sur le coffrage de manière à ne subir aucun déplacement ni déformation à la mise en œuvre du béton.

### 6.2.3.7. • Mise en place du béton

Le béton doit être mis en place conformément aux prescriptions du DTU 21 et à la norme NF EN 13670.

Lors du déchargement du béton, il faut veiller à ne pas constituer d'amas pouvant générer une charge localisée importante sur le plancher bois support.

On veillera à respecter en tout point du plancher l'épaisseur minimale de béton dont il est fait état dans le dimensionnement et qui assure la reprise de charge escomptée. On contrôlera la conformité de ce principe en vérifiant cette épaisseur au point déterminé comme étant le plus haut du coffrage bois.

## 6.2.4. • Changement de direction de portée

Lorsqu'un plancher comporte des travées adjacentes qui ne portent pas dans la même direction, une vérification particulière des rotations sur les appuis doit être effectuée. Le résultat de cette vérification peut conduire à considérer les parties de plancher comme indépendantes et à les séparer par un joint de construction.

### 6.2.4.1. • Réservations et trémies

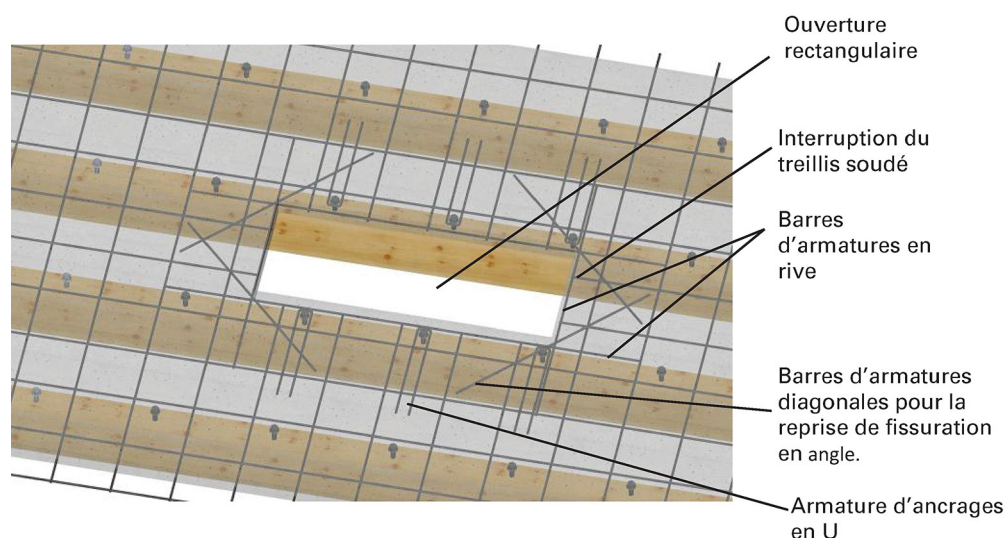
Les dispositions des réservations et trémies et des éléments de renfort périphériques associés sont détaillées dans les plans d'exécution.

En bordure des trémies et des réservations, il convient de prévoir un élément de coffrage permettant de créer un arrêt de coulage (planche, cornière métallique...).

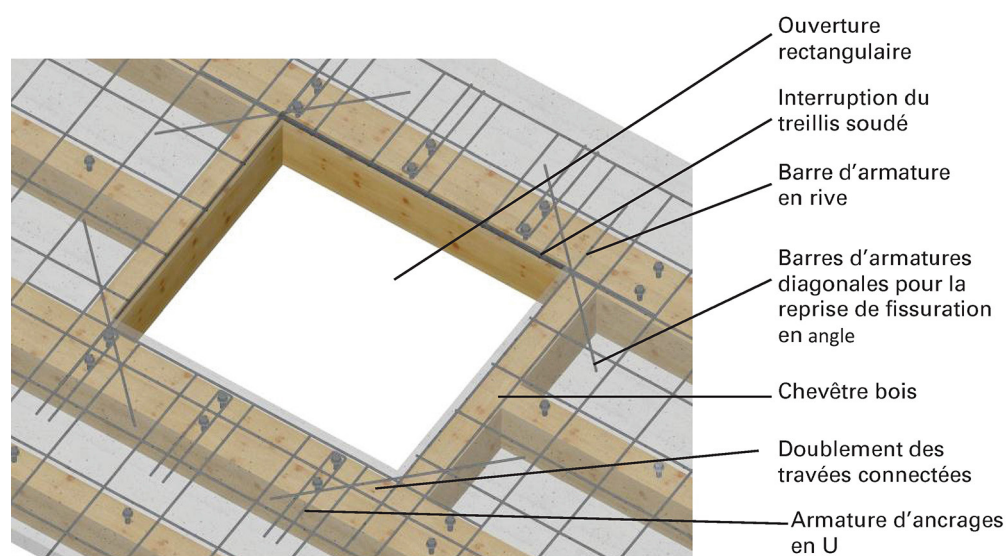
Le dimensionnement doit donner des prescriptions concernant la réalisation des trémies :

- nécessité éventuelle de réaliser un chevêtre :
  - chevêtre dans la dalle bois : les sections sont assemblées par des méthodes classiques (assemblages bois-bois, sabots...). Des poutres connectées peuvent être utilisées pour la réalisation des chevêtres de grandes dimensions,
  - chevêtre dans la dalle béton : en cas de nécessité, un chevêtre béton peut être réalisé ;
- ancrage des connecteurs à la dalle béton par l'introduction de ferrailage en U selon la norme EN 1994-1-1 §6.6.5.3;
- ferrailage des rives de dalle. Le diamètre de ces armatures doit être équivalent à la section du treillis interrompu. La longueur minimale est celle de l'ouverture plus la longueur d'ancrage de chaque côté ;
- renforcement des angles par l'introduction d'un chaînage dédié.





▲ Figure 21 : Exemples de réalisation de trémies – Ouverture rectangulaire de petite dimension comprise dans l'entraxe des solives



▲ Figure 22 : Exemples de réalisation de trémies – Ouverture rectangulaire de grande dimension placée sur plusieurs travées

#### 6.2.4.2. • Incorporation des gaines et réseaux

Seules les traversées perpendiculaires de gaines et réseaux sont admises. Ces éléments traversant les planchers doivent être protégés par des fourreaux non structuraux assurant les fonctions mécanique et acoustique.

Les fourreaux doivent être entourés par la bande compressible pour assurer la désolidarisation avec la dalle.

En aucun cas, les passages des canalisations ne doivent entraîner de percement ou d'entaille des éléments de plancher susceptibles de compromettre la stabilité de l'ouvrage de structure ou d'habillage.

Il n'est fait état aujourd'hui d'aucun retour d'expérience concernant l'exécution d'un plancher chauffant sur plancher mixte bois-béton. Cette association est fortement déconseillée.

## 6.2.5. • Mise en œuvre des dispositifs complémentaires d'isolation

### 6.2.5.1. • Dispositions générales

#### Isolation incorporée dans le plancher

L'utilisation de rehausses en matériau isolant sur le fond de coffrage peut constituer une isolation thermique incorporée dans le plancher.

Au droit des poutres ou solives, l'espace laissé entre les rehausses pour former le renformis béton doit permettre une mise en place et un serrage corrects du béton lors du coulage de la dalle.

#### Isolation en sous-face de plancher

L'isolation en sous-face est disposée dans le plénum du plafond. L'isolant est placé entre les solives et peut reposer sur le plafond.

L'isolant peut être porté sous les solives, sur un plafond suspendu :

- en plaques de parement plâtre vissées sur fourrures, réalisé conformément au DTU 25.41 ;
- supporté par une ossature, réalisée conformément au DTU 58.1.

#### Isolation rapportée sur le plancher

L'isolation rapportée au-dessus du plancher doit respecter les dispositions prévues en fonction du complexe de revêtement de sol venant recouvrir la dalle :

- dans le cas des chapes flottantes (visées par le DTU 26.2) ou des revêtements de sol scellés (suivant le DTU 52.1), la mise en œuvre des sous-couches isolantes doit être conforme au NF DTU 52.10 ;
- dans le cas des planchers flottants à base de bois, la mise en œuvre des sous-couches isolantes doit être conforme au DTU 51.3 ;
- dans le cas des parquets flottants, la mise en œuvre des sous-couches isolantes doit être conforme au DTU 51.11.

### 6.2.5.2. • Isolation thermique des planchers bas

Dans le cas de planchers sur vide sanitaire, l'isolant est porté par un panneau faisant office de fond de caisson. Afin de limiter les risques de condensation en été, il est conseillé d'une part que l'isolant remplisse la totalité de la cavité, d'autre part qu'un pare-vapeur soit placé sur le fond de coffrage.

Les dispositions prescrites par les DTU 31.2 et 51.3 pour limiter le risque d'humidification des ouvrages bois en vide sanitaire sont rappelées ci-dessous :

- les orifices de ventilation doivent permettre une circulation d'air suffisante dans le vide sanitaire. Leur surface totale doit être au minimum de 1/150 de la surface au sol, pour un vide sanitaire bien ventilé, où les ouvrages se situent en classe d'emploi 2 ;
- les éléments en bois doivent se situer à une hauteur minimale de 0,3 m par rapport au sol ;
- le film d'interposition entre le panneau et la dalle de compression assure une fonction pare-vapeur pour protéger des risques de condensation dans l'épaisseur du plancher bois.

Dans le cas de plancher séparatif entre un local chauffé et un local non chauffé (cave, parking, etc.), l'isolant peut être intégré dans un plafond suspendu traditionnel.

Lorsqu'une isolation rapportée sur le plancher vient en complément d'une isolation en sous-face, son épaisseur doit être limitée de façon à éviter l'apparition du point de rosée dans l'épaisseur de la paroi. Il convient pour cela de respecter une répartition de l'isolant avec un ratio d'au moins deux tiers de la résistance thermique totale de la paroi au-dessous du plancher et d'au plus un tiers au-dessus.

Le film d'interposition entre le panneau et la dalle de compression assure une fonction pare-vapeur pour protéger des risques de condensation dans l'épaisseur du plancher bois.

### 6.2.5.3. • Isolation acoustique

#### Traitement en sous-face

Le traitement en sous-face présente les avantages suivants :

- sa mise en œuvre est relativement simple ;
- il permet le passage de gaines ;
- il offre une large possibilité de parements et de finitions.

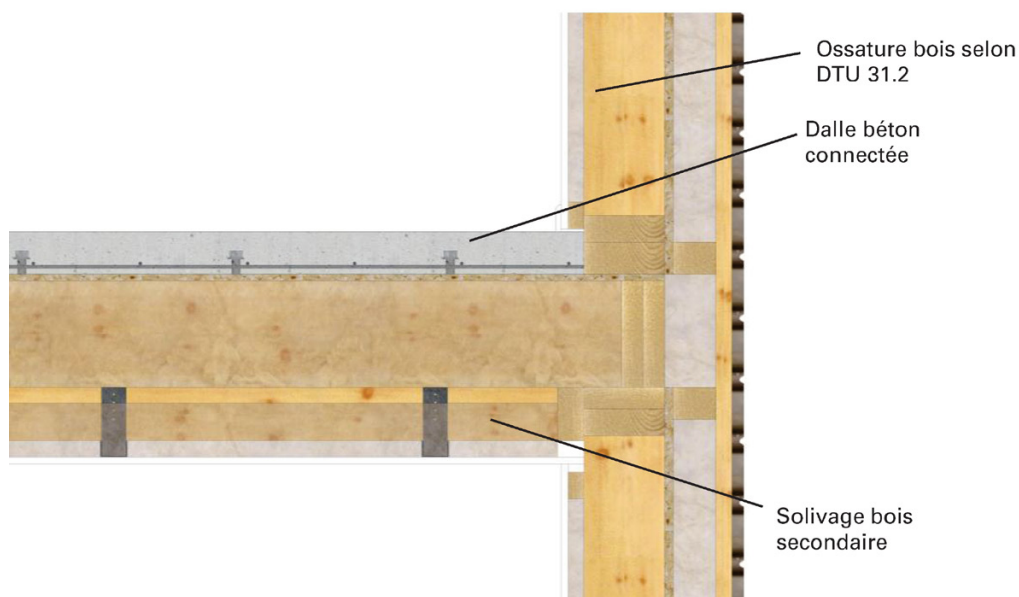
D'une manière générale, les performances acoustiques d'un plafond peuvent être améliorées :

- en augmentant la hauteur du plénum ;
- en augmentant l'épaisseur de matériau absorbant dans le plénum ;
- en augmentant l'épaisseur des parements ;



- en limitant, dans la mesure du possible, le nombre de points de fixation ;
- en utilisant des suspentes souples ou anti-vibratiles.

La réalisation d'une double ossature, avec un solivage secondaire indépendant du plancher servant de support de plafond, constitue également une solution efficace.



▲ Figure 23 : Plancher avec solivage secondaire sur muraillière supportant l'isolation acoustique

### Isolation rapportée sur le plancher

Une désolidarisation doit être assurée en périphérie avec une remon-tée d'isolant (isolant ou bande de désolidarisation) au-dessus du sol fini.

Les isolants en plaques ou en panneaux doivent être posés bord à bord.

# Conception et dimensionnement

# 7



Le choix entre une chape béton traditionnelle sur plancher bois et un plancher mixte connecté est souvent dicté par la résistance recherchée. Particulièrement en réhabilitation, la réaffectation des pièces peut conduire à une augmentation des charges sur le plancher et donc à la nécessité d'en augmenter sa rigidité. Le dimensionnement des planchers mixtes bois-béton présente des particularités du fait de la prise retardée du béton sur le solivage bois. Au stade de la phase provisoire, seules les sections bois sont aptes à reprendre des charges. Le durcissement du béton crée ensuite une section mixte bois-béton permettant de reprendre les charges appliquées postérieurement et de reporter les charges dues à une dépose de l'étalement éventuel.

Les paragraphes suivant détaillent les vérifications à effectuer en phase provisoire d'une part et en phase définitive d'autre part.

## 7.1. • Stabilité en phase provisoire

### 7.1.1. • Possibilité d'étalement

#### Cas des structures non étayées en phase provisoire

Un chargement réalisé avant la prise de la connexion ne peut induire de sollicitations dans la poutre mixte. Effectivement, l'établissement des contraintes se fait avant le durcissement du béton et ne sollicite que le bois.

Une fois la résistance du béton établie, la connexion est effective et les nouvelles charges ont une action sur la poutre mixte.

À titre d'exemple, les charges de type poids propre incluant le poids du béton frais engendrent des sollicitations qui ne créent des

contraintes qu'au sein du bois. Quant aux charges d'exploitation et aux charges permanentes complémentaires intervenant après durcissement du béton, elles créent des contraintes dans la section mixte complète (bois et béton).

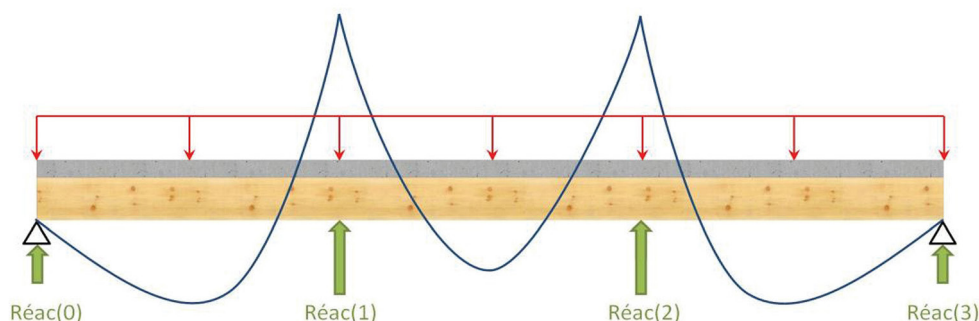
### Cas des structures étayées en phase provisoire

L'application d'une partie des charges avant constitution de la section mixte (poids propre des solives, des charges de construction...) peut conduire à un surdimensionnement du solivage dû à la phase provisoire. Un étaieement peut ainsi être prévu afin d'éviter ce phénomène.

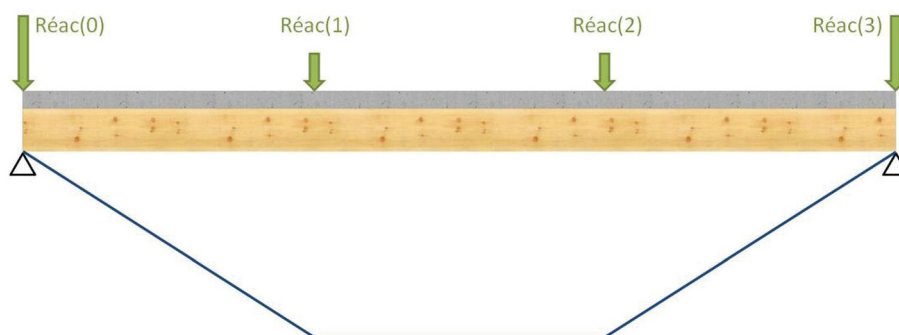
Pour dissocier la part des sollicitations agissant sur le bois seul et sur la section mixte complète, il est nécessaire de réaliser un calcul en deux étapes :

- 1) en phase de construction, le chargement de la poutre bois seule engendre des sollicitations hyperstatiques ;
- 2) après séchage de la dalle béton, l'enlèvement des étais engendre un report des charges sur la section mixte bois-béton isostatique. Il est alors d'usage de considérer que ces charges à reporter sont ponctuelles et d'intensité correspondant aux réactions d'appui aux anciens emplacements des étais.

#### Moment (1) agissant sur le bois en phase provisoire



#### Moment (2) agissant sur la section mixte à l'enlèvement des étais



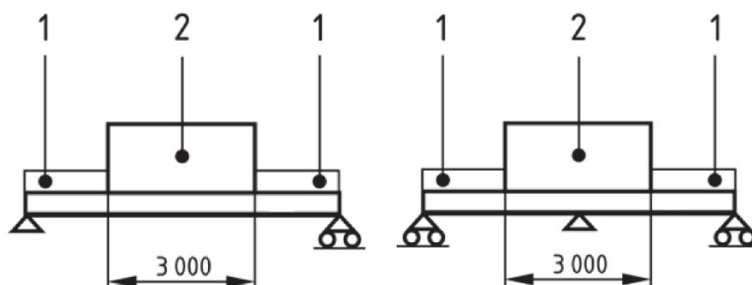
▲ Figure 24 : Charges reprises par le solivage en conditions hyperstatiques. Report des charges après enlèvement des étais

## 7.1.2. • Charges appliquées en phase provisoire

Les charges à prendre en compte lors de la mise en œuvre sont les suivantes :

- Poids des panneaux de coffrage exprimé en daN/m<sup>2</sup> ; Cette charge uniformément répartie est calculée à partir de la masse volumique moyenne des panneaux.
- Poids propre des poutres bois en daN/m<sup>2</sup> : Cette charge uniformément répartie est calculée à partir de la masse volumique moyenne du bois.
- Poids propre du béton coulé en place exprimé en daN/m<sup>2</sup> de plancher ;
- Sollicitations dues aux charges de construction

Les charges dites de construction sont définies de la façon suivante :



▲ Figure 25 : Charges dites de construction

- **Zone 1** : 0,5 kN/m<sup>2</sup>, charge appliquée à l'extérieur de l'aire de travail, avec un coefficient de combinaison  $\psi_{0,2} = 0,6$  ;
- **Zone 2** : 1,5 kN/m<sup>2</sup>, charge appliquée sur l'aire de travail de dimensions en plan 3m x 3m.

Les charges à prendre en compte lors de la mise en œuvre sont définies ci-après :

G : Poids des solives bois + poids des panneaux exprimés en daN/m<sup>2</sup> ;

$Q_{co}$  : Poids propre du béton coulé en place exprimé en daN/m<sup>2</sup> de plancher ;

$Q_s$  : Sollicitations dues aux charges de construction, définies comme la combinaison de deux actions

$$Q_s = E \{ Q_{s1} + \psi_{0,2} Q_{s2} \}$$

avec :

- $Q_{s1} = 1.5 \text{ kN/m}^2$ , charge appliquée sur une aire de travail de dimensions en plan 3m x 3m ;
- $Q_{s2} = 0,5 \text{ kN/m}^2$ , charge appliquée à l'extérieur de la zone de travail, avec un coefficient de combinaison  $\psi_{0,2} = 0,6$

- $Q'_{co}$ : Poids du béton de chantier en intégrant l'accumulation de béton du fait de la déformation du panneau sous la combinaison de charges  $E\{G+Q_{co}+Q_s\}$
- $Q''_{co}$ : Poids du béton de chantier en intégrant l'accumulation de béton du fait de la déformation des poutres sous la combinaison de charges  $E\{G+Q_{co}\}$

L'accumulation du béton du fait de la déformation du panneau d'une part et des poutres d'autre part est calculée en ajoutant une surépaisseur fictive de béton, uniformément répartie, valant  $0,7 f$ ,  $f$  étant le fléchissement à mi-portée du panneau ou de la poutre déterminé sans la surépaisseur.

Ce fléchissement à la pose peut être évalué par l'expression suivante :

$$f = k_f \frac{5g\ell^4 \cdot 10^6}{384E_{b,0}I_b}$$

$f$  étant la flèche (en cm), avec :

- $\ell$  : portée entre appuis et/ou étais éventuels (en m) ;
- $g$  : charge permanente du plancher (en daN/m<sup>2</sup>) ;
- $E_{b,0}$  : module d'élasticité du bois sous chargement court terme (en Mpa) ;
- $I_b$  : moment d'inertie de la section de solive ;
- $k_f$  : coefficient fonction du nombre de travées entre appuis et étais éventuels, valant :
  - 1 pour 1 travée,
  - 0,42 pour 2 travées égales,
  - 0,52 pour 3 travées égales,
  - 0,49 pour 4 travées égales.

### Combinaisons pour les vérifications de sécurité des poutres (moment et effort tranchant) :

$$E\{1,35 G + 1,35 Q'_{co} + 1,50 Q_{s,1} ; + 1,50 \psi_{0,2} Q_{s,2}\}$$

Pour la vérification des critères de sécurité, le système de charges  $Q_s\{Q_{s1}; Q_{s2}\}$  est disposé dans la situation la plus défavorable.

- -Déformation :

$$E\{G+Q''_{co}\}$$

- -Intégrité :

$$E\{G+Q_{co}+Q_s\}$$

## Justification particulière des platelages

Dans un souci de sécurité lors de la circulation sur les platelages en phase chantier, les éléments de platelage ne doivent pas rompre sous l'effet d'une charge ponctuelle  $Q_k$  de 150 daN au minimum (vérification ELU selon Annexe B de la norme NF EN 12871).

La charge n'est pas supposée bouger pendant une période comprise entre 1 semaine et 6 mois. La charge ponctuelle est donc associée à une durée de charge de moyen terme.

Les valeurs de  $k_{mod}$  seront prises en conséquence pour chaque type d'élément de platelage.

$$\frac{F_{max,k,0.05} \times k_{mod}}{\gamma_M \times k_{dis}} \geq Q_k$$

avec, selon la norme NF EN 12871 :

- $F_{max,k,0.05}$  : capacité résistante caractéristique au fractile à 5 % pour une charge concentrée à l'état limite ultime déterminée selon le §6 de la norme EN 12871;
- $k_{dis}$  : facteur de correction pour la conversion des charges d'essai, prenant en considération l'influence des dimensions et de la forme du poinçon selon Annexe A de la norme EN 12871.



**Dans le cas où la condition de résistance des coffrages ne serait pas vérifiée, des dispositions doivent être prises pour empêcher la circulation des intervenants sur le coffrage.**

### 7.1.3. • Vérifications des critères de résistance (ELU)

La vérification des critères de résistance est réalisée de façon classique telle que préconisée par l'Eurocode 5.

Le plancher bois doit être justifié pour les critères suivants :

- contraintes normales : vérification en flexion ;
- effort tranchant ;
- non déversement des poutres bois ;
- contrainte de compression perpendiculaire sur appui.

### 7.1.4. • Vérifications des critères de service (ELS)

Il est d'usage de limiter la flèche des solives et des platelages en phase provisoire à  $L/300$ . Des critères plus restrictifs peuvent être appliqués s'il est prévu que le platelage reste visible lors de l'exploitation du bâtiment.



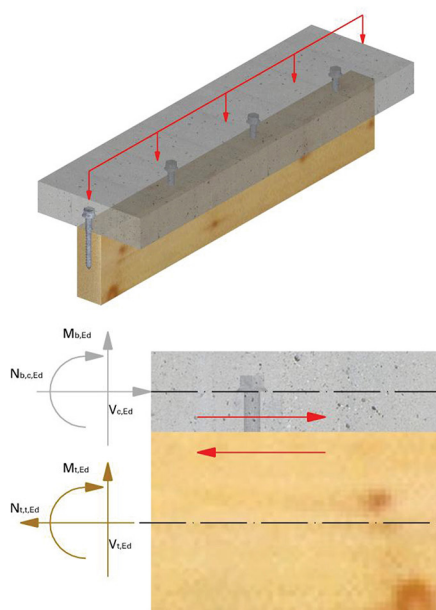
## 7.2. • Stabilité en phase définitive

D'un point de vue général, l'intérêt de connecter la table béton au solivage bois est de créer une section mixte dont la rigidité peut être calculée.

Chacune des parties de la section est dimensionnée pour la reprise d'une partie des efforts normaux, de l'effort tranchant et des moments appliqués sur la section (Figure 24). Un plancher mixte doit être dimensionné afin que chaque partie travaille au mieux des propriétés des différents matériaux à savoir :

- compression pour le béton ;
- traction pour le bois ;
- cisaillement pour la connexion.

De façon simplifiée, il est donc toujours conseillé de dimensionner la section afin que son axe neutre se trouve au niveau de l'interface bois-béton.

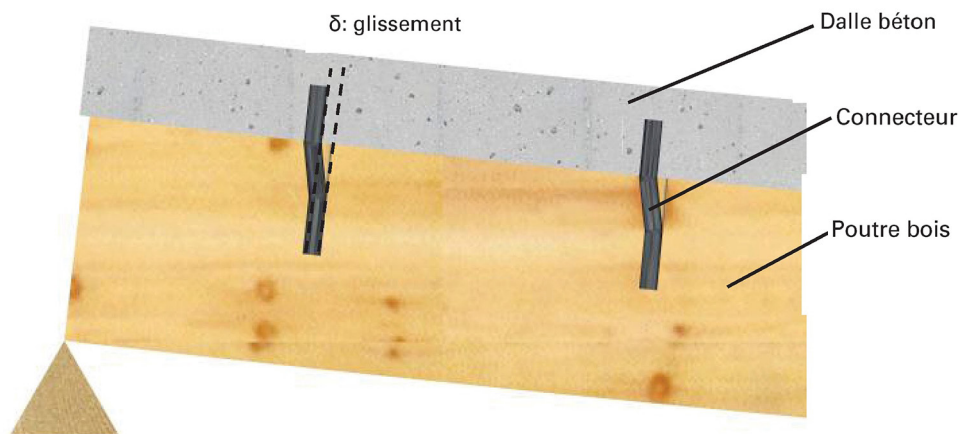


▲ Figure 26 : Sollicitation d'une section mixte bois-béton connectée ; M (moment dans les sections bois et béton), N (efforts normaux), V (efforts tranchants et tangents)

### 7.2.1. • Caractérisation de la connexion bois-béton

Quel que soit le type de connecteur utilisé pour la réalisation du plancher mixte, la connexion à l'interface bois-béton doit être considérée comme semi-rigide. Un glissement, même très faible, se produit à l'interface bois-béton et empêche de considérer la section comme étant homogène (Figure 27).





▲ Figure 27 : Glissement relatif à l'interface bois-béton

La caractérisation de la rigidité de cette connexion constitue le point particulier de chacune des techniques de planchers mixtes bois-béton. En général évaluée par essais ou par une combinaison calcul/essais, elle doit être communiquée par le fabricant au bureau d'études réalisant le dimensionnement sous forme :

- d'une rigidité considérée aux états limites de service (ELS) :  $K_{ser}$  en N/mm à court et long terme ;
- d'une rigidité considérée aux états limites ultimes (ELU) :  $K_u$  en N/mm à court et long terme.

L'utilisation de tirefonds conformes à la norme NF EN 14592 en tant que connecteurs permet l'utilisation d'une valeur de  $K_{ser}$  déterminée selon la NF EN 1995-1-1, §7.1. La valeur de  $K_{ser}$  est calculée sur la base de la masse volumique moyenne puis multipliée par 2,0.

Les facteurs influençant la rigidité de connexion sont :

- la qualité du bois : essence et classe de résistance dont l'influence sur la portance locale du bois, c'est-à-dire sa capacité à résister à la pénétration du connecteur perpendiculairement à son axe, est importante ;
- l'implantation du connecteur dans le bois (profondeur d'ancrage, type de fixation) ;
- la classe de résistance du béton ;
- l'implantation du connecteur dans le béton (géométrie et surface de connexion noyée dans le béton) ;
- dans le cas où le platelage est continu sur les solives, l'épaisseur du platelage influence à la baisse la rigidité de connexion. En effet, l'épaisseur de platelage est considérée comme non travaillante et la longueur de tige correspondant à l'épaisseur de platelage n'est maintenue ni dans le bois ni dans le béton.





▲ Figure 28 : Platelage continu sur solivage

### 7.2.2. • Calcul de la rigidité de section

Les rigidités de connexion fournies par le fabricant de connecteurs sont utilisées afin de déterminer la rigidité efficace de la section mixte et l'effort de cisaillement à reprendre par la connexion.

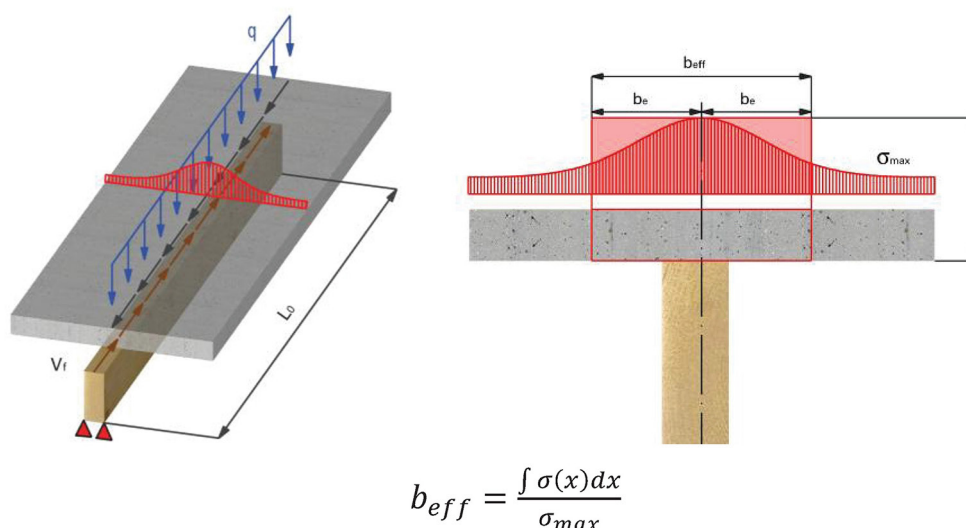
De nombreuses méthodes peuvent être employées pour le calcul de la rigidité de section mixte.

La méthode décrite dans l'annexe B de la norme NF EN 1995-1-1, dite méthode d'Heimeshoff, est actuellement la plus utilisée et la plus reconnue en France.

De manière simplifiée, la méthode de la NF EN 1995-1-1 considère le plancher comme une succession de poutres en T devant reprendre une partie de la charge. Chacune de ces poutres en T est constituée d'une solive bois et d'une largeur de table béton dite « largeur efficace ».

La largeur efficace  $b_{\text{eff}}$  est définie selon le phénomène de traînée de cisaillement au sens de la norme NF EN 1994-1-1.

Il s'agit du ratio entre le flux de cisaillement total entre deux solives successives et la valeur du cisaillement maximal sur appui (Figure 29).

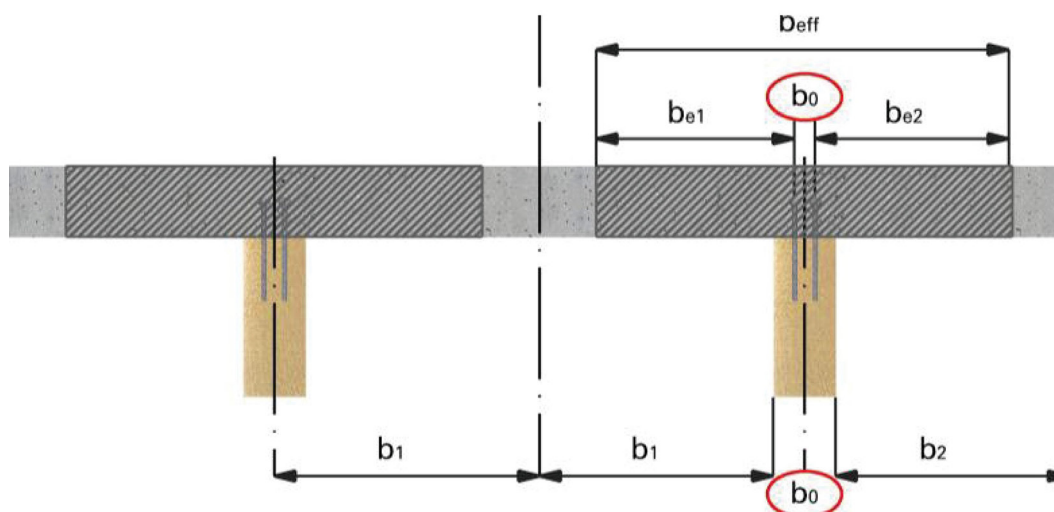


▲ Figure 29 : Trainée de cisaillement dans les planchers mixtes connectés

### Largeur efficace

Le dimensionnement débute donc par la définition d'une largeur efficace ( $b_{eff}$ ) pouvant être calculée par la méthode décrite dans la norme NF EN 1994-1-1.

Ce calcul est nécessaire afin de déterminer la section de béton à considérer dans la détermination de la rigidité de section.

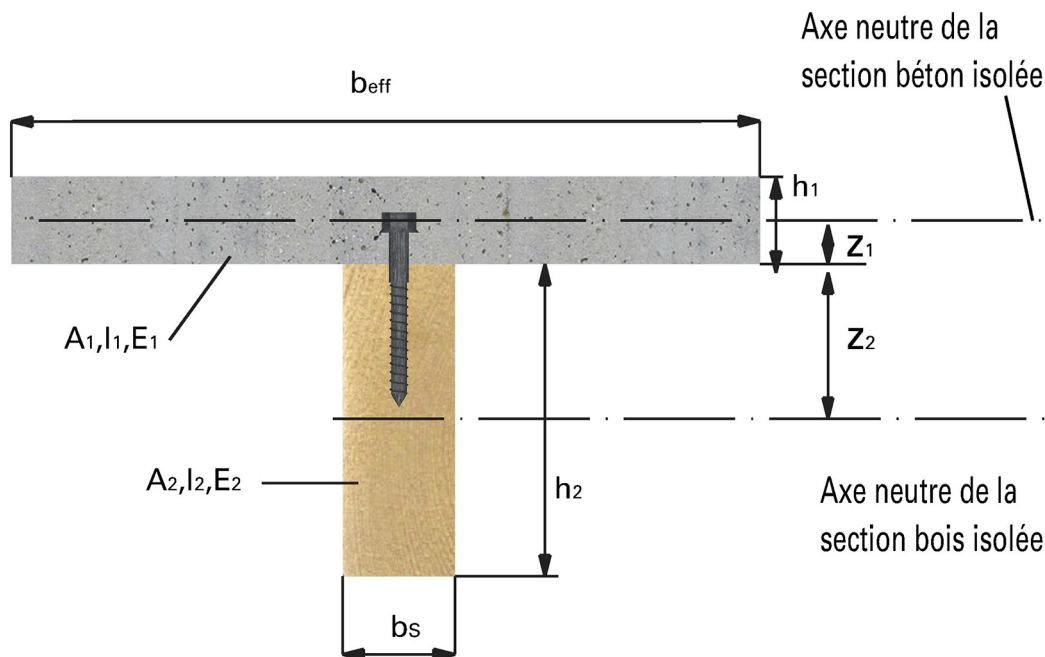


$$b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei}$$

$$\beta_i = \left( 0.55 + 0.025 \frac{L_e}{b_{ei}} \right) \leq 1,0$$

▲ Figure 30 : Largeur efficace

## Exemple d'application de la méthode de l'annexe B de la NF EN 1995-1-1 pour le calcul de rigidité de la section



▲ Figure 31 : Données géométriques pour le calcul de rigidité de section

### Béton

$b_{eff}$  : 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 (mm<sup>2</sup>).  
 $I_1$  : moment d'inertie de la section de béton considérée (mm<sup>4</sup>).  
 $z_1$  : distance reliant le centre de la section de béton à l'axe neutre (mm).  
 $E_{1,0}$  : module d'élasticité moyen du béton sous chargement court terme (N/mm<sup>2</sup>).  
 $E_{1,\infty}$  : module d'élasticité du béton sous chargement permanent (N/mm<sup>2</sup>).

### Bois

$b_2$  : 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 (mm<sup>2</sup>).  
 $I_2$  : moment d'inertie de la section de bois considérée (mm<sup>4</sup>).  
 $z_2$  : distance reliant le centre de la section de bois à l'axe neutre.  
 $E_{2,0}$  : module d'élasticité moyen du bois sous chargement court terme (N/mm<sup>2</sup>).  
 $E_{2,\infty}$  : module d'élasticité du bois sous chargement permanent (N/mm<sup>2</sup>).

## Rigidité efficace de la section mixte ( $EI_{eff}$ ) selon l'annexe B de la NF EN 1995-1-1

Il est à noter que la rigidité efficace de section varie au cours du temps. Des valeurs de rigidité à court terme ( $EI_{eff,0}$ ) et à long terme ( $EI_{eff,\infty}$ ) sont à utiliser selon les phases de calcul.

### Chargement court terme

$$(EI)_{eff,0} = \sum_{i=1}^2 (E_{i,0}I_i + \gamma_i E_{i,0}A_i z_i^2)$$

avec :

$$\gamma_1 = \left[ 1 + \pi^2 E_1 A_1 s / (K_{ser} L_{eff}^2) \right]^{-1}$$

- $\gamma_2 = 1$

avec :

- $S$  : espacement des connecteurs (mm),
- $L_{\text{eff}}$  : portée efficace (m),
- $K_{\text{ser}}$  : raideur unitaire de la connexion bois-béton par le connecteur considéré (N/mm) ;

et :

$$z_1 = \frac{\gamma_2 E_2 A_2 \frac{(h_1 + h_2)}{2}}{\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2}$$

$$z_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 \frac{(h_1 + h_2)}{2}}{\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2}$$

## Chargement long terme

La rigidité de section doit être recalculée pour les chargements permanents en tenant compte des fluages différenciés des parties bois et béton ainsi que de la diminution de raideur de la connexion elle-même.

L'expression de la rigidité devient donc :

$$(EI)_{\text{eff},\infty} = \sum_{i=1}^2 (E_{i,\infty} I_i + \gamma_i E_{i,\infty} A_i z_i^2)$$

avec :

- $E_{\text{mean},\text{bois},\infty} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}$
- $E_{\text{béton},\infty} = \frac{E_c}{(1 + \psi_2 \phi(t, t_0))}$

avec :

- $t = \infty$  et  $t_0$  = mise en charge ;
- $\phi$  : coefficient de fluage selon EN 1992-1-1 ;
- $k_{\text{def}}$  : coefficient de fluage selon EN 1995-1-1.

Pour la raideur de la connexion bois-béton sous chargement permanent, il n'existe pas aujourd'hui en France d'autre méthode reconnue que la détermination par essais.

D'autres pays ont cependant intégré des modèles à leurs codes de calcul nationaux. Nous citons ici à titre indicatif la formule de calcul utilisée en Allemagne.

$$K_{ser\ bois-béton, \infty} = \frac{K_{ser,0}}{(1 + \psi_2 \bar{k}_{def})}$$

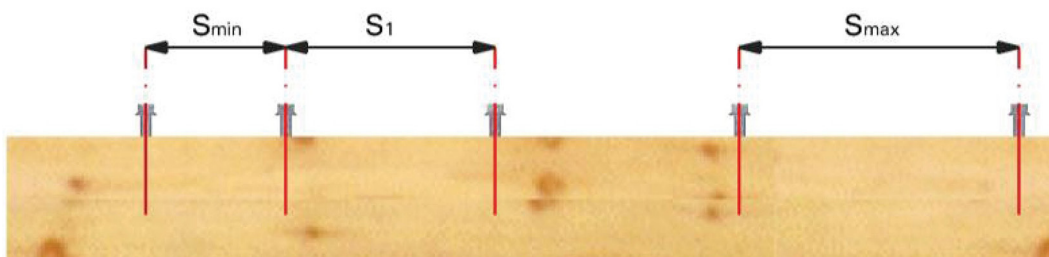
avec :

- $\bar{k}_{def} = \frac{(k_{def} + \phi(t, t_0))}{2}$
- $\Psi_2$  selon NF EN 1995-1-1 relatif à l'action générant le plus de contrainte dans les éléments (= 1 pour les charges permanentes).

La méthode de l'annexe B de la norme NF EN 1995-1-1 présente cependant l'inconvénient de reposer sur des hypothèses fortes et contraignantes :

- poutre isostatique ;
- connexion constante ou variant linéairement tout au long de la poutre. La (Figure 30) illustre les limites d'implantation des connecteurs admises par la méthode de la NF EN 1995-1-1 ;
- modèle valable pour un chargement sinusoïdal (étendu au chargement uniforme).

S Espacement constant ou variant linéairement (Heimeshoff)



$$S_{max} \leq 4 \times S_{min}$$

▲ Figure 32 : Répartition des connecteurs à respecter dans les limites de validité du modèle de la NF EN 1995-1-1, annexe B



**Dans le cas où des charges concentrées de grande ampleur sont prévues dès la conception, une étude particulière est fortement conseillée. Des modifications de conception du plancher peuvent s'avérer nécessaires.**

Malgré les approximations que cette méthode peut introduire en dehors de ces hypothèses, elle reste néanmoins une méthode d'approche permettant de traiter les cas les plus fréquents.

### 7.2.3. • Vérifications des critères de résistance (ELU)

#### 7.2.3.1. • Charges appliquées

Les charges appliquées génèrent des moments et des efforts tranchants à prendre en compte sur la section mixte en phase définitive.

Dans le cas des vérifications ELU, les sollicitations suivantes sont à prendre en compte :

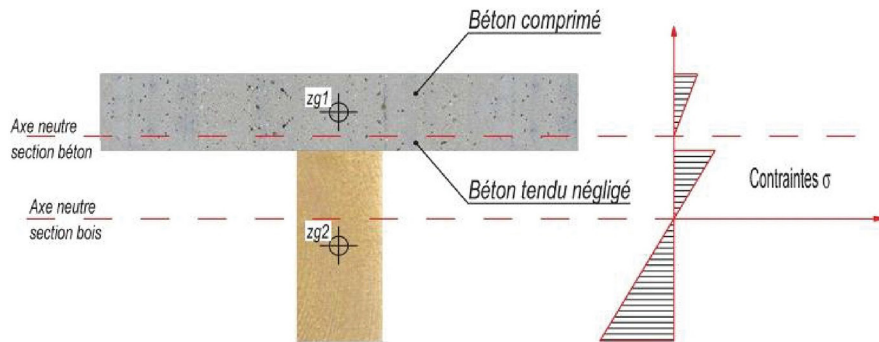
- moment et tranchant sous charges permanentes agissant sur le bois seul (à reporter sur la section mixte sous forme de charge ponctuelle en cas de dépose de l'étalement) ;
- moment et tranchant sous charges permanentes agissant sur la section mixte ;
- moment et tranchant sous charges d'exploitation à caractère instantané ;
- moment et tranchant sous charges d'exploitation à caractère permanent (cloisons et revêtement mis en œuvre après durcissement du béton par exemple).

#### 7.2.3.2. • Contraintes normales

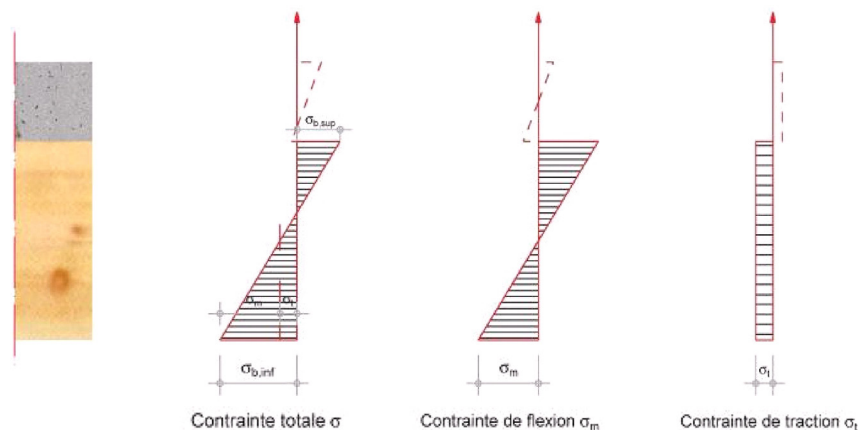
Le comportement en flexion d'un plancher mixte doit être compris comme les comportements séparés de la dalle béton et du solivage bois reliés par une connexion semi-rigide. Dans le cas d'efforts de flexion, les maximums des contraintes sont atteints en surface des poutres.

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.

## Sections bois : vérification en traction et flexion combinée selon NF EN 1995-1-1



▲ Figure 33 : Répartition des contraintes de flexion



▲ Figure 34 : Décomposition des contraintes aux ELU dans la section bois

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

où :

- $\sigma_{t,d}$  est la composante de traction de la contrainte sollicitant le bois,
- $\sigma_{m,d}$  est la composante de flexion de la contrainte sollicitant le bois ;

avec :

- contrainte de traction :  $\sigma_{t,d} = \frac{\gamma_2 \times E_2 \times z_2 \times M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$



- contrainte de flexion :  $\sigma_{m,d} = \frac{0,5 \times E_2 \times h_2 \times M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$

avec :

- $f_{t,0,d}$  : résistance de dimensionnement en traction du bois,
- $f_{m,d}$  : résistance de dimensionnement en flexion du bois,
- $M_0$  : moment de flexion de calcul maximal.

Dalle béton : vérification des sections des armatures,  
et de la contrainte de compression du béton  
selon NF EN 1992-1-1

On se rapporte aux vérifications usuelles d'une poutre type béton armé vis-à-vis des sollicitations de flexion au sens de la NF EN 1992-1-1.

## Limitation de la contrainte de compression du béton (selon la classe de béton choisie)

$$\sigma_{c,d} \leq f_{c,d}$$

où :

- $\sigma_{c,d}$  est la contrainte de compression dans le béton ;
- $f_{c,d}$  est la résistance de calcul du béton à la compression.

## Justification des armatures anti-fissurations

avec :

- $\sigma_{cd} = \sigma_{n,1} + \sigma_{m,1}$  (compression maximale au sommet de la dalle) :
- $\sigma_{n,1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_{1,0} \times z_1 \times M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$
- $\sigma_{m,1,d} = \frac{0,5 \times E_{1,0} \times h_1 \times M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$
- $\sigma_{md} = \sigma_{n,1} - \sigma_{m,1}$  (traction maximale absorbée par l'armature dans la dalle collaborante).

### 7.2.3.3. • Justification à l'effort tranchant

Le dimensionnement est le plus souvent réalisé de façon à avoir un maximum d'effort de cisaillement au niveau de la connexion bois-béton. Cette pratique de conception ne dispense cependant pas de justifier chaque matériau indépendamment vis-à-vis de l'effort tranchant.

## Solives bois

On vérifie que :

$$\frac{\tau_{v,0,2,d}}{f_{v,0,2,d}} \leq 1$$

avec :

- $f_{v,0,d,2}$  : résistance de dimensionnement en cisaillement du bois ;
- $f_{v,0,2,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,0,2,k}}{\gamma_M}$  ;
- $\tau_{v,0,2,d} = \frac{E_2 \times h_2^2 \times V_0}{2(EI)_{\text{eff}}}$  ;
- $V_0$  : effort tranchant maximal de dimensionnement.

## Dalle béton

### Vérification de la compression des bielles de béton

Afin d'éviter l'écrasement des bielles de compression de la dalle, il convient de vérifier selon la norme EN 1992-1 :

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

avec  $\theta_f$  respectant les limites:

- $1,0 \leq \cot \theta_f \leq 2,0$  pour les membrures comprimées ( $45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ$ )
- $1,0 \leq \cot \theta_f \leq 1,25$  pour les membrures tendues ( $45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ$ )

Coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant

$$v = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

avec  $f_{ck}$  en Mpa.

### Vérification des sections des armatures de reprise d'effort tranchant selon les dispositions de la NF EN 1994-1-1.

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 :

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



où :

- $h_1$  est l'épaisseur de la membrure à la jonction ;
- $\Delta x$  est la longueur considérée ;
- $\Delta F_d$  est la variation de l'effort normal dans la membrure sur la longueur  $\Delta x$  ;
- $\Delta x = l/4$  (NF EN 1992, §6.2.4.3) ;
- $\Delta F_d$  = nombre de connecteurs en  $\Delta x$  pour une force par connecteur divisée par 2.

L'aire de la section des armatures transversales par unité de longueur,  $A_{sf}/s_f$ , doit reprendre la ruine à l'effort tranchant  $T = v_{Ed} \cdot h_1 / \cot \theta_f$ .

L'inégalité suivante doit être vérifiée :

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

De façon simplifiée, les armatures minimales sont définies selon NF EN 1994 (§6.6.6.3), qui renvoie à la NF EN 1992 (§9.2.2 (5)).

Selon NF EN 1994, le taux d'armatures d'effort tranchant est donné par :

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

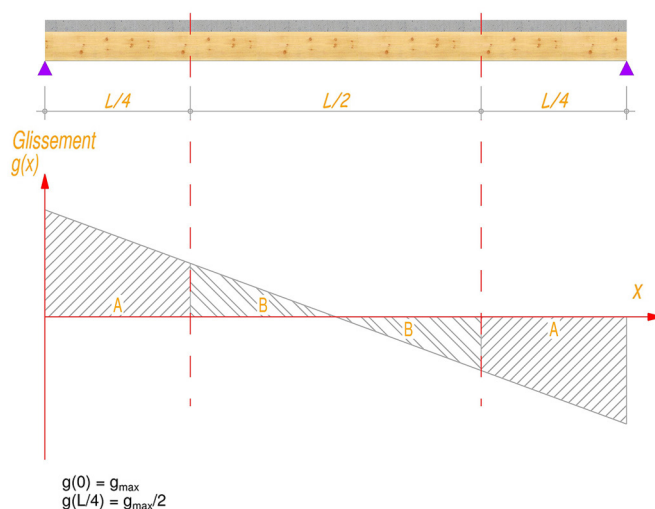
où :

- $\rho_w$  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 ;
- $\alpha$  est l'angle entre les armatures d'effort tranchant et l'axe longitudinal.
- $\rho_{w, \min} = (0,08 \sqrt{f_d}) / f_{yk}$

## Connecteurs

Les efforts de cisaillement dans la section sont repris par la connexion métallique entre le béton et le bois. Étant donné la répartition des efforts de cisaillement dans une poutre isostatique, il est d'usage d'implanter un nombre de connecteurs plus important à proximité des appuis qu'en milieu de travée. Le nombre et l'espacement des connecteurs sont déterminés en fonction du glissement dans les différentes parties de la poutre. Une répartition de connecteurs correspondant exactement au flux de cisaillement à reprendre peut être envisagée.

Dans un objectif de simplification, il est en général d'usage de découper la poutre en trois (Figure 35) et de respecter un espacement constant des connecteurs dans ces parties.



▲ Figure 35 : Répartition des contraintes de cisaillement le long d'une poutre

L'effort de cisaillement effectivement exercé sur le connecteur est fonction de la rigidité de connexion. Il existe un grand nombre de méthodes permettant d'appréhender la charge sur chaque organe de liaison. L'annexe B de la norme NF EN 1995-1-1 décrit une méthode usuelle et reconnue pour ce dimensionnement.

Il convient ainsi de vérifier que la résistance de calcul de la connexion  $R_{v,Ed}$  est supérieure à l'effort de cisaillement  $F_{v,Ed}$  :

$$\frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Ed}} \leq 1$$

avec :

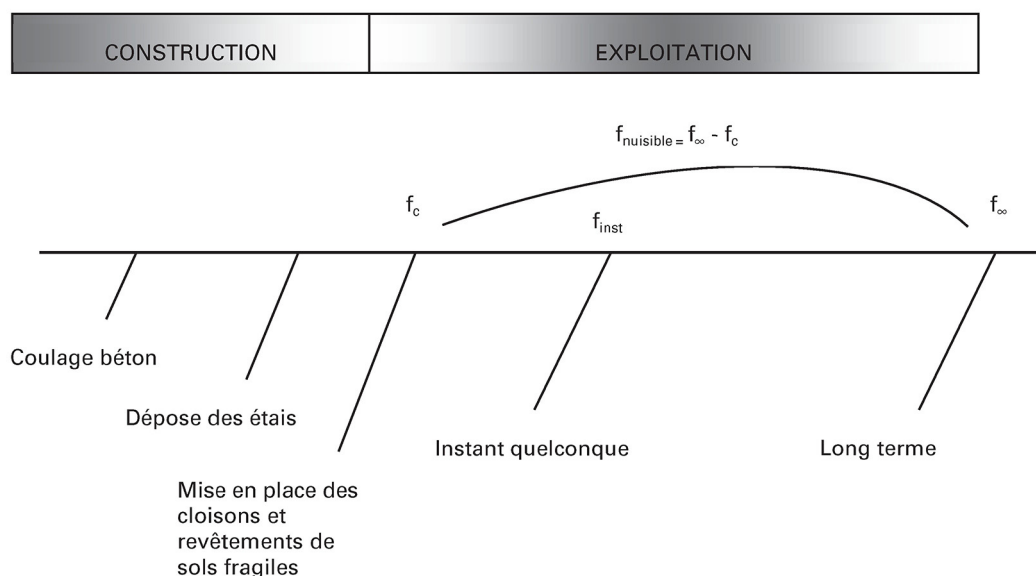
$$F_{v,Ed} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times z_1 \times s \times V_0}{(EI)_{eff}} \quad [N]$$

La résistance de calcul de la connexion bois-béton  $R_{v,Ed}$  doit être déterminée par une série d'essais de cisaillement menés jusqu'à la ruine. Cette valeur est donnée par le fabricant de connecteurs, qui indique également pour quelle valeurs minimales de classe de béton et de bois cette valeur est valable.

## 7.2.4. • Vérification des critères de service (ELS)

### 7.2.4.1. • Charges appliquées

Les flèches à court et long terme résultent de l'application successive des charges en phase provisoire et en phase définitive. La (Figure 36) récapitule cet historique de chargement.



▲ Figure 36 : Historique d'évolution de la flèche au cours du chargement

Les charges appliquées génèrent des moments à prendre en compte sur la section mixte en phase définitive pour le calcul des flèches.

Chaque sollicitation génère une flèche instantanée ainsi qu'une flèche à long terme si cette charge a un caractère permanent. Une attention particulière doit être portée pour chaque sollicitation sur la section effective de reprise et sur la rigidité à prendre en compte (court ou long terme).

Dans le cas des vérifications ELS, les sollicitations présentées au (Tableau 3) sont à prendre en compte.

Flèche	Phase – type de charge	Rigidité de calcul
$f_1^i$	Phase provisoire – charges permanentes nouvelles	$(EI_b)^i$
$f_2^\infty$	Phase provisoire – charges permanentes conservées	$(EI_b)^i$
$f_3^i$	Phase définitive – charges permanentes sans cloisons et revêtements fragiles	$(EI_{eff})^i$
$f_3^\infty$	Phase définitive – charges permanentes sans cloisons et revêtements fragiles	$(EI_{eff})^\infty$
$f_4^\infty$	Phase définitive – charges permanentes avec cloisons et revêtements fragiles	$(EI_{eff})^\infty$
$f_5^i$	Phase définitive – charges d'exploitation court terme	$(EI_{eff})^i$
$f_5^\infty$	Phase définitive – charges d'exploitation long terme	$(EI_{eff})^\infty$

Indice i = instantanée, indice ∞ = long terme.  
 $(EI)_b$  = rigidité du bois seul en phase provisoire.  
 $(EI)_\infty$  = rigidité de la section mixte.

▲ Tableau 3 : Sollicitations induisant des flèches à court et long terme

Les flèches intervenant dans le dimensionnement sont calculées à partir des flèches correspondant à chaque sollicitation.

- Flèche finale (avec fluage)

$$f_{\text{finale}} = f_1^i + f_2^\infty + f_3^\infty + f_4^\infty + \psi_2 \cdot f_5$$

*En réhabilitation avec étaielement on considère souvent que  $f_2^\infty = 0$  (seule l'augmentation de flèche nouvelle est prise en compte).*

- Flèche instantanée

$$f_{\text{inst}} = f_5^i$$

- Flèche avant la mise en œuvre des cloisons et revêtements fragiles

$$f_c = f_1^i + f_2^\infty + f_3^i$$

- Flèche nuisible

$$f_{\text{nuisible}} = f_{\text{finale}} - f_c(x)$$

#### 7.2.4.2. • Critères de flèche à respecter

Les Eurocodes 2 (béton) et 5 (bois) proposent de limiter la flèche correspondant aux exigences de confort d'usage, de fonctionnement et d'aspect par les valeurs limites données dans le (Tableau 4).

	Eurocode 2 – Calcul des structures en béton	Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois	Critères de flèche proposés
Flèche instantanée (sous charge d'exploitation court terme) $f_{\text{inst}}$	-	L/300	<b>L/300</b>
Flèche finale (incluant le fluage) $f_{\text{finale}}$	L/250	L/200	<b>L/250</b>
Flèche active ou nuisible $f_{\text{nuisible}}$	L/500	-	<b>L/500</b>

▲ Tableau 4 : Limites de flèche conseillées pour les planchers mixtes bois-béton

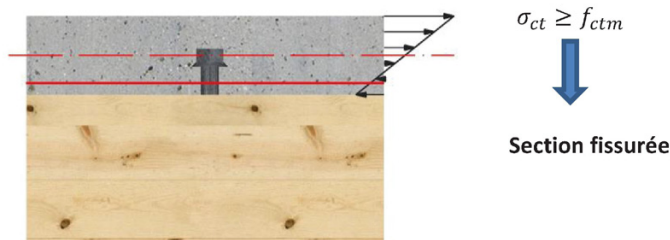
#### 7.2.5. • Continuité sur appuis et fissuration de la dalle béton

##### Cas de la continuité sur appuis solive + dalle béton

Les modèles de calcul classiques considèrent le plus souvent les poutres comme étant isostatiques. Ceci a pour effet de majorer les moments agissant sur les sections, et donc de dimensionner les sections de façon sécuritaire. Cette approche est notamment à la base de la méthode de l'annexe B de la NF EN 1995-1-1

Le cas de la continuité sur appuis est cependant très classique sur chantier et nécessite des vérifications complémentaires. En effet, l'apparition d'un moment négatif sur un appui tend à faire fissurer le béton en partie haute.

Les zones vérifiant l'inégalité exprimées en (Figure 37) sont considérées comme fissurées.



avec :

$\sigma_{ct}$  = contrainte de traction générée dans le béton sur appuis en situation hyperstatique, ;

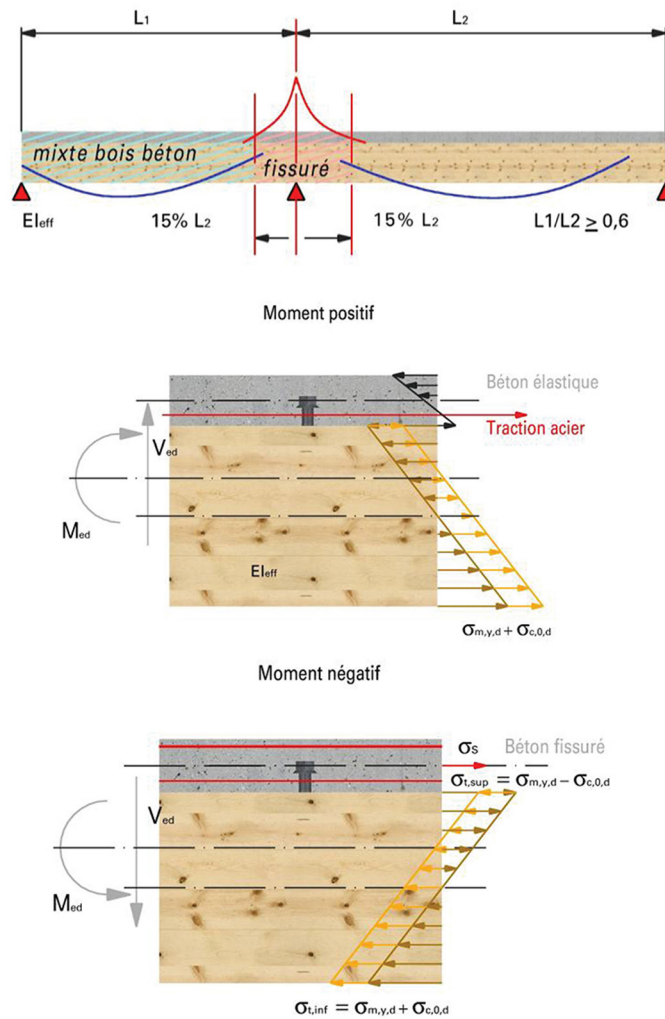
$f_{ctm}$  = résistance moyenne en traction du béton.

▲ Figure 37 : Conditions de fissuration de la table béton

Il est d'usage de considérer que la zone fissurée concerne 15 % des portées adjacentes dans la mesure où celles-ci respectent un rapport de leurs longueurs compris entre 0,8 et 1,2 (Figure 37).

À moins que le type de connexion n'ait fait l'objet d'essais renseignant sur le comportement mixte en cas de moment négatif, l'appui de continuité peut être justifié simplement comme une zone où le bois et le béton sont déconnectés. Un ferrailage en chapeau doit alors être prévu sur appui afin de reprendre un moment négatif équivalent à 0.30  $M_o$ ,  $M_o$  étant le moment maximum de la travée adjacente calculée en isostatique.





▲ Figure 37 : Inversion de moment sur un appui et fissuration en cas de continuité bois + béton sur les appuis

### Cas de la continuité de la dalle béton sur appuis associée à une discontinuité du solivage bois

Ce cas fréquemment rencontré sur chantier est assez complexe du point de vue dimensionnement.

En effet, la continuité de la dalle béton, y compris entre les abouts des solives bois sur appuis, tend à générer un fonctionnement en continuité de la section.

Dans ce cas également, il est d'usage que les planchers soient justifiés intégralement en isostatique.

Pour réduire les risques de fissuration sur les appuis, il convient de prévoir des armatures supérieures capables d'équilibrer un moment égal à  $0.30 M_o$  et de respecter un rapport de portées successives compris entre 0.8 et 1.2. La section  $0.3 M_o$  est reprise soit par une section bois-béton, soit par une section béton.

La justification par la section béton uniquement engendre cependant souvent une augmentation de l'épaisseur de la table béton afin de

respecter les épaisseurs d'enrobage des aciers allant à l'encontre de l'intérêt d'utilisation de cette technique.

Pour utiliser une section bois-béton, le joint entre les extrémités des solives bois doit avoir une largeur supérieure ou égale à  $30 \text{ mm} + h/8$ ,  $h$  correspondant à la hauteur de béton dans la nervure prise en compte dans la vérification.

Dans tous les cas, la continuité de la dalle béton appliquée sur un solivage bois discontinu doit, dans la mesure du possible, être évitée lors de la phase de conception.

### 7.2.6. • Dimensionnement en porte-à-faux

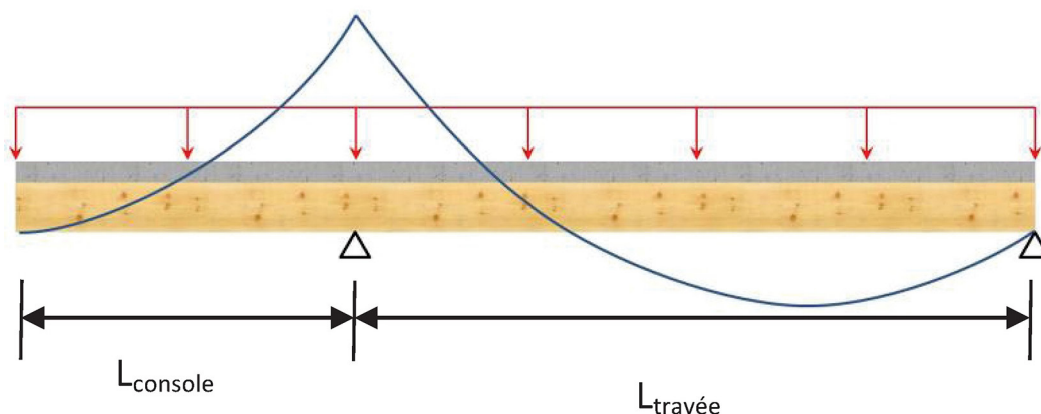
Le dimensionnement de consoles (en porte-à-faux) en utilisant des planchers connectés bois-béton pose le problème de la fissuration de la dalle en partie haute.

À moins que la connexion n'ait été caractérisée expérimentalement pour la reprise de moment négatif, des ouvrages de ce type sont à proscrire.

En faisant l'hypothèse d'une connexion caractérisée pour cet usage et bien qu'aucune méthode ne soit particulièrement reconnue aujourd'hui, un certain nombre de principes sécuritaires peuvent être adoptés.

Nous développons ici un exemple particulier de dimensionnement de console en considérant le cas d'un porte-à-faux repris par une travée sur appuis (exemple en (Figure 39). Pour une charge uniformément répartie sur l'ensemble console + travée de reprise, on constate que :

- le béton est intégralement tendu en partie haute sur la longueur de la console ;
- la partie de béton tendue est limitée environ au quart de la travée de reprise.



▲ Figure 39 : Diagramme du moment fléchissant  $L_{console} = L_{travée} / 2$  – Chargement uniforme et constant sur toute la longueur



Il est alors proposé de :

- vérifier l'absence de soulèvement sur l'appui extrême de la travée de reprise (moment toujours positif sur cet appui) ;
- justifier aux ELS et ELU la travée de reprise connectée comme si celle-ci ne comportait pas de console dans son prolongement (poutre sur 2 appuis, sans console). Le moment agissant est alors surévalué, ce qui place le dimensionnement du côté de la sécurité ;
- déterminer la connexion théorique nécessaire dans la console suivant la méthode de la norme NF EN 1995-1-1, annexe B, et en déduire des modules de flexion  $EI_{eff}$  sur les zones de moments positifs ;
- prévoir le ferrailage en chapeau de la zone soumise à un moment négatif ;
- calculer la flèche de la console en considérant l'inertie  $Eieff$  déterminée selon la norme NF EN 1995-1-1, annexe B, en fonction de la section d'armature mise en œuvre en partie supérieure dans la table fictive de béton tendu. Les critères limites de flèche sont les mêmes que pour une travée sur deux appuis de portée  $L$  en posant ici  $L = 2 \times L_{console}$ .



**Le cas de charge développé ci-dessus est un des plus simples pouvant être rencontré. D'autres cas (charge ponctuelle en extrémité de console par exemple) sont nettement plus complexes et ne peuvent pas être résolus à l'aide de la méthode la norme NF EN 1995-1-1, annexe B. Il est alors fortement conseillé de mener une campagne expérimentale permettant de préciser le comportement de l'ensemble.**

## 7.2.7. • Dimensionnement des trémies

### 7.2.7.1. • Cas des trémies de petites dimensions

Lorsque les réservations sont de taille réduite (comprises entre deux solives bois), l'influence des trémies et réservations dans la justification de la dalle de béton en flexion transversale doit être étudiée conformément aux principes applicables pour les dalles béton armé traditionnelles.

Il convient néanmoins d'être vigilant, notamment lorsque les trémies et réservations empiètent sur la largeur de table maximale autorisée par les règles. Le cas échéant, la largeur de calcul de la table doit être réduite de manière à prendre en compte l'absence de matière au droit de la réservation.

Par mesure conservatrice, il est d'usage de considérer que la table béton a une largeur réduite sur toute la longueur de la poutre.

### 7.2.7.2. • Cas des trémies de grandes dimensions

Lorsque les trémies dans la dalle de compression sont de dimensions telles qu'il n'est plus possible de justifier la dalle sans renforcement particulier de ses rives, un chevêtre devient nécessaire. Le chevêtre peut être une poutre mixte connectée, ou tout autre renfort de type bande noyée en béton armé ou poutre métallique. Les pièces du chevêtre reposent sur les poutres continues nommées alors enchevêtrures.

Les liaisons chevêtres/enchevêtrures s'effectuent de façon traditionnelle et leur dimensionnement doit être fait conformément à la norme NF EN 1995-1-1 :

- soit par sabots métalliques du commerce (capacités suivant la documentation du fournisseur ou du fabricant) ;
- soit par assemblage traditionnel bois-bois.

Lorsque le chevêtre est en bois et comporte lui aussi des connecteurs bois-béton, les vérifications des contraintes de cisaillement réalisées sur les poutres continues s'appliquent.

Lorsque le chevêtre vient se reporter sur une poutre mixte, il convient de justifier cette dernière en tenant compte du report de charge amené par le chevêtre. Ce report de charge sur l'enchevêtrure se traduit par une force ponctuelle correspondant à la réaction d'appui d'un chevêtre sur l'enchevêtrure.

En outre, les armatures de couture doivent être convenablement ancrées en rive des trémies et des réservations. Des armatures en U en acier HA placées verticalement ou des boucles à plat, peuvent par exemple être utilisées.

### 7.2.7.3. • Influence sur le calcul du diaphragme

Les planchers béton constituent des éléments horizontaux rigides formant diaphragme, c'est-à-dire qu'ils permettent la transmission des efforts horizontaux qui les sollicitent (charges d'exploitation, charges climatiques de vent, efforts sismiques, etc.) vers les éléments de contreventement verticaux.

La raideur horizontale des planchers peut être influencée par la présence de trémies si celles-ci sont importantes par rapport aux dimensions du diaphragme. Ainsi, leur influence sur la raideur et la répartition des sollicitations doit être appréhendée chaque fois qu'il est nécessaire par une étude spécifique (modèle poutre-voile, treillis plan, « coque » en éléments finis).

Certains textes peuvent toutefois permettre dans des cas simples de s'affranchir de modèles de calcul complexes.

Ainsi, par analogie avec les dalles pleines et planchers à prédalles béton et dans le cas des petits bâtiments justifiables par les règles PS-MI, le CPT plancher titre 2 indique que la fonction diaphragme est considérée assurée s'il existe une seule trémie dont chaque dimension

n'excède pas la moitié du plus petit côté du plancher et à condition que des armatures complémentaires soient disposées de chaque côté de la trémie, de section égale à celle des armatures coupées par la trémie.

Dans les autres cas (trémie de plus grandes dimensions ou plusieurs trémies), la fonction diaphragme est à justifier, comme dans le cas général. En outre, l'influence des trémies, dont le plus grand côté n'excède pas 50 cm de longueur, est négligée sur la fonction diaphragme.

Selon les recommandations de la Convention européenne de la construction métallique (CECM), si la surface des trémies est inférieure à 3 % de celle du plancher, l'effet des trémies sur la fonction diaphragme est considéré comme négligeable.

### 7.2.8. • Fatigue

Les justifications vis-à-vis de la fatigue sont à produire dans les cas spécifiques de sollicitations telles que l'application de charges roulantes. Ces cas restent peu fréquents aujourd'hui pour les planchers mixtes bois-béton hors ouvrages d'art. L'annexe A de la norme NF EN 1995-2 propose une méthodologie de vérification de la fatigue qui peut s'appliquer aux planchers mixtes bois-béton.

Les valeurs des coefficients a et b de cette norme ne sont cependant pas utilisables de façon directe car ils ne concernent que des assemblages et structures bois. Étant donné la spécificité de chaque type de connecteur, il est opportun de définir les valeurs de ces coefficients par la réalisation d'une campagne d'essai.

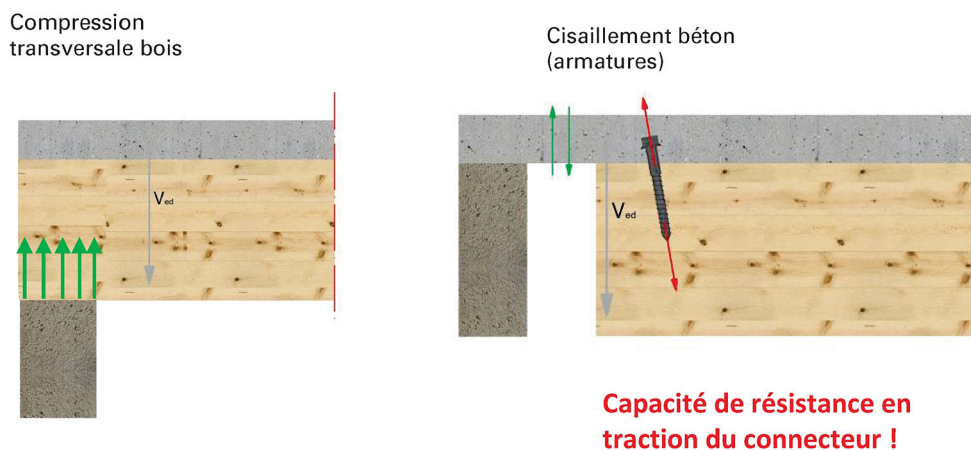
### 7.2.9. • Cas particuliers des poutres « suspendues »

Cette technique consiste à ne faire reposer que la dalle béton sur appuis. Les solives bois étant arrêtées au droit du mur, elles sont donc « suspendues » à la dalle béton par l'intermédiaire des connecteurs.

Cette technique peut être utilisée en construction neuve par exemple lorsque des doutes existent sur les possibilités d'humification du mur. Elle est toutefois beaucoup plus utilisée en rénovation.

Le dimensionnement est mené sans tenir compte de l'appui des poutres en bois mais en justifiant :

- le transfert de l'effort tranchant à l'appui : passage de la section bois + béton à la section en béton seul par l'intermédiaire du connecteur travaillant en traction ;
- la résistance à l'effort tranchant de la section en béton seul (section armée par des armatures HA ancrées et des armatures transversales dans la dalle lorsque nécessaire).



▲ Figure 40 : Transfert des efforts aux appuis en cas d'appui direct des solives ou de leur suspension



**Le recours à cette technique nécessite l'utilisation d'un connecteur présentant une résistance avérée à l'arrachement. Cette résistance doit être communiquée par le fabricant du connecteur et correspondre à la classe de bois et de béton du projet étudié.**

## 7.3. • Sécurité au feu

### 7.3.1. • Résistance au feu

#### 7.3.1.1. • Contexte réglementaire

En France, la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrage est encadrée par l'arrêté du 22 mars 2004 modifié par l'arrêté du 14 mars 2011.

Ces arrêtés décrivent les possibilités offertes en termes de justification de résistance au feu des produits de construction.

De manière générale, la résistance au feu d'un produit de construction peut être attestée par la réalisation :

- d'un essai au feu effectué sur un échantillon représentatif de l'élément concerné ;
- d'une analyse spécifique (extension de classement, avis de chantier) délivrée par un laboratoire agréé ;
- d'un calcul conformément à une méthode agréée par le CECMI, selon les DTU ou les Eurocodes.



### 7.3.1.2. • Justification

Au regard de la loi, l'acceptabilité d'une méthode de calcul est définie dans l'annexe 1 de l'arrêté de 2004 qui indique que « pour un ouvrage déterminé, un seul type de méthode (normes de la série PS 92 ou Eurocodes et DAN) doit être utilisé. »

La résistance au feu des planchers mixtes bois-béton peut relever d'un calcul combinant plusieurs méthodes de calcul, mais ne peut être déterminée que par l'application d'une seule méthode.

Une seule alternative est donc envisageable pour la justification de leur résistance au feu :

- la justification d'un degré de résistance au feu de ces planchers est apportée par la réalisation d'essai selon la norme NF EN 13501-2 et/ou par l'obtention d'une appréciation de laboratoire au feu délivrée par un laboratoire agréé tel que défini dans l'arrêté du 14 mars 2011 ;
- l'absence d'essais rend impossible la prise en compte de la connexion entre béton et bois en situation d'incendie. Il est alors d'usage de considérer que le degré de stabilité au feu du plancher est vérifié en considérant que les poutres en bois sont déconnectées de la dalle béton.

La résistance au feu d'un plancher est évaluée selon trois critères :

- R : résistance mécanique (ou stabilité). C'est le temps durant lequel la résistance mécanique sous charge est assurée ;
- E : étanchéité (ou degré coupe-feu). C'est le temps pendant lequel l'étanchéité sous charge aux flammes, gaz chauds et toxiques, est assurée ;
- I : isolation thermique (ou degré coupe-feu). C'est le temps pour atteindre la température de 140 °C en moyenne et 180 °C ponctuellement sur la face opposée au feu.

La réalisation d'un essai permet par exemple l'obtention d'un classement REI associé à un temps en minutes (par exemple, REI 60 pour une performance de 60 minutes selon ces trois critères).

La résistance au feu d'un plancher peut être apportée par le plancher seul ou en combinaison avec un élément de protection.

#### Planchers sans protection rapportée

Dans le cas des planchers directement exposés au feu (sans plafond suspendu par exemple), l'absence d'essais rend impossible la prise en compte de la connexion entre béton et bois en situation d'incendie.

Les poutres en bois apportent la stabilité (critère R) et peuvent être justifiées par application de l'Eurocode 5 partie 1-2 (EN 1995-1-2).

L'étanchéité (E) est assurée par la dalle béton et, est vérifié par application de l'Eurocode 2 partie 1-2 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.

### Planchers avec protection rapportée

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. En outre, il doit être mis en œuvre selon la description de ce procès-verbal.

## 7.3.2. • Réaction au feu

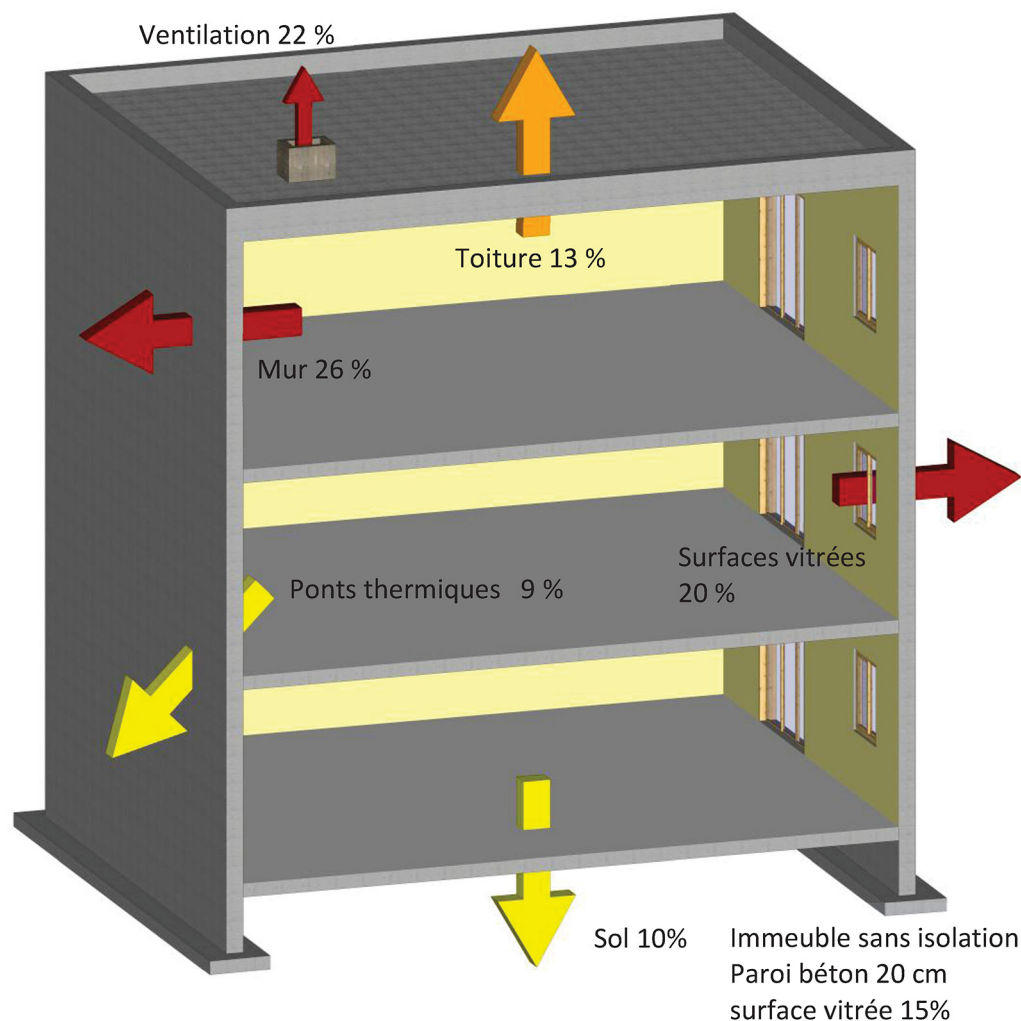
La réaction au feu des produits de construction et d'aménagement est encadrée par l'arrêté du 21 novembre 2002. Les produits bois constituant le plancher (solive et platelage) peuvent être classés par essais selon la norme NF EN 13501-1 ou, lorsque cela est possible, de façon conventionnelle selon cet arrêté.

Les panneaux de platelage (OSB, panneaux de particules, contreplaqués...) sont concernés par ce classement conventionnel pour peu que leurs épaisseurs concordent avec les indications de cet arrêté.

L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du plancher dans l'ouvrage (parties courantes, zones de dégagement, etc.).

## 7.4. • Thermique

Les planchers mixtes bois-béton peuvent être utilisés en tant que planchers hauts, planchers intermédiaires ou planchers bas. Leur impact sur la performance thermique de l'ouvrage dépend avant tout de leur position dans l'ouvrage dans la mesure où les pertes thermiques y sont également différentes. La (Figure 41) montre à titre indicatif les niveaux de pertes thermiques observés dans un bâtiment type.



Source ADEME

▲ Figure 41 : Schéma de pertes thermiques types d'un immeuble d'habitation

## 7.4.1. • Contexte réglementaire

La RT existant globale couverte par l'arrêté du 8 juin 2008 s'applique aux bâtiments construits après 1948 et aux rénovations importantes lorsque la surface du bâtiment est supérieure à 1000 m<sup>2</sup> et lorsque le coût des travaux est supérieur à 25% de la valeur du bâtiment concerné.

La RT existant par éléments couverte par l'arrêté du 3 mai 2007 s'applique aux cas de rénovation non visés par la RT existant globale.

### 7.4.1.1. • Respect des exigences globales

La RT existant globale fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur la déperdition moyenne par transmission à travers l'enveloppe ( $U_{bat}$ ), la consommation en énergie primaire ( $C_{ep}$ ) et la Température intérieure de confort ( $T_{ic}$ ). Elle fixe par ailleurs une exigence de réduction de la  $C_{ep}$  initiale.

La RT existant par élément ne fixe pas d'exigences globales à l'échelle du bâtiment.

### 7.4.1.2. • Respect des exigences minimales et valeurs limites concernant le procédé

La RT existant globale fixe des coefficients de transmission surfacique  $U$  maximaux à ne pas dépasser à l'échelle des parois.

La réglementation thermique par éléments fixe une exigence minimale sur la résistance thermique totale ( $R_{\text{totale}}$ ) des composants qui ont été remplacés ou installés.

Les planchers mixtes bois-béton en rénovation sont soumis aux exigences minimales synthétisées dans le (Tableau 5).

Exigences				
	RT	U en W/(m².K)	$\psi$ en W/(m.K)	R en m².K/W
Existant	Globale	$U_p \leq 0,34$ pour les planchers hauts $U_p \leq 0,36$ pour les planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking collectif $U_p \leq 0,40$ pour les planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou un volume non chauffé		
	Par éléments			$R_{\text{totale}} \geq 2,5$ pour les planchers hauts $R_{\text{totale}} \geq 2,3$ pour les planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking collectif $R_{\text{totale}} \geq 2,0$ pour les planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou un volume non chauffé

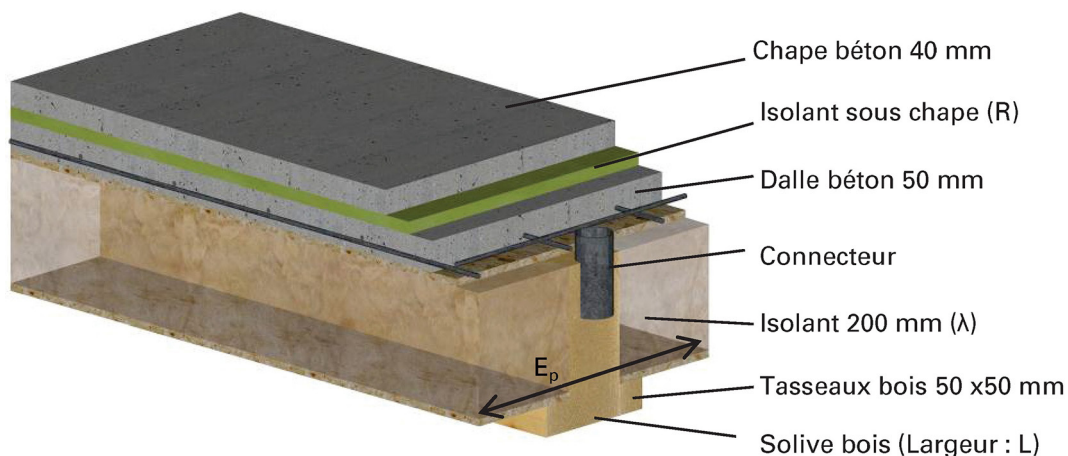
▲ Tableau 5 : Exigences réglementaires concernant les planchers mixtes bois-béton en rénovation

Les performances énergétiques des planchers mixtes bois-béton sont évaluées en distinguant les parties courantes et les liaisons entre planchers et murs. Des simulations de transferts thermiques sont effectuées pour des configurations génériques puis l'impact de variations autour de cette configuration est quantifié.

### 7.4.2. • Performances thermiques intrinsèques du procédé en plancher bas (calcul des $U_p$ )

La performance thermique intrinsèque des planchers mixtes bois-béton est caractérisée par un coefficient de transmission thermique surfaciques  $U_p$  s'exprimant en W/(m².K). Le terme de résistance thermique ( $R$ ) étant généralement employé pour caractériser une couche homogène de matériau constituant une paroi.

Dans le cas des planchers bas, on considèrera que l'épaisseur d'isolant entre solives est de 200 mm.



▲ Figure 42 : Hypothèses pour la famille solive/platelage– Coefficient de transmission thermique linéique  $\Psi$  des planchers bas

#### 7.4.2.1. • Méthode de calcul

Pour une épaisseur d'isolant entre solive de 20 cm minimum, le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher bas bois-béton se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,47 + \frac{0,2}{\lambda_{isolant}} + R_{sc}} + \frac{\psi}{E_p} + \frac{\chi}{E_p \cdot E_c}$$

Avec :

- $\lambda_{isolant}$  conductivité thermique utile de l'isolant mis en œuvre entre solives, en W/(m.K)
- $R_{sc}$  résistance thermique utile de l'isolant utilisé sous chape (sous couche acoustique ou autre) en m².K/W
- $E_p$  entraxe entre solives, en m
- $E_c$  entraxe entre connecteurs, en m
- $\psi, \chi$  coefficients de transmission thermique linéique et ponctuel obtenus à partir du (Tableau 6).

#### 7.4.2.2. • Valeurs pré-calculées des ponts thermiques intégrés

Les coefficients  $\psi_i$  et  $\chi_j$  doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou plus généralement selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul

spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts thermiques forfaitaires donnés ci-après peuvent être utilisées.

Typo- logie	$R_{\text{sous chape}}$	Largeur solive	$\chi$ [W/K] <sup>(1)</sup>	$\Psi$ [W/(m.K)]	
				$\lambda_{\text{isolant}} = 32\text{mW/(m.K)}$	$\lambda_{\text{isolant}} = 40\text{mW/(m.K)}$
Ancien	0.75 m <sup>2</sup> .K/W	70 mm	0,004	0,036	0,032
		200 mm	0,004	0,084	0,075
	3 m <sup>2</sup> .K/W	70 mm	0,002	0,017	0,016
		200 mm	0,001	0,037	0,033

<sup>(1)</sup> Valeurs obtenues pour le connecteur le plus défavorable (tire-fond). Pour des connecteurs à tiges croisées ou à tube creux, ces valeurs doivent être minorées de 50 %.

▲ **Tableau 6** : Coefficient de transmission thermique linéique et ponctuels dus à la solive et au connecteur pour un plancher mixte bois-béton en plancher bas

### 7.4.2.3. • Valeurs tabulées

Le (Tableau 7) donne des valeurs de coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  de plancher mixtes bois-béton en plancher bas obtenues pour des connecteurs tire-fond espacés de 20 cm.

Typo- logie	$R_{\text{sous chape}}$	Largeur solive	$E_p = 400 \text{ mm}$		$E_p = 600 \text{ mm}$	
			$\lambda_{\text{isolant}} = 32\text{mW/(m.K)}$	$\lambda_{\text{isolant}} = 40\text{mW/(m.K)}$	$\lambda_{\text{isolant}} = 32\text{mW/(m.K)}$	$\lambda_{\text{isolant}} = 40\text{mW/(m.K)}$
Ancien	0.75 m <sup>2</sup> .K/W	70 mm	0.27	0.29	0.23	0.25
		200 mm	0.39	0.40	0.31	0.32
	3 m <sup>2</sup> .K/W	70 mm	0.17	0.18	0.15	0.16
		200 mm	0.21	0.21	0.17	0.18

▲ **Tableau 7** : Coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  de planchers bas bois-béton, en W/(m<sup>2</sup>.K)

## 7.4.3. • Ponts thermiques de liaison

### 7.4.3.1. • Introduction

Les déperditions par transmission à travers l'enveloppe sont séparées en deux parties avec d'un côté les coefficients de transmission surfacique  $U_p$  des parois incluant les ponts thermiques intégrés ( $\psi_i$  et  $\chi_j$ ), et de l'autre côté les déperditions par transmission au niveau des ponts thermiques de liaison ( $\psi$ ). On note que les déperditions par transmission linéique à la jonction entre les parois vont dépendre à la fois de la composition du plancher mixte bois-béton lourd, mais également de la composition des parois adjacentes (murs).



**Les schémas présentés dans ce paragraphe sont réalisés dans un objectif de modélisation des ponts thermiques de liaison. Les éventuels chaînages des murs et l'ancrage des treillis soudés des dalles ne sont pas représentés.**

### 7.4.3.2. • Méthode de calcul

Les ponts thermiques de liaison doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-U, ou plus généralement selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de pont thermique fournies ici (cf. 7.4.2.2) peuvent être utilisées.

### 7.4.3.3. • Valeurs tabulées

Les interpolations linéaires sont possibles pour tous les cas de figure présentés ici (cf. 7.4.3.3).

#### Liaison plancher bas bois-béton sur vide sanitaire ou sur local non chauffé avec un mur

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur, de son mode d'isolation (ITI ou ITE) et de la résistance thermique des isolants utilisés en mur et en plancher. Les valeurs ont été calculées pour des solives de 70 mm de largeur avec un entraxe de 600 mm. Des variantes avec solives plus larges (200 mm) ou entraxe plus faible (400 mm) ont été étudiées.

Une isolation entre solives de 200 mm est systématiquement installée.

Des variantes de fixation des solives du plancher mixte bois-béton ont aussi été étudiées : fixation sur sabot métallique, sur muraille entaillée, sabot sur muraille ou appui direct dans le cas des murs maçonnés ou des murs à ossature bois.

### Mur en béton

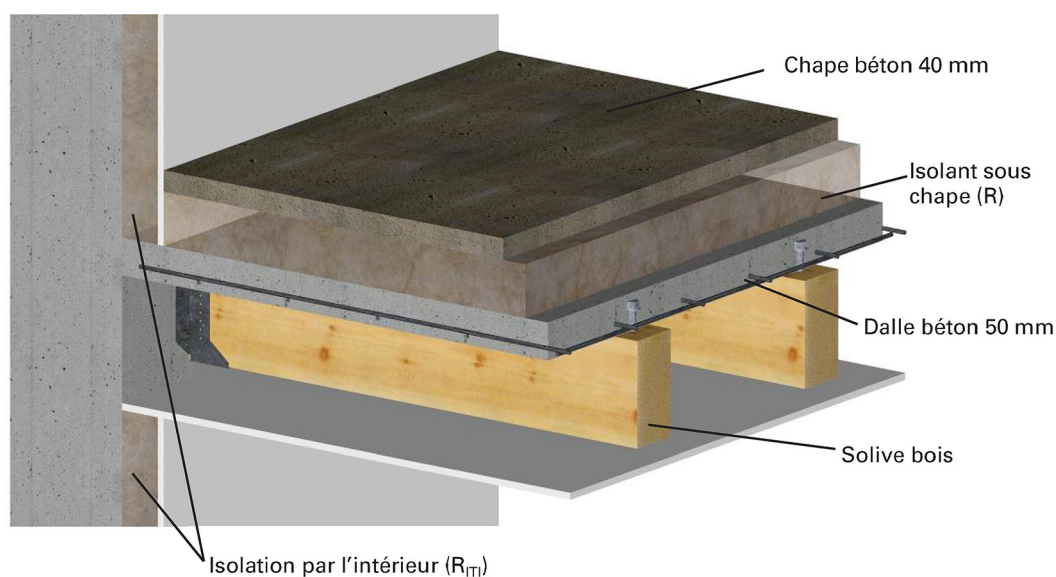
Les murs en béton utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 160 mm.



**Les schémas présentés dans ce paragraphe sont réalisés dans un objectif de modélisation des ponts thermiques de liaison. Les éventuels chaînages des murs et l'ancrage des treillis soudés des dalles ne sont pas représentés.**



## Mur en béton isolé par l'intérieur (ITI)

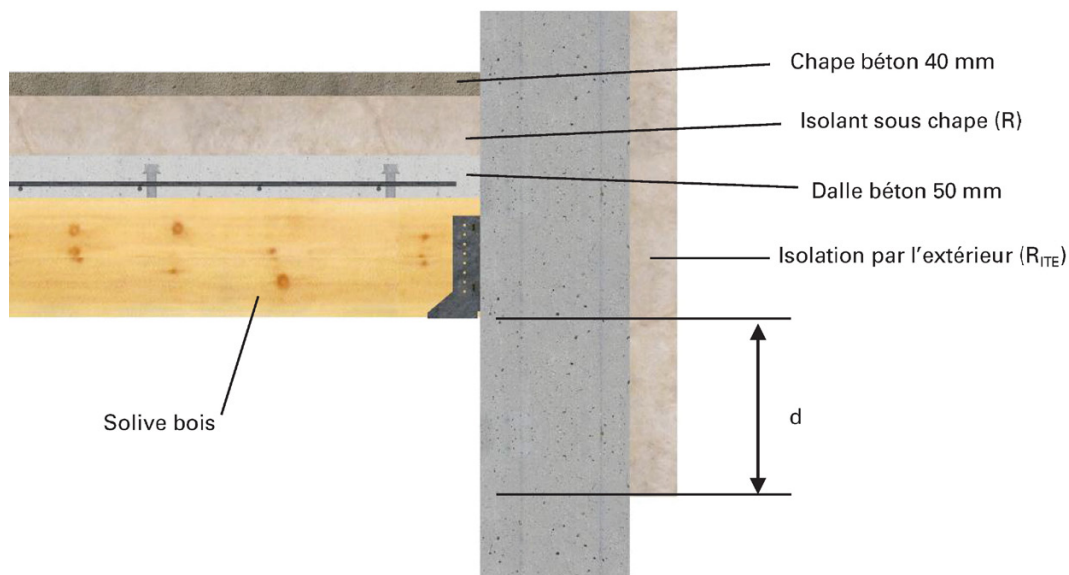


Type	Isolation intérieure	Isolation sous chape	$\Psi$ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	R = 2	R = 0,75	0,26
	R = 2	R = 3	0,12
	R = 5	R = 0,75	0,23
	R = 5	R = 3	0,10
+ 15 % si sabot sur muraille - 10 % si solive large (> 200 mm)			

▲ Figure 43 : Coefficients de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'intérieur et un plancher bas bois-béton

## Mur en béton isolé par l'extérieur (ITE)

Les valeurs de pont thermique dépendent de la profondeur  $d$  sur laquelle descend l'isolation extérieure par rapport à la face supérieure du plancher bas.





Type	Isolation extérieure	Isolation sous chape	$\Psi$ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'extérieur (ITE), $d = 0$ cm	$R = 2$	$R = 0,75$	0,56
	$R = 2$	$R = 3$	0,49
	$R = 5$	$R = 0,75$	0,57
	$R = 5$	$R = 3$	0,49
Isolation thermique par l'extérieur (ITE), $d \geq 30$ cm	$R = 2$	$R = 0,75$	0,52
	$R = 2$	$R = 3$	0,46
	$R = 5$	$R = 0,75$	0,53
	$R = 5$	$R = 3$	0,46
+ 40 % si mur ancien en moellon ou pierre de taille - 10 % si muraillière entaillée			

▲ Figure 44 : Coefficients de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'extérieur et un plancher bas bois-béton

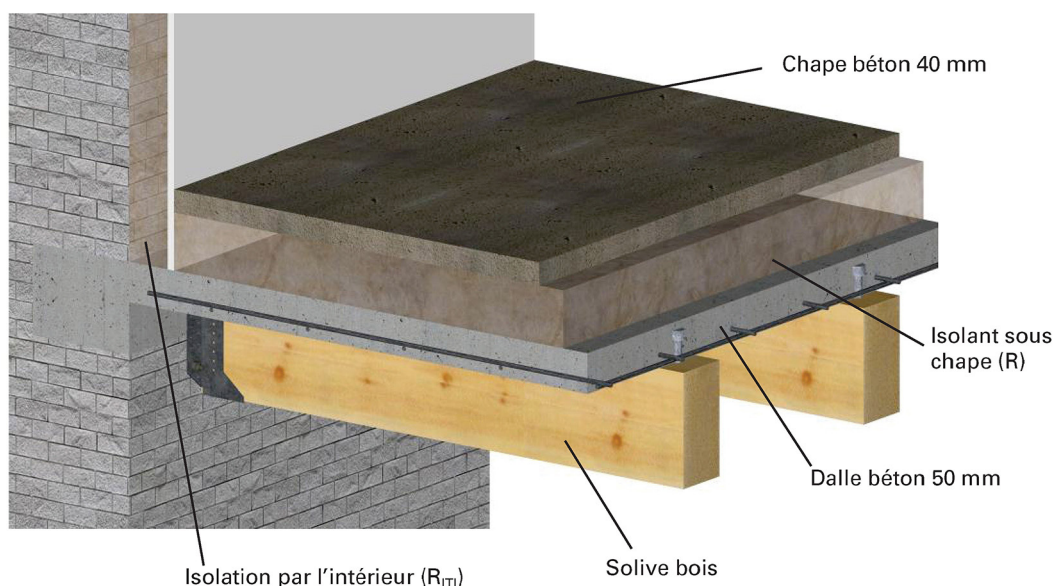
## Mur en maçonnerie courante

Les murs en maçonnerie courante utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 200 mm, la planelle a une épaisseur de 50 mm.



**Les schémas présentés dans ce paragraphe sont réalisés dans un objectif de modélisation des ponts thermiques de liaison. Les éventuels chaînages des murs et l'ancrage des treillis soudés des dalles ne sont pas représentés.**

### Mur en maçonnerie courante isolé par l'intérieur (ITI)

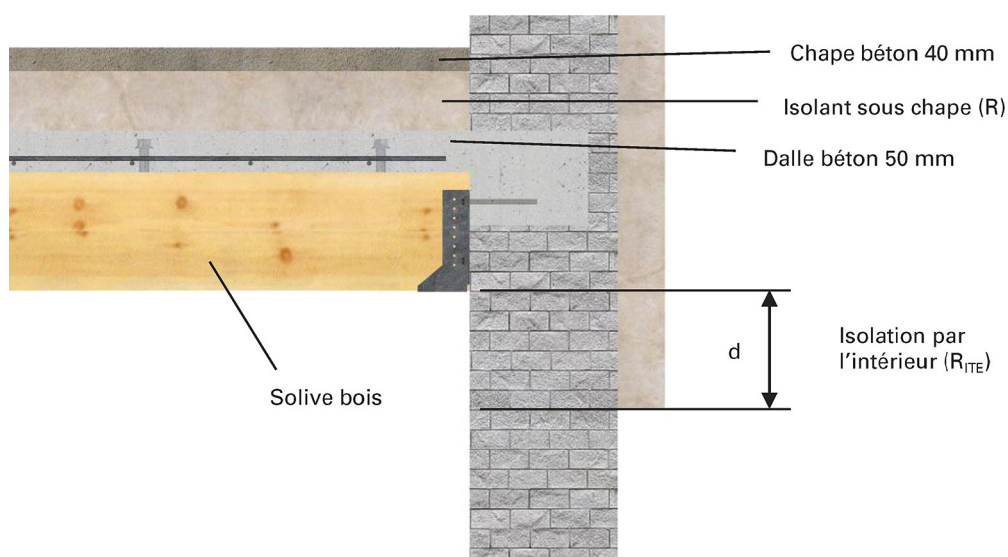


Type	Isolation intérieure	Isolation sous chape	$\Psi$ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	R = 2	R = 0,75	0,24
	R = 2	R = 3	0,11
	R = 5	R = 0,75	0,22
	R = 5	R = 3	0,10
+ 15 % si sabot sur muraille - 10 % si solive large (> 200 mm)			

▲ Figure 45 : Coefficients de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'intérieur et un plancher bas bois-béton

### Mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur (ITE)

Les valeurs de pont thermique dépendent de la profondeur  $d$  sur laquelle descend l'isolation extérieure par rapport à la face supérieure du plancher bas.



Type	Isolation extérieure	Isolation sous chape	$\Psi$ [W/(m.K)]
ITE, $d = 0$ cm	R = 2	R = 0,75	0,37
	R = 2	R = 3	0,29
	R = 5	R = 0,75	0,38
	R = 5	R = 3	0,30
ITE, $d \geq 30$ cm	R = 2	R = 0,75	0,35
	R = 2	R = 3	0,28
	R = 5	R = 0,75	0,35
	R = 5	R = 3	0,28
- 15 % si muraille entaillée			

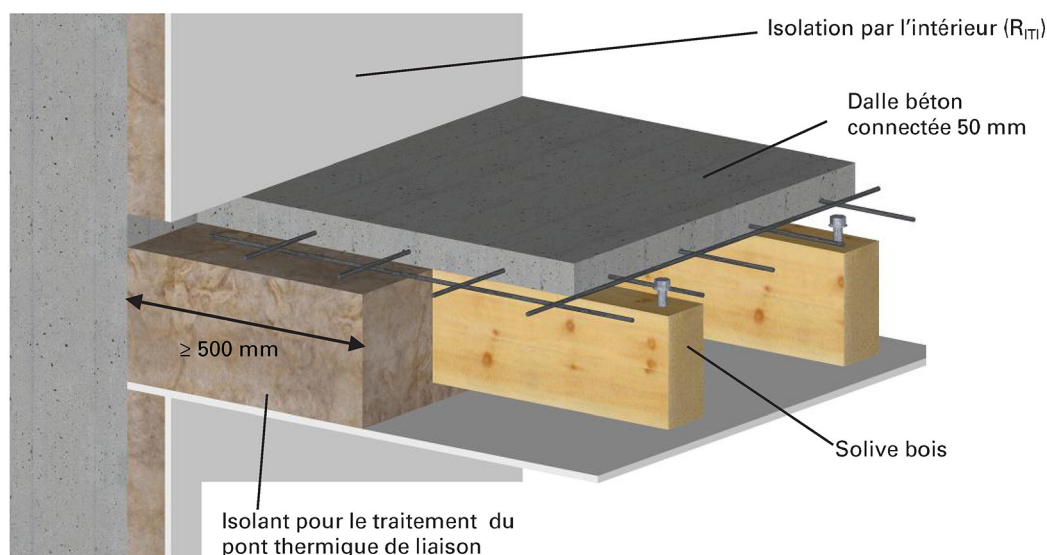
▲ Figure 46 : Coefficients de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur et un plancher bas bois-béton

## Liaison plancher intermédiaire bois-béton avec un mur

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur, de son mode d'isolation (ITI ou ITE) et de la résistance thermique des isolants utilisés en mur. Les valeurs ont été calculées pour des solives de 70 mm de largeur avec un entraxe de 600 mm et pour plusieurs hauteurs de solives. Des variantes avec solives plus larges (200 mm) ou entraxe plus faible (400 mm) ont été étudiées.

Des variantes de fixation des solives du plancher mixte bois-béton ont aussi été étudiées : fixation sur sabot métallique, sur muraillière entaillée, sabot sur muraillière ou appui direct dans le cas des murs maçonnés ou des murs à ossature bois.

Dans le cas de l'isolation par l'intérieur (ITI), une variante de traitement du pont thermique est présentée, elle consiste à insérer un isolant thermique dans le plénum entre et sous les solives sur une largeur minimale de 50 cm.



▲ Figure 47 : Traitement thermique spécifique des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'intérieur et un plancher intermédiaire bois/béton

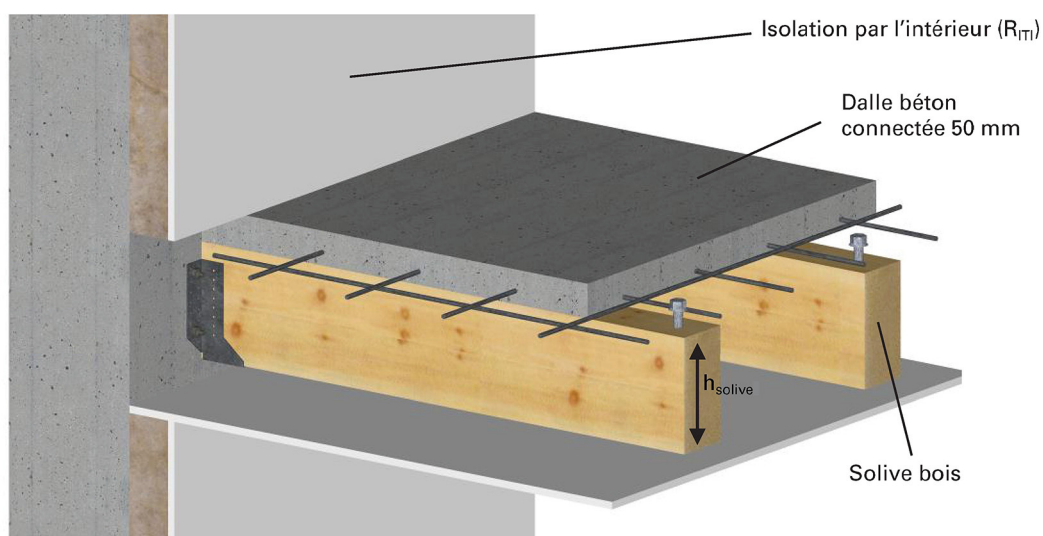
## Mur en béton

Les murs en béton utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 160 mm.



**Les schémas présentés dans ce paragraphe sont réalisés dans un objectif de modélisation des ponts thermiques de liaisons. Les éventuels chaînages des murs et l'ancrage des treillis soudés des dalles ne sont pas représentés**

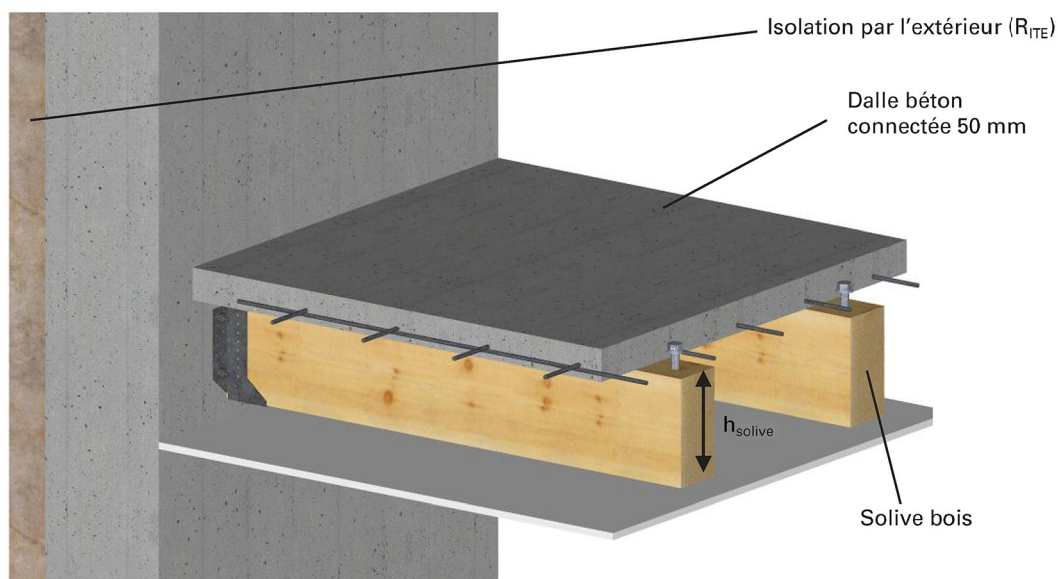
## Mur en béton isolé par l'intérieur (ITI)



Type	Isolation intérieure	h solive	$\Psi$ [W/(m.K)]
ITI non traitée	R=2	h=15 cm	1,31
	R=2	h=20cm	1,46
	R=5	h=15 cm	1,21
	R=5	h=20cm	1,35
ITI traitée	R=2	h=15 cm	0,62
	R=2	h=20cm	0,64
	R=5	h=15 cm	0,54
	R=5	h=20cm	0,56
<b>+ 10% si entraxe de solive de 400 mm</b>			
<b>+ 10% si largeur de solive de 200 mm</b>			
<b>+ 10 % si muraillière entaillée</b>			

▲ Figure 48 : Coefficient de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'intérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

## Mur en béton isolé par l'extérieur (ITE)



Type	Isolation extérieure	$h$ solive	$\Psi$ [W/(m.K)]
ITE	R=2	$h=15$ cm	0,16
	R=2	$h=20$ cm	0,19
	R=5	$h=15$ cm	0,07
	R=5	$h=20$ cm	0,08

▲ Figure 49 : Coefficient de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'extérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

## Mur en maçonnerie courante

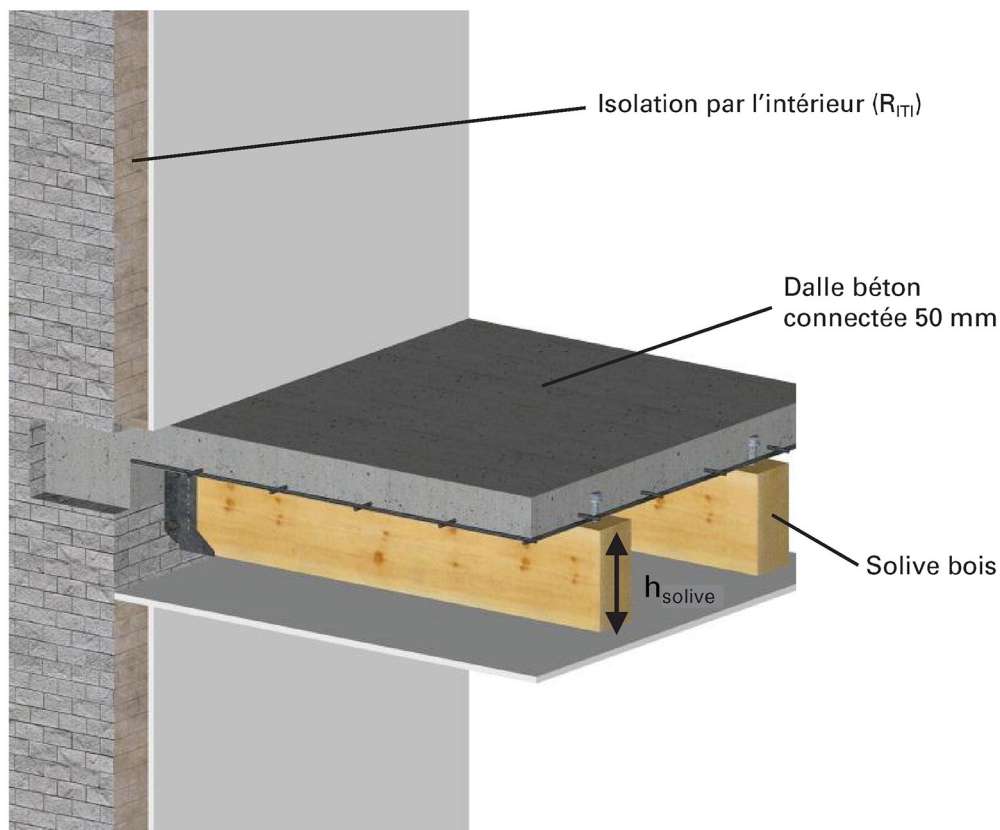
Les murs en maçonnerie courante utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 200 mm, la planelle a une épaisseur de 50 mm.



**Les schémas présentés dans ce paragraphe sont réalisés dans un objectif de modélisation des ponts thermiques de liaisons. Les éventuels chaînages des murs et l'ancrage des treillis soudés des dalles ne sont pas représentés.**



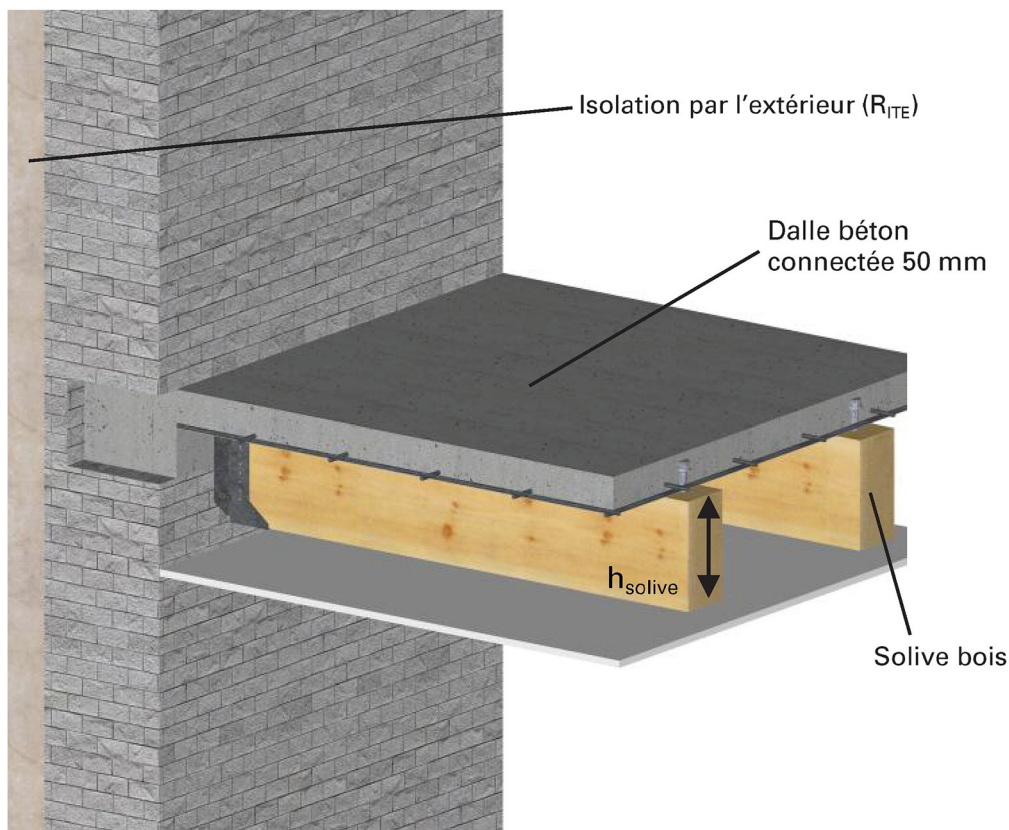
## Mur en maçonnerie courante isolé par l'intérieur (ITI)



Type	Isolation intérieure	h solive	$\Psi$ [W/(m.K)]
ITI non traitée	R=2	h=15 cm	0,98
	R=2	h=20cm	1,08
	R=5	h=15 cm	0,94
	R=5	h=20cm	1,03
ITI traitée	R=2	h=15 cm	0,52
	R=2	h=20cm	0,53
	R=5	h=15 cm	0,47
	R=5	h=20cm	0,48
+ 10% si entraxe de solive de 400 mm			
+ 10% si largeur de solive de 200 mm			
+ 10 % si muraillière entaillée			

▲ Figure 50 : Coefficient de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'intérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

## Mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur (ITE)



Type	Isolation extérieure	h solve	$\Psi$ [W/(m.K)]
ITE	R=2	h=15 cm	0,12
	R=2	h=20cm	0,14
	R=5	h=15 cm	0,05
	R=5	h=20cm	0,06

▲ Figure 51 : Coefficient de transmission thermique linéique  $\Psi$  des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

### 7.4.3.4. • Contribution qualitative au confort d'été dans le bâtiment

Le confort estival dans un bâtiment dépend de nombreux paramètres (maîtrise des apports solaires par les baies, apports internes, surventilation nocturne, etc.). L'un des paramètres est l'inertie thermique qui caractérise la capacité du bâtiment à stocker la chaleur et se calcule à partir des caractéristiques de tous les éléments en contact avec l'ambiance intérieure (enveloppe du bâtiment, mais aussi cloisons et mobilier). Le stockage des apports solaires permet d'améliorer le confort thermique, en particulier en période estivale où les pics de chaleur de la journée sont absorbés puis évacués la nuit par surventilation.

Les planchers mixtes bois-béton peuvent contribuer à l'amélioration de l'inertie thermique du bâtiment si la dalle de compression n'est pas masquée par un revêtement léger. En effet, la masse de béton située du côté intérieur permet le stockage des apports solaires en



provenance des baies. Pour bénéficier de l'inertie thermique apportée par cette dalle, il convient donc de préférer un revêtement type carrelage à un parquet bois ou une moquette : l'écart sur la capacité de stockage de la chaleur entre ces configurations est d'environ 40 %.

## 7.5. • Acoustique

### 7.5.1. • Introduction

La réhabilitation n'est soumise du point de vue acoustique à aucune réglementation, si ce n'est de ne pas dégrader la performance acoustique originale. Cependant pour les planchers, il est souhaitable du point de vue du confort acoustique de se rapprocher des niveaux de performance acoustique réglementaires.



▲ Figure 52 : Passage de la performance des produits à la performance de l'ouvrage

Le type de système objet de ce document étant soit un plancher intermédiaire, soit un plancher bas sur vide sanitaire ou encore un plancher haut, il porte à la fois une contrainte acoustique sur l'isolement au bruit aérien intérieur et au bruit d'impact, vertical (chemin direct) ainsi qu'horizontal (transmission latérale). Pour le plancher haut, il existe également une contrainte d'isolement aérien vis-à-vis des bruits extérieurs.

Les pré-requis sont les suivants :

- produits sous Avis Technique ;
- le système de base est de type solives et platelage ;
- dalle de compression en béton d'une épaisseur de 50 à 70 mm, ferrillée et connectée mécaniquement au support ;
- la fixation aux murs verticaux dépend de leur nature : appui direct sur le mur ou non pour les solives ou dalle massive ; dalle béton ancrée dans le mur vertical ou sans contact avec le mur vertical.

**Note**

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

## 7.5.2. • Isolement au bruit aérien entre deux locaux

Performance du plancher :  $(R_w+C)$  en dB

L'indice d'affaiblissement acoustique du plancher dépend principalement de l'épaisseur de la dalle béton.

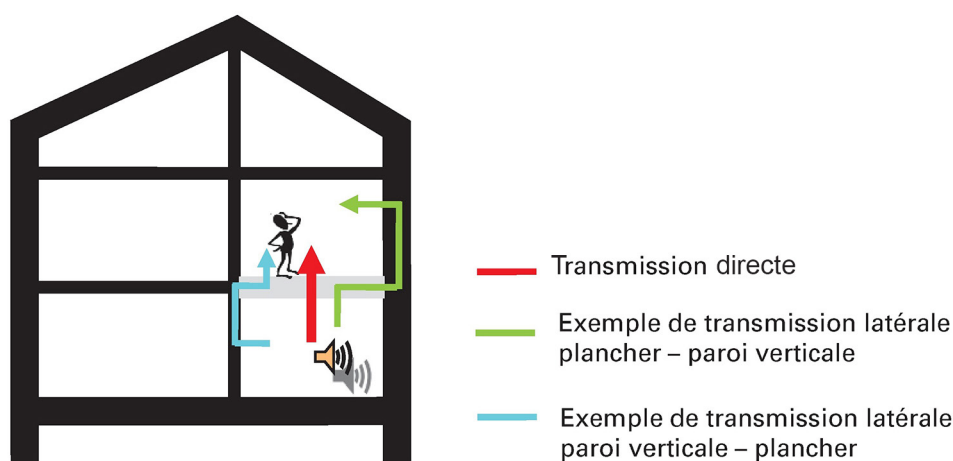
Performance des traitements du plancher :  $\Delta(R_w+C)$  en dB

Les traitements en sous-face de type plafond suspendu améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

Les traitements en surface peuvent être de plusieurs types : chape flottante, revêtement de sol plastique, parquet flottant, etc. Suivant leur type, ils peuvent détériorer ou améliorer la performance du plancher de base.

L'amélioration de l'isolement au bruit aérien  $\Delta(R_w+C)$ , en dB, dépend du plancher support.

Performance de l'ouvrage : isolement acoustique au bruit aérien  $D_{nT,A} = D_{nT,w} + C$  en dB



▲ Figure 53 : Transmission verticale des bruits aériens entre deux locaux superposés

L'isolement acoustique entre deux locaux dépend des caractéristiques des différentes parois et de leur connexion entre elles, ainsi que de la taille des locaux.

Le niveau réglementaire est de 53 dB entre pièces principales de logement.

La transmission directe par le plancher pour l'isolement vertical dépend de la performance du plancher de base et des traitements en surface et en sous-face.

## Isolement vertical : transmissions latérales

Elles dépendent de la performance acoustique des différentes parois en jeu et aussi du mode d'accrochage du plancher sur les murs verticaux.



**Si la dalle béton est ancrée dans le mur vertical en béton ou maçonnerie, il est possible de faire l'hypothèse que la méthode européenne EN 12354 pour les transmissions directes et latérales permettant de prédire la performance acoustique de l'ouvrage peut s'appliquer. L'approche de conception reste donc standard.**

Si la dalle béton est indépendante du mur vertical en béton ou maçonnerie, il est possible de faire l'hypothèse que les chemins latéraux plancher-mur vertical sont négligeables, notamment à cause de la présence d'un plafond suspendu, et que les chemins latéraux mur vertical-plancher soient pris en compte comme si la dalle béton était ancrée dans le mur vertical, ce qui représente une situation pénalisante.

## Isolement horizontal : transmissions latérales

Les transmissions latérales mettant en jeu le plancher et un mur vertical seront évaluées comme indiquées au point précédent.

La transmission latérale plancher-plancher pourra être évaluée suivant la méthode européenne EN 12354 en considérant le plancher filant ; hypothèse acceptable si la dalle béton est ancrée dans le mur vertical en béton ou maçonnerie, mais pénalisante sinon.

### 7.5.3. • Niveau de bruit d'impact entre deux locaux

Performance du plancher :  $L_{n,w}$  en dB

Le niveau de bruit d'impact du plancher de base dépend principalement de l'épaisseur de la dalle béton.

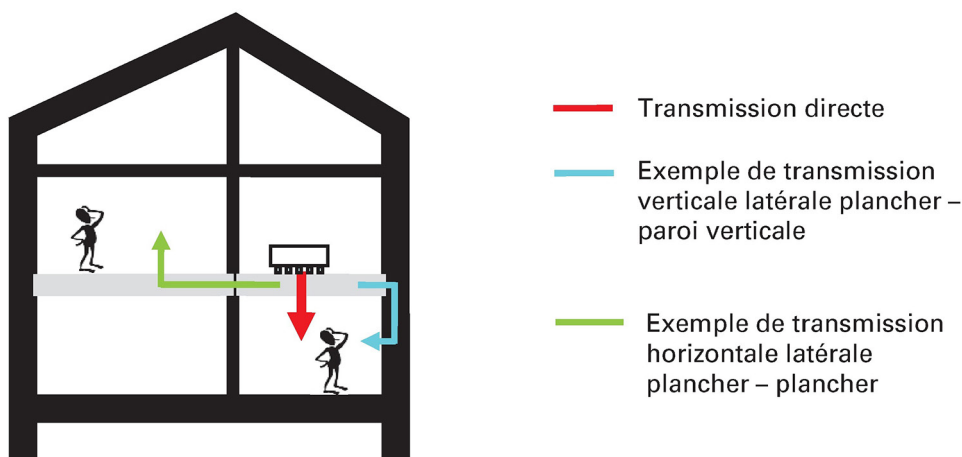
Performance des traitements du plancher :  $\Delta L_w$  en dB

Les traitements en sous-face de type plafond suspendu améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

Les traitements en surface améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

L'amélioration de l'isolement au bruit d'impact  $\Delta L_w$  en dB dépend du plancher support.

Performance de l'ouvrage : niveau de bruit d'impact  $L'_{nT,w}$  en dB



▲ Figure 54 : Transmission des bruits d'impact entre deux locaux

Il dépend des caractéristiques des différentes parois et de leur connexion entre elles, ainsi que de la taille des locaux.

Le niveau réglementaire est de 58 dB entre pièces principales de logement.

La transmission directe par le plancher pour l'isolement vertical dépend de la performance du plancher de base et des traitements en surface et en sous-face.

## Isolement vertical : transmissions latérales

Elles dépendent de la performance acoustique des différentes parois en jeu et aussi du mode d'accrochage du plancher sur les murs verticaux.

Si la dalle béton est ancrée dans le mur vertical en béton ou maçonné, il est possible de faire l'hypothèse que la méthode européenne EN 12354 pour les transmissions directes et latérales permettant de prédire la performance acoustique de l'ouvrage peut s'appliquer. L'approche de conception reste donc standard.

Si la dalle béton est indépendante du mur vertical en béton ou maçonné, il est possible de faire l'hypothèse que les chemins latéraux plancher-mur vertical sont rendus négligeables, notamment à cause de la présence du revêtement de sol, et que les chemins latéraux mur vertical-plancher soient pris en compte comme si la dalle béton était ancrée dans le mur vertical, ce qui représente une situation pénalisante.

## Isolement horizontal : transmissions latérales

Les transmissions latérales mettant en jeu le plancher et un mur vertical seront évaluées comme indiquées au point précédent.

La transmission latérale plancher-plancher pourra être évaluée suivant la méthode européenne EN 12354 en considérant le plancher filant ; hypothèse acceptable si la dalle béton est ancrée dans le mur vertical en béton ou maçonné, mais pénalisante sinon.



**Si le plancher est mis en œuvre avec des murs verticaux « légers » de type ossature bois ou bois massif, il n'existe pas à ce jour de méthode de prédiction de la performance acoustique de l'ouvrage. Une étude particulière sera donc à mener.**

### 7.5.4. • Plancher seul avec ses traitements en surface et en sous-face

Comme indiqué précédemment, l'hypothèse que la performance  $\Delta R$  et  $\Delta L$  par bande de tiers d'octave pour les traitements en surface et en sous-face évaluée sur un plancher support lourd normalisé (béton de 140 mm) puisse être utilisée comme performance sur un plancher de type bois béton, est prise en compte.

Cette règle peut permettre de dégrossir la performance acoustique d'un composant et d'un ouvrage ; des mesures acoustiques spécifiques sont bien évidemment à privilégier pour optimiser les solutions acoustiques à mettre en œuvre.

Le (Tableau 8) donne des exemples de performance acoustique pour un plancher bois-béton avec des traitements en surface et en sous-face. L'ensemble des performances des traitements en surface et en sous-face pris en compte dans ces exemples sont tirées de la base de données Acoubat pour des produits traditionnels :

- la chape flottante est constituée d'une chape en mortier de 40 mm sur une sous-couche résiliente correspondant à une amélioration au bruit aérien de  $\Delta(R_w + C)$  plancher lourd = 5 dB, et au bruit de choc de  $\Delta L_w = 20$  dB sur une dalle support normalisée en béton ;
- le revêtement de sol souple correspond à une performance au bruit de choc de  $\Delta L_w = 18$  dB sur une dalle support normalisée en béton (et par défaut 0 dB pour l'amélioration au bruit aérien) ;
- le plafond correspond à une performance au bruit aérien de choc de  $\Delta(R_w + C)$  plancher lourd = 12 dB sur une dalle support normalisée en béton.

Systèmes	$R_w + C$ en dB	$L_{n,w}$ en dB
Plancher bois-béton 50 mm	40	93
Plancher bois-béton 60 mm	41	92
Plancher bois-béton 70 mm	42	91
Plancher bois-béton 50 mm + chape flottante	40	68
Plancher bois-béton 60 mm+ chape flottante	41	68
Plancher bois-béton 70 mm+ chape flottante	42	67
Plancher bois-béton 50 mm + chape flottante + plafond	53	58
Plancher bois-béton 60 mm+ chape flottante + plafond	54	58
Plancher bois-béton 70 mm+ chape flottante + plafond	55	58
Plancher bois-béton 50 mm + RdS + plafond	53	57
Plancher bois-béton 60 mm+ RdS + plafond	54	57
Plancher bois-béton 70 mm+ RdS + plafond	55	56

▲ **Tableau 8** : Exemples de performances pour un plancher bois-béton avec des traitements en surface et en sous-face

### 7.5.5. • Plancher dans l'ouvrage

La performance acoustique de l'ouvrage dépend notamment du volume de la pièce de réception (celle où le bruit est mesuré) : plus la pièce est petite, plus la performance acoustique sera défavorable. Ainsi, il est habituel de se placer dans une pièce de 9 m<sup>2</sup>, taille caractéristique d'une petite chambre. On rappelle que le niveau réglementaire entre deux chambres de logements superposés est de 53 dB pour les bruits aériens et de 58 dB pour les bruits de choc.

Le chemin direct vertical par le plancher doit au minimum permettre d'atteindre le niveau réglementaire.

Le (Tableau 9) reprend les solutions de traitement proposées au (Tableau 8) en indiquant les performances pour le chemin direct vertical par le plancher entre deux chambres de 9 m<sup>2</sup>.

Il est tout de même important de noter que les transmissions latérales doivent aussi être traitées : elles dépendent des éléments constitutifs de l'ouvrage (façade, refend, cloisons distributives, etc.) ainsi que de la connexion du plancher avec la façade et les refends porteurs. Il est difficile de donner une solution pour tous les cas possibles. Cependant, pour la façade, un doublage sur ossature indépendante avec un isolant de 45 mm et une plaque de plâtre BA13 est recommandé pour permettre de limiter les chemins latéraux passant par la façade. Cette préconisation s'applique aussi au cas d'une façade légère.

Par rapport au chemin direct vertical par le plancher, on utilisera de préférence une dalle béton de 60 mm au minimum sinon il faudra renforcer la performance des traitements en surface et en sous-face pour atteindre le minimum requis pour ce chemin par rapport à la réglementation. On notera que le système de plancher bois-béton avec 60 mm de béton, un revêtement de sol souple de performance  $\Delta L_w = 18$  dB et un plafond suspendu de  $\Delta(R_w + C)_{\text{plancher lourd}} = 12$  dB, permet d'atteindre tout juste les niveaux réglementaires (donc pas

de marge) et nécessitera une attention particulière du traitement des transmissions latérales pour que l'ouvrage soit au final réglementaire.

Pour un refend séparatif entre logements en béton de 18 cm, le niveau de bruit de choc en transmission horizontale sera aussi réglementaire pour les planchers pris en compte au (Tableau 8).

Systèmes	$D_{nTA}$ en dB	$L'_{nT,w}$ en dB
Plancher bois-béton 50 mm + chape flottante + plafond	56	59
Plancher bois-béton 60 mm+ chape flottante + plafond	57	58
Plancher bois-béton 70 mm+ chape flottante + plafond	58	57
Plancher bois-béton 50 mm + RdS + plafond	52	58
Plancher bois-béton 60 mm+ RdS + plafond	53	58
Plancher bois-béton 70 mm+ RdS + plafond	54	57

▲ Tableau 9 : Exemples d'indice global de performance acoustique de l'ouvrage. Chemin direct vertical par le plancher entre deux pièces de 9 m<sup>2</sup>

## 7.6. • Séisme

### 7.6.1. • Introduction

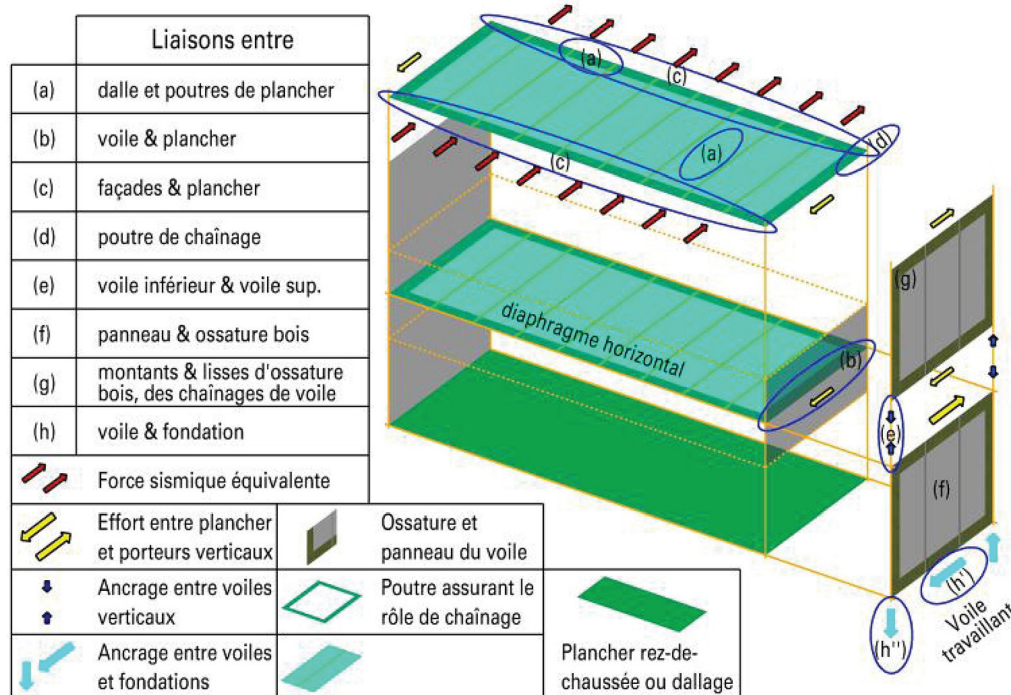
Un plancher mixte bois-béton constitue une réponse pertinente pour remplir les différentes fonctions d'un tel composant d'ouvrage. Rappelons qu'un plancher bois-béton permet d'utiliser en flexion gravitaire le bois en zone tendue et le béton en zone comprimée avec une optimisation mécanique et massique.

La connexion mécanique du système de poutraison à une dalle en béton armé offre le choix pour la connexion du plancher aux murs en maçonnerie ou en béton armé : cette connexion peut se faire directement de la dalle en béton armé aux murs au droit de chaînages avec des liaisons continues et particulièrement résistantes et rigides ; mais elle peut également se réaliser par un ancrage des poutres dans les chaînages des murs. Cette dernière solution offre une possibilité intéressante de supprimer un pont thermique entre planchers et murs par interposition d'un isolant à la périphérie de la dalle en béton armé. Pour un plancher mixte relié à des murs en ossature bois, la liaison devra être réalisée entre le système de poutraison du plancher et l'ossature des murs.

En ce qui concerne les exigences particulières aux situations sismiques, un plancher doit avoir, outre une résistance adaptée en flexion, une rigidité et une résistance dans son plan afin d'assurer une fonction de diaphragme horizontal et être ainsi capable de recueillir et de distribuer efficacement les forces d'inertie engendrées par un séisme vers les murs de contreventement. Cette distribution assurera le premier maillon pour concevoir et calculer le contreventement vis-à-vis de la flexion et de la torsion du bâtiment. Pour qu'un diaphragme horizontal transmette efficacement ces forces d'inertie, il doit être bien connecté aux murs, plus résistant que les murs, et plus rigide que les murs.

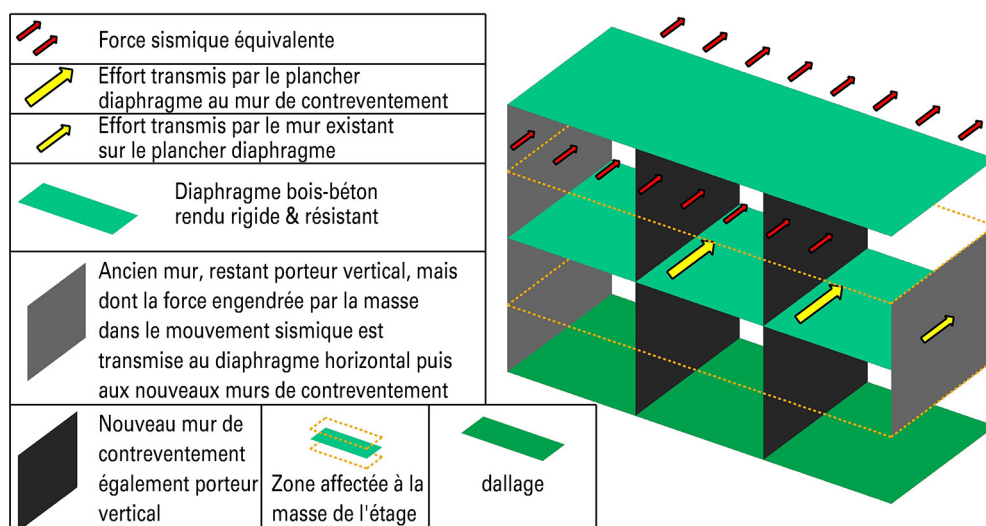


La (Figure 55) synthétise et illustre le principe de transfert des efforts issus des masses des murs, des planchers, des équipements jusqu'aux fondations. Une solution de plancher mixte bois-béton permet d'allier grande rigidité du plancher dans son plan, limitation de la masse de ce plancher, et nombreuses connexions entre plancher et murs. De la gestion de ces connexions dépendra la pertinence et la fiabilité du plancher dans son fonctionnement attendu en situation sismique.



▲ Figure 55 : Principes de transfert des efforts horizontaux depuis les parties lourdes des planchers jusqu'aux fondations

Dans le cas d'une réhabilitation, la réalisation d'un plancher mixte bois-béton correspond très souvent à une diminution de la masse du plancher (suppression des gravats entre poutraison et surface de circulation, changement de surface de circulation, etc.). L'augmentation de la rigidité et de la résistance en flexion autorise des charges d'exploitation plus importantes. La réalisation ou le remplacement de murs de refend peut permettre de ne pas intervenir lourdement sur les façades. Il est également possible dans certains cas d'attribuer à ces nouveaux murs de contreventement la fonction de contreventement et de ne laisser aux façades que la reprise d'une partie des efforts verticaux. La (Figure 56) illustre cette situation. Quelle que soit la solution retenue, quel que soit le type de projet neuf ou réhabilitation, la liaison entre planchers mixtes et murs de contreventement ou simplement porteurs verticaux est un point incontournable pour assurer la fiabilité du comportement mécanique d'ensemble du bâtiment.



▲ Figure 56 : illustration du transfert de charges issues de murs secondaires en façade vers des murs de refend primaires

## 7.6.2. • Retour sur les techniques existantes de planchers mixtes bois-béton

Pour la dalle « béton », nous n'évoquons ici que des dalles en béton classique, armées en principe d'un treillis soudé. Des solutions existent aussi avec des bétons légers ou des bétons composites (béton de bois, béton de chanvre, etc.), mais elles ne peuvent être actuellement intégrées dans une fonction mécanique de diaphragme.

Pour la partie bois, nous trouvons :

- soit des solutions en dalles massives (planches ou lamelles parallèles clouées ou collées, planches ou lamelles croisées clouées ou collées) ;
- soit des poutres ou réseaux de poutres principalement en bois massif, bois massif reconstitué ou en bois lamellé-collé.

Pour la connexion entre bois et béton, de nombreux procédés existent par collage de surfaces planes, par contact par compression et cisaillement d'interfaces bois-béton usinées, ou par cisaillement de connecteurs métalliques de type goujons, vis, pointes, connecteurs à dents ou tubes, etc. Des combinaisons de systèmes de connexion par contact et par cisaillement d'organes peuvent fonctionner.

Parmi ces différentes solutions, on rencontrera plus usuellement les solutions suivantes pour des projets neufs :

- dalle massive-béton-maçonnerie chaînée ou béton armé ;
- dalle massive-béton-ossature bois ;
- poutraison connectée béton sur maçonnerie chaînée ou béton armé par liaison au niveau de la dalle ;
- poutraison connectée béton sur maçonnerie chaînée ou béton armé par liaison au niveau des poutres ;
- poutraison connectée béton sur ossature en bois ;

- poutraison connectée sur des murs en bois lamellé croisé collé ou cloué...

Pour des projets de réhabilitation, ce sont plutôt les solutions de poutres bois connectées à une nouvelle dalle en béton armé (poutres principales et éventuellement poutres secondaires). Les poutres sont le plus souvent « ancrées » par simple encuvement dans des murs en maçonnerie pas forcément chaînés. L'ancrage est dans ce cas encore primordial ; l'état du bois dans cette zone est à contrôler systématiquement afin de vérifier qu'il n'ait pas subi des attaques biologiques (pourrissement, insectes...). Si la liaison en cisaillement entre les poutres et les murs est souvent satisfaisante, la résistance en traction entre poutre et mur est le plus souvent insuffisante. La fonction de chaînage pour les murs est aussi le plus souvent absente ou insuffisante.

### 7.6.3. • Possibilité de chaînage des éléments verticaux

Dans le cas de création d'un niveau, il n'y a pas de chaînage à l'intersection entre le mur porteur existant et nouveau plancher. Dans le cas de reconstruction au même niveau, il peut ne pas y avoir de chaînage, notamment dans le cas de murs en maçonnerie ancienne. Dans les deux cas, il peut convenir alors de créer ce chaînage afin de s'assurer de la bonne répartition des efforts.

Selon le type de mur existant, ainsi que de la sismicité de la zone, plusieurs solutions sont possibles. Nous détaillons ci-dessous quelques solutions possibles, pour le cas usuel de murs en maçonnerie et hors zones d'exigences sismiques.

Une possibilité est toutefois laissée en rénovation de ne pas reprendre le chaînage des ouvrages verticaux existant dans la mesure où les murs ont subi une analyse mécanique et statistique selon la norme EN 1998-3 permettant d'attester de leur niveau de résistance.

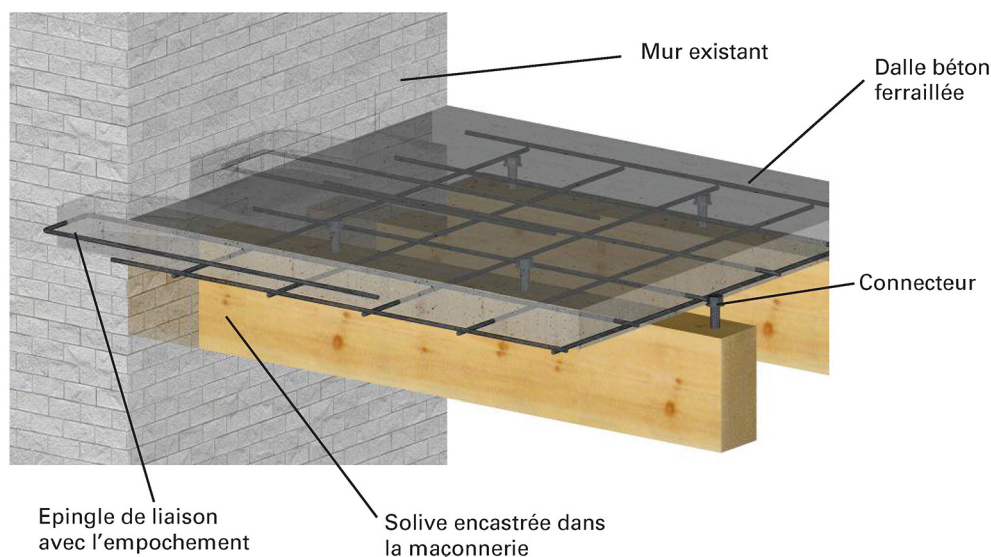
#### Chaînage dans l'épaisseur de la dalle + empochements

Les aciers filants du chaînage sont intégrés dans l'épaisseur de la table de compression, à proximité du mur. La liaison entre table de compression et mur est assurée, en plus de la liaison des solives, par des empochements réalisés dans la maçonnerie et bétonnés en même temps que la dalle.

L'entraxe des empochements est à moduler en fonction de l'entraxe des solives ; dans la plupart des cas on pourra mettre en œuvre un empochement entre chaque solive.

Cette solution est de mise en œuvre aisée, mais nécessite une épaisseur minimale de 7 à 8 cm pour la dalle, afin de pouvoir croiser dans son épaisseur les treillis soudés courants (y compris les recouvrements), les aciers filants et les aciers de liaison avec l'empochement.

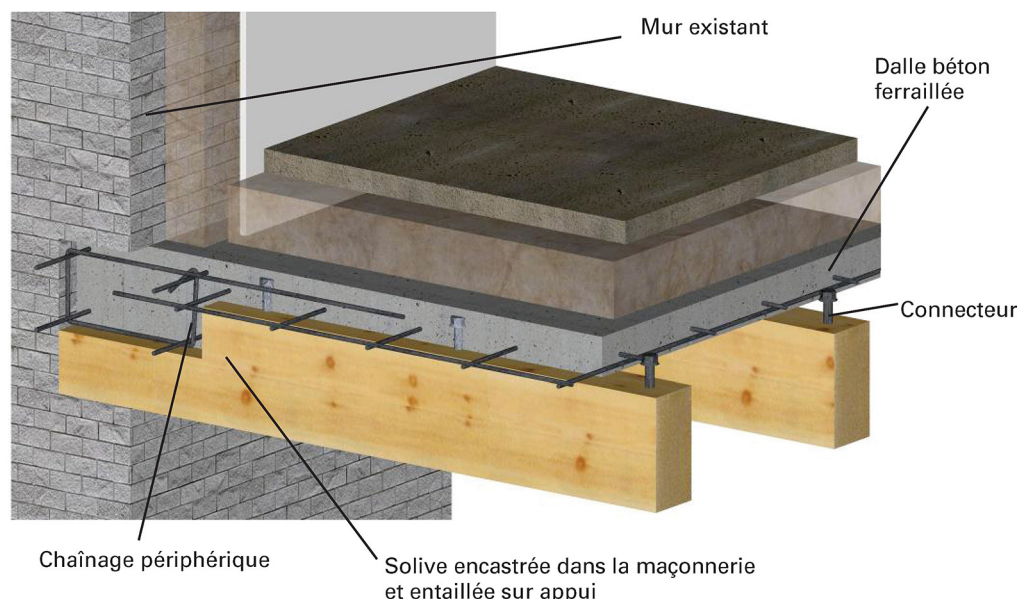
La présence du chaînage dans l'épaisseur de la dalle et non dans les murs peut présenter une alternative intéressante dans le cas de murs anciens dont la reprise est peu aisée. Cette technique peut s'avérer suffisante du point de vue de la reprise des charges horizontales due au vent mais n'est pas valide pour des zones d'exigences sismiques à moins d'ancrer la dalle béton dans des refends contreventants (cf. 7.6).



▲ Figure 57 : Création d'un chaînage périphérique dans l'épaisseur de la dalle béton – Ancrage de la dalle par empochements

### Chaînage adjacent au mur + empochements

Dans la plupart des cas, la section des solives est constante. Elle est souvent surabondante au droit des appuis vis-à-vis du cisaillement. On peut profiter de ce fait pour réaliser un « créneau » en face supérieure comprimée, permettant de faire passer un chaînage filant adjacent au mur.



▲ Figure 58 : Création d'un chaînage adjacent au mur – Ancrage de la dalle par empochements



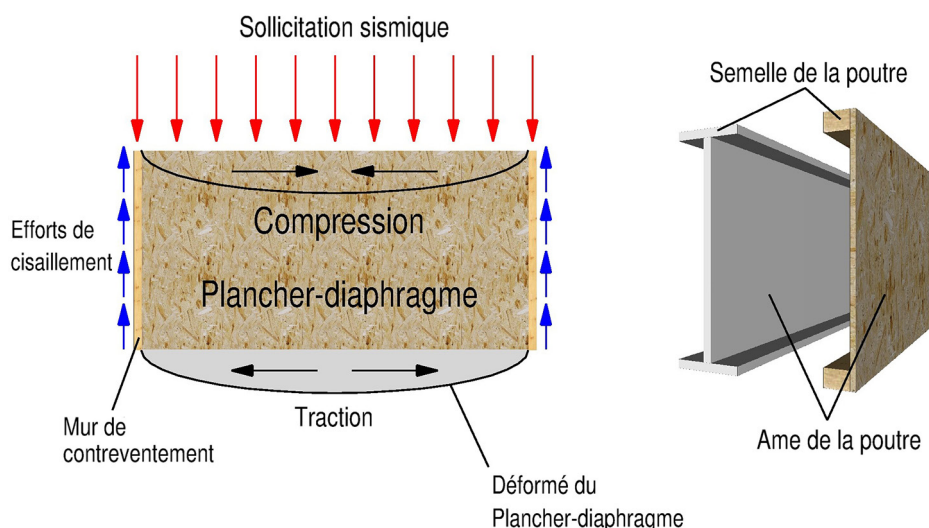
Cette solution permet de conserver une épaisseur faible de la dalle, mais nécessite des solives de hauteur conséquente.



**La création d'un chaînage empiétant sur la hauteur de solive tend à fragiliser les poutres sur appuis. Cette technique ne doit être utilisée qu'avec la certitude que la hauteur de solive est réellement surdimensionnée, d'une part, et que les poutres sont saines sur appuis, d'autre part. La nouvelle section de solives doit par ailleurs être justifiée vis à vis du risque de fendage depuis l'angle intérieur.**

#### 7.6.4. • Fonctionnement d'un plancher diaphragme horizontal mixte bois-béton et de ses connexions avec les murs de contreventement

Le plancher diaphragme peut être considéré comme une poutre courte horizontale qui aurait une section en I. Dans ce cas, les membrures reprennent les efforts de traction et de compression issus de la flexion dans le plan horizontal du plancher. L'âme nervurée ou non reprend les efforts tranchants. Ce mode de fonctionnement impose de matérialiser ces éléments pour les différentes configurations rencontrées. La (Figure 59) schématise ces principes.

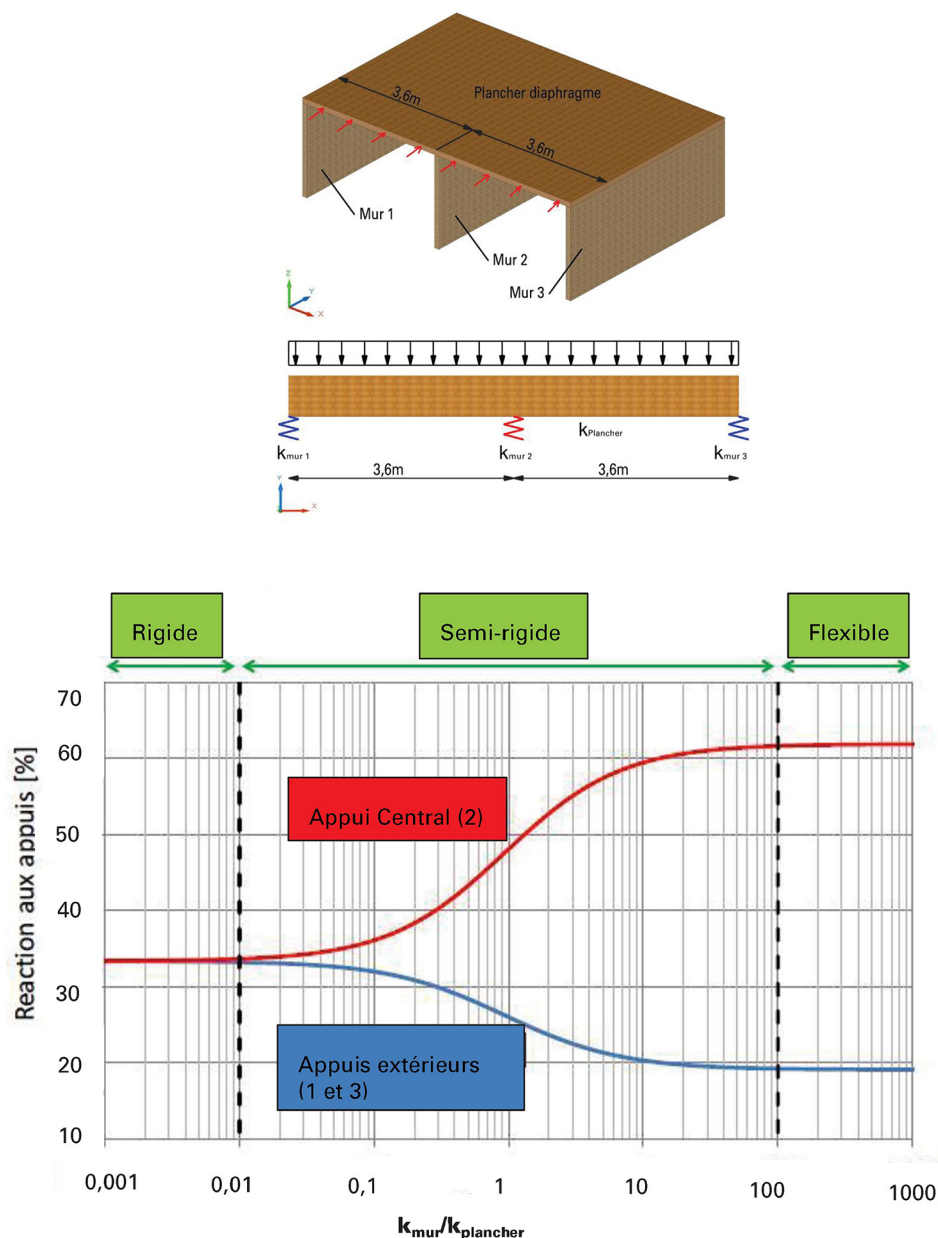


▲ Figure 59 : Similitude entre un plancher diaphragme et une poutre courte avec membrures

La rigidité et la résistance intrinsèques d'un plancher diaphragme, ainsi que celles de ses connexions avec les murs de contreventement est un point essentiel dans la démarche d'évaluation des efforts transférés aux murs de contreventement et dans la gradation des apparitions de zones ductiles.

La (Figure 60) illustre ce principe dans le cas d'un bâtiment avec deux façades et un mur de refend assurant la fonction de contreventement transversal. La (Figure 60) schématise le plancher diaphragme sur ses

appuis (les murs de contreventement) et rapporte l'effet de la rigidité relative du plancher diaphragme par rapport à celle des murs sur l'effort repris par chacun de ces murs de contreventement. Pour une conception cohérente avec les hypothèses de l'Eurocode 8, il convient de trouver du côté gauche du graphique le plancher diaphragme rigide.

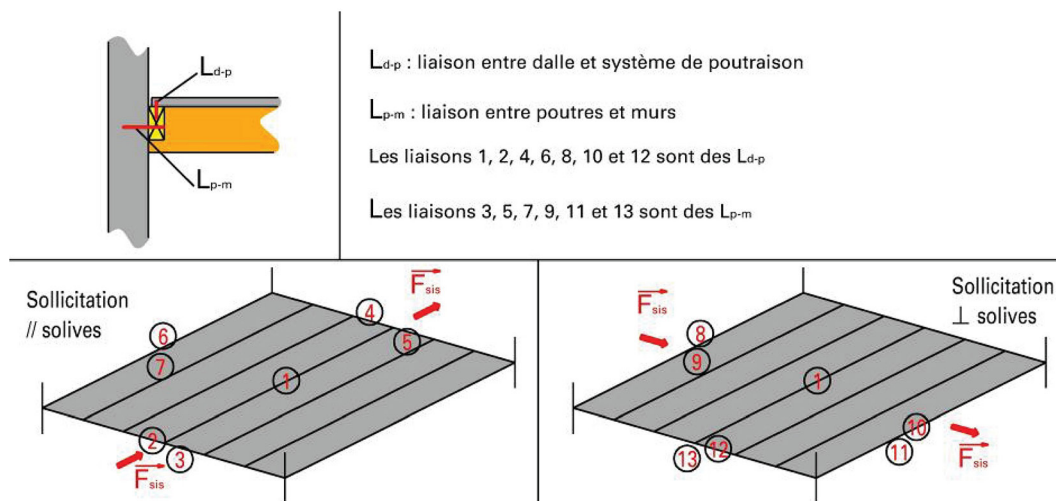


▲ Figure 60 : Illustration de la conséquence d'une baisse de rigidité du plancher diaphragme par rapport à celle des murs de contreventement

Il convient maintenant de répertorier les principaux efforts à reprendre entre la dalle, les poutres et les murs. La (Figure 61) propose un repérage des efforts entre la dalle et les éléments de poutraison et entre le plancher diaphragme et les murs. Ces liaisons étaient repérées de manière générique (a) et (c) sur la (Figure 55), et pour cette illustration, nous nous plaçons dans le cas où la dalle n'est pas directement reliée aux murs avec un transfert d'efforts décomposé ( $I_{d-p}$ ,  $I_{p-m}$ ) entre dalle et poutres et entre poutres et murs. Cette figure considère deux cas de chargement sismique : un pour lequel la force sismique est orientée parallèlement aux solives, et l'autre pour une force sismique perpendiculaire

aux solives. Les repères de la figure seront repris par la suite pour illustrer des principes de connexion.

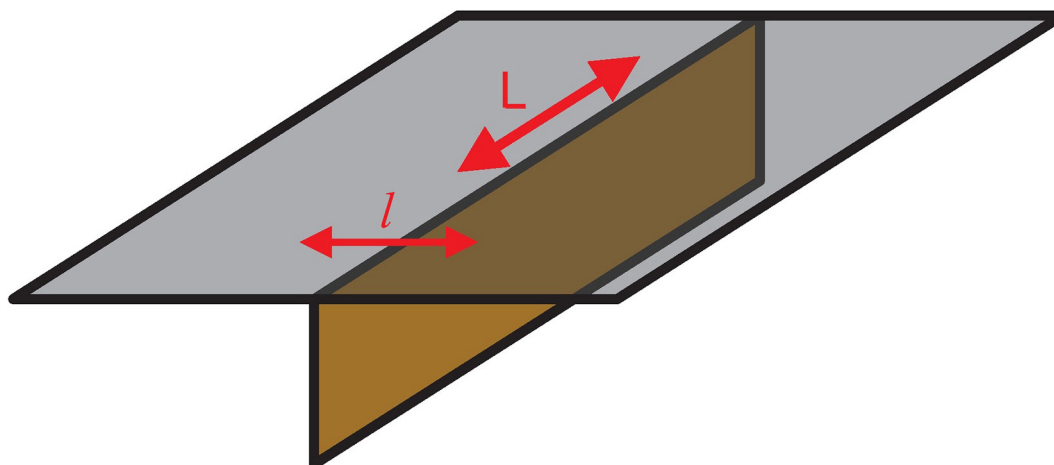
Les index de connexion sont définis dans la légende de la (Figure 61). Cette figure montre que des connexions entre poutres en bois et dalle en béton armé ne sont pas uniquement chargées parallèlement à l'axe des poutres. En effet, si la liaison indexée en 1 travaille en cisaillement longitudinal (L) pour assurer un fonctionnement mixte du plancher en flexion, les liaisons indexées 8 et 10 sont sollicitées latéralement (I). La (Figure 61) schématise ces deux types de chargement.



Index de connexion	Effort à transmettre par cette connexion
1	Reprise d'un effort de cisaillement entre les éléments du système de poutraison et la dalle en béton armé
3-9	Reprise d'un effort par appui latéral d'une façade sur un des côtés de la périphérie du plancher diaphragme
2-8	Transmission de cet effort des poutres à la dalle
5-11	Reprise d'effort de traction entre un mur de façade et un des côtés de la périphérie du plancher diaphragme
4-10	Transmission de cet effort des poutres à la dalle
6-12	Reprise d'un effort de cisaillement entre la dalle en béton armé et la poutre en bois périphérique
7-13	Reprise d'un effort de cisaillement entre la poutre périphérique en bois et le mur

▲ Figure 61 : Repérage des liaisons intégrées par les repères (a) et (c) de la (Figure 55)





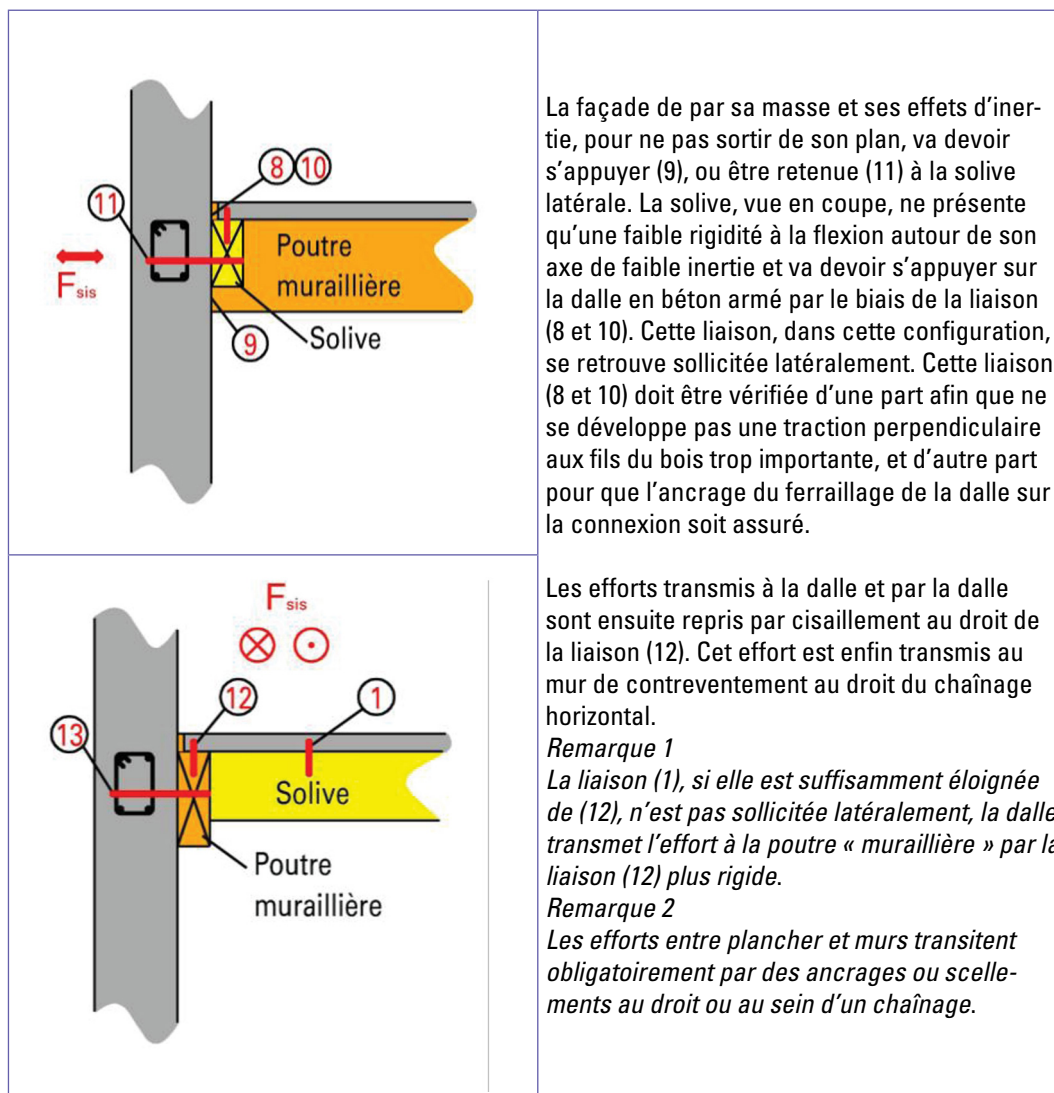
▲ Figure 62 : Orientation des efforts que doivent reprendre les connexions dalle-poutres (L : effort longitudinal, l : effort latéral)

### 7.6.5. • Illustrations de solutions génériques de liaisons entre plancher diaphragme et murs

Ce paragraphe propose des schémas commentés de liaisons entre plancher diaphragme et murs. Ces schémas sont commentés afin de définir ou de justifier les efforts qu'ils doivent reprendre. Dans un premier temps, ce sont des cas de planchers mixtes avec murs en maçonnerie chaînée ou en béton armé, qui sont présentés pour des situations de projet neuf. Ensuite, pour cette même situation, ce sont des planchers mixtes bois-béton associés à des murs en ossature bois qui sont illustrés. Enfin, quelques solutions de liaison entre murs existants maçonnés et un plancher mixte complètement nouveau ou réalisé sur une poutraison existante sont abordées.

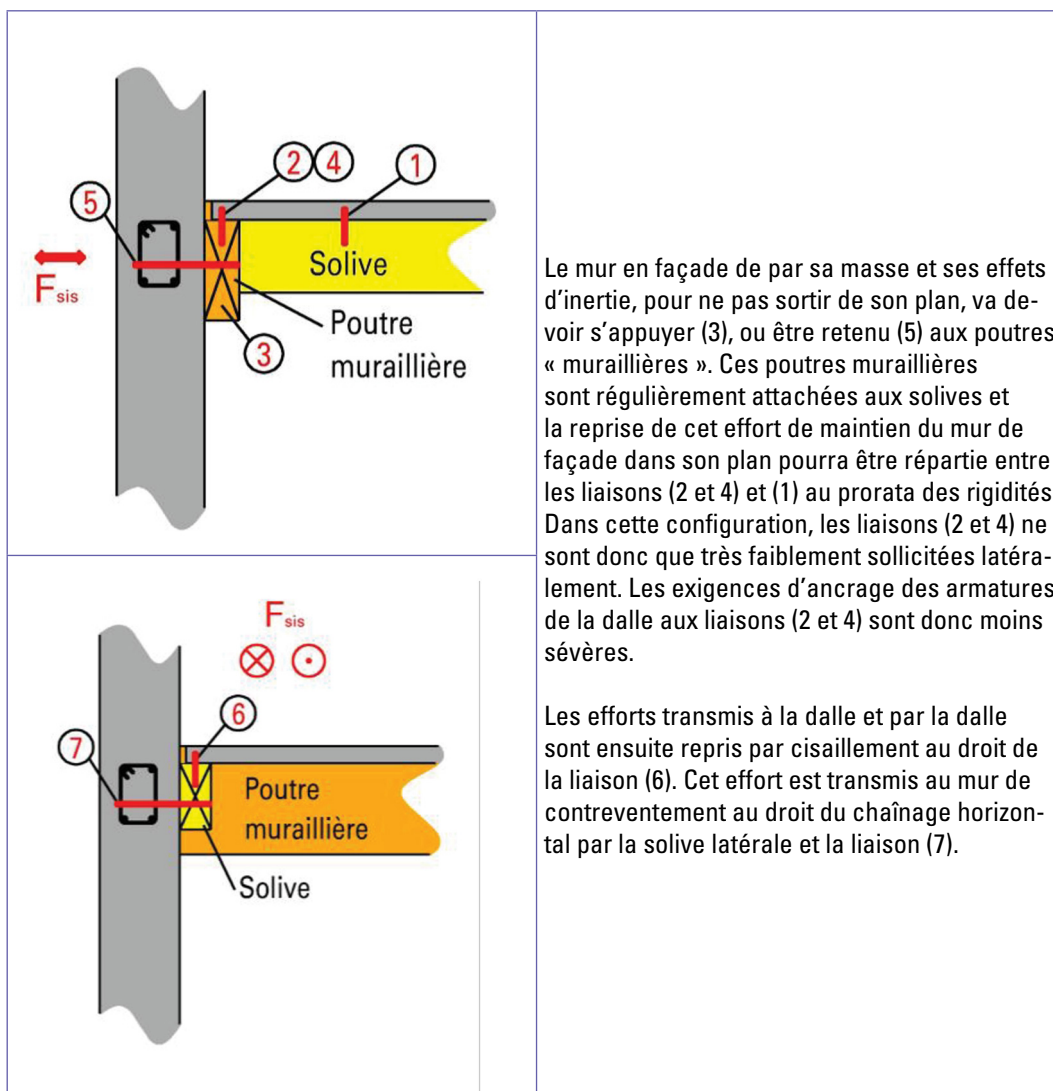
### 7.6.5.1. • Liaison entre plancher mixte bois-béton et murs en béton armé ou en maçonnerie chaînée

Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraille » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (A)



▲ Figure 63 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraille » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives

## Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraillière » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique parallèle aux solives (B)



▲ Figure 64 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraillière » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique parallèle aux solives

## Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraillière » engravée dans le mur de façade ou de refend (C)

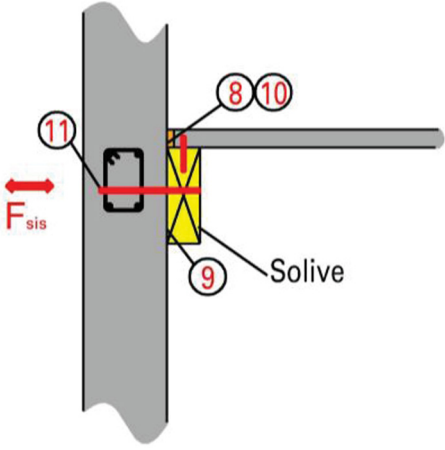
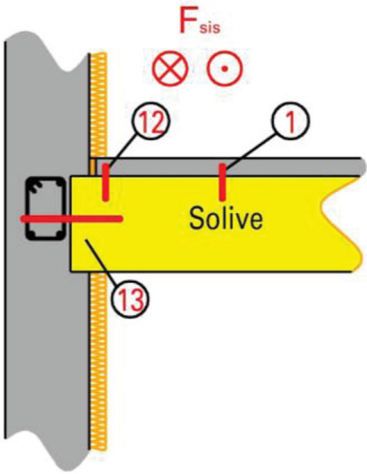
Cette configuration facilite la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher. Pour une sollicitation perpendiculaire aux solives, les schémas sont identiques à la configuration précédente (A). Les schémas de la configuration avec sollicitation parallèle aux solives sont présentés ici.

	<p>Cette configuration impose généralement une poutre « muraillière » légèrement plus large que la configuration en applique simple. La faible sollicitation latérale pour la liaison (2 et 4) rappelée en B est également valable ici, cependant il faudra vérifier la condition de distance au bord latéral de ces connexions pour les sollicitations perpendiculaires aux solives, cas de la liaison (12) notamment.</p>
	<p><b>Remarque</b> L'engravure peut être continuée sur la hauteur de la dalle et ainsi faciliter l'implantation de la connexion assurant la liaison (2).</p> <p>Les efforts transmis à la dalle et par la dalle sont ensuite repris par cisaillement au droit de la liaison (6). Cet effort est transmis au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal par la solive latérale et la liaison (7).</p>

▲ Figure 65 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraillière » engravée dans le mur de façade ou de refend

## Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, avec solives directement liaisonnées aux murs de façade ou de refend, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (D)

Cette configuration est efficace pour la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher.

	<p>La façade de par sa masse et ses effets d'inertie, pour ne pas sortir de son plan, va devoir s'appuyer (9), ou être retenue (11) aux deux solives latérales. La solive, vue en coupe, ne présente qu'une faible rigidité à la flexion autour de son axe de faible inertie et va devoir s'appuyer sur la dalle en béton armé par le biais de la liaison (8 et 10). Cette liaison, dans cette configuration, se retrouve sollicitée latéralement. Cette liaison (8 et 10) doit être vérifiée d'une part afin que ne se développe pas une traction perpendiculaire aux fils du bois trop importante, et d'autre part pour que l'ancrage du ferrailage de la dalle sur la connexion soit assuré.</p>
	<p>Les efforts transmis à la dalle et par la dalle sont ensuite repris par cisaillement au droit de la liaison (12). Cet effort est enfin transmis, par appui latéral des solives (13), au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal.</p> <p><b>Remarque 1</b> La présence d'un éventuel jeu au droit de « l'ancrage » des faces latérales des solives entraînerait des efforts perpendiculaires aux fibres du bois au droit de la liaison non indexée sur le schéma ci-contre ; ce jeu est à éviter.</p> <p><b>Remarque 2</b> Cette solution présente une difficulté pour assurer une isolation entre étages vis-à-vis du feu. Elle nécessite l'utilisation en nez de dalle d'un isolant coupe-feu.</p>

▲ Figure 66 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, avec solives directement liaisonnées aux murs de façade ou de refend, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives

## Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, avec solives directement liaisonnées aux murs de façade ou de refend, sollicitation sismique parallèle aux solives (E)

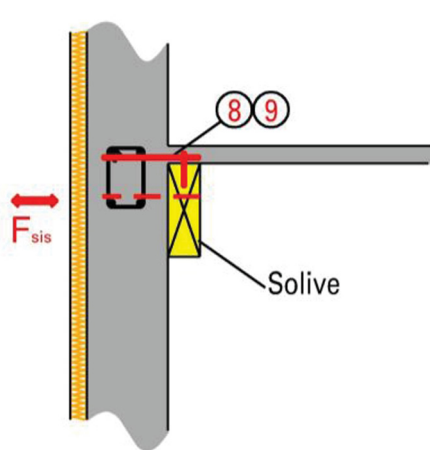
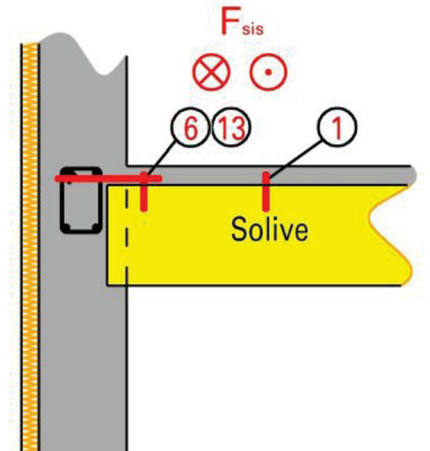
Cette configuration est efficace pour la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher.

	<p>Le mur en façade de par sa masse et ses effets d'inertie, pour ne pas sortir de son plan, va devoir s'appuyer (3), ou être retenu aux nez des solives (5). Ces liaisons ne sont pas forcément aisées à réaliser. On peut envisager le clouage d'éléments métalliques sur les faces latérales des solives, éléments ancrés au droit du chaînage horizontal des murs. Cet effort est ensuite transmis à la dalle par les liaisons (2 et 4) et (1)</p> <p><b>Remarque 1</b> Cette solution présente une difficulté pour assurer une isolation entre étages vis-à-vis du feu. Elle nécessite l'utilisation en nez de dalle d'un isolant coupe-feu.</p>
	<p>Les efforts transmis à la dalle et par la dalle sont ensuite repris par cisaillement au droit de la liaison (6). Cet effort est enfin transmis, par appui latéral des solives (7), au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal.</p> <p><b>Remarque 2</b> L'appui des solives sur une partie de l'épaisseur du mur suppose qu'il reste suffisamment de place pour mettre correctement en œuvre le chaînage horizontal dans la partie restante du mur.</p>

▲ Figure 67 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, avec solives directement liaisonnées aux murs de façade ou de refend, sollicitation sismique parallèle aux solives

## Plancher diaphragme connecté directement au droit de la dalle en béton armé aux murs de façade ou de refend au droit d'un chaînage horizontal,, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (F)

Cette configuration est efficace pour la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher.

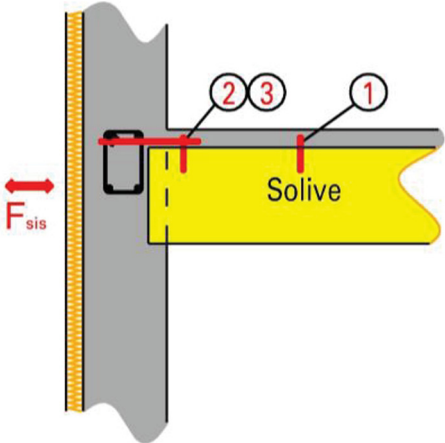
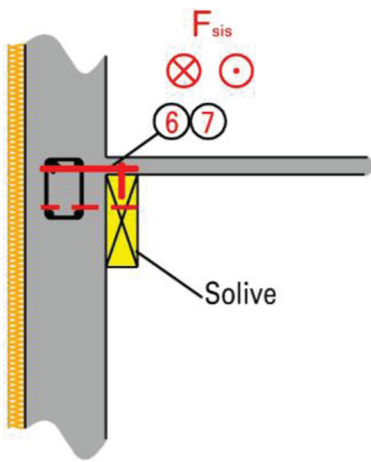
	<p>Le transfert des effets d'inertie associés à la masse de la façade est concentré sur la liaison (8 et 9) pour reprendre un effort de traction ou de compression.</p> <p><b>Remarque 1</b> La liaison de la solive latérale relève plus de fixation de montage que de liaison permettant un transfert d'effort sismique.</p>
	<p>Les efforts transmis à la dalle et par la dalle sont ensuite repris par cisaillement au droit de la liaison (6 et 13) pour le transmettre au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal.</p> <p><b>Remarque 2</b> L'appui des solives sur une partie de l'épaisseur du mur suppose qu'il reste suffisamment de place pour mettre correctement en œuvre le chaînage horizontal dans la partie restante du mur.</p>

▲ Figure 68 : Plancher diaphragme connecté directement au droit de la dalle en béton armé aux murs de façade ou de refend au droit d'un chaînage horizontal, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives



## Plancher diaphragme connecté directement au droit de la dalle en béton armé aux murs de façade ou de refend au droit d'un chaînage horizontal, sollicitation sismique parallèle aux solives (G)

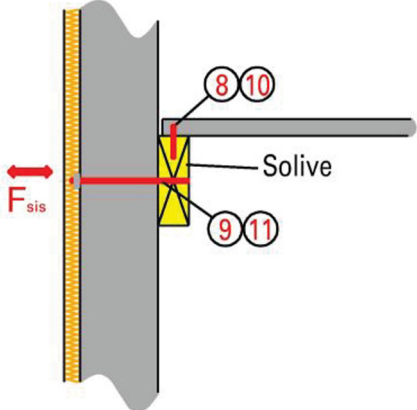
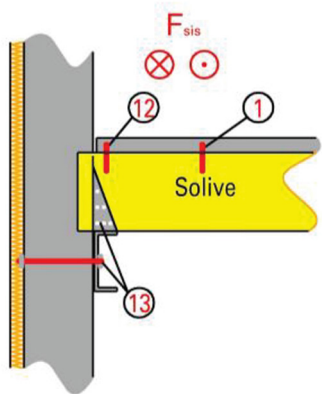
Cette configuration est efficace pour la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher.

	<p>Le transfert des effets d'inertie associés à la masse de la façade est concentré sur la liaison (2 et 3) pour reprendre un effort de traction ou de compression.</p> <p>Les efforts transmis à la dalle et par la dalle sont ensuite repris par cisaillement au droit de la liaison (6 et 7) pour le transmettre au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal.</p>
	<p><b>Remarque 1</b> La liaison de la solive latérale relève plus de fixation de montage que de liaison permettant un transfert d'effort sismique.</p> <p><b>Remarque 2</b> L'appui des solives sur une partie de l'épaisseur du mur suppose qu'il reste suffisamment de place pour mettre correctement en œuvre le chaînage horizontal dans la partie restante du mur.</p>

▲ Figure 69 : Plancher diaphragme connecté directement au droit de la dalle en béton armé aux murs de façade ou de refend au droit d'un chaînage horizontal, sollicitation sismique parallèle aux solives

## 7.6.5.2. • liaison plancher mixte bois-béton et murs existants en maçonnerie

Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (H)

	<p>La solive latérale existante ou rapportée permet d'assurer une fonction de chaînage horizontal. Cette solive est connectée au mur existant par des tirants régulièrement espacés. Un plat métallique en extérieur permet de répartir les efforts associés au maintien de la façade dans son plan. Dans le cas d'une isolation par l'extérieur l'extrémité externe de la liaison (9 et 11) n'est plus visible. La liaison (8 et 10) est soumise à un effort latéral important de par la masse importante des murs qui peuvent être épais dans les cas de rénovation. Cette solive peut être renforcée pour être moins sensible à la traction perpendiculaire aux fibres.</p> <p><b>Remarque 1</b> L'extrémité de la solive latérale doit être ancrée à ses extrémités dans les murs perpendiculaires. La configuration proposée en (F) et figure 67 peut être une solution. Dans le cas d'efforts, perpendiculaires en travée et axiaux en extrémité, à reprendre trop importants on peut remplacer cette solive par un profilé métallique de type UPE avec raidisseurs par exemple.</p>
	<p>Le profilé en U, associé à des boîtiers ou des équerres permet d'assurer la fonction chaînage horizontal. L'effort de cisaillement est repris les liaisons (12) et (13). L'appui latéral des solives au droit de l'encuvement peut participer au transfert de cet effort de cisaillement.</p> <p><b>Remarque 2</b> Les extrémités du profil en U doivent être ancrées dans les murs perpendiculaires.</p> <p><b>Remarque 3</b> Cette solution n'est possible que si la présence de ce profil en U est possible.</p>

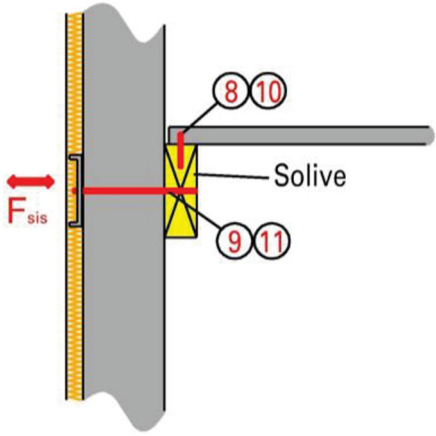
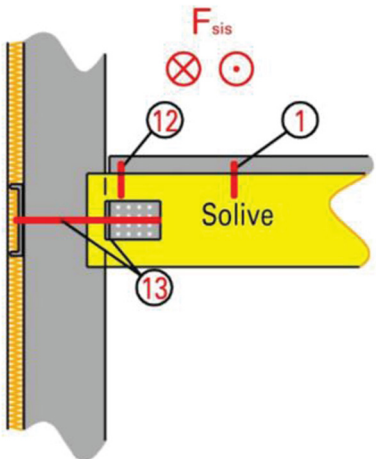
▲ Figure 70 : Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives

## Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes, sollicitation sismique parallèle aux solives (I)

	<p>La solive latérale permet d'assurer une fonction de chaînage horizontal. Cette solive est connectée au mur existant par des tirants régulièrement espacés. La liaison (7) reprend un effort de cisaillement horizontal entre la solive et le mur. La liaison (6) transmet cet effort de la dalle à la solive.</p> <p><b>Remarque 1</b> L'extrémité de la solive latérale doit être ancrée à ses extrémités dans les murs perpendiculaires. La configuration proposée en E peut être une solution.</p>
	<p><b>Remarque 2</b> Si cet ancrage d'extrémité n'est pas efficace, un transfert via les connexions dalle-solives et ancrage des solives dans le mur perpendiculaire nécessite une vérification spécifique.</p> <p>Le transfert de l'effort induit par le maintien de la façade dans son plan nécessite une vérification du clouage de la solive sur le boîtier ou les équerres. La liaison (2 et 4) transmet cet effort à la dalle.</p> <p><b>Remarque 3</b> Le profilé en U doit être protégé vis-à-vis de sa résistance au feu.</p>

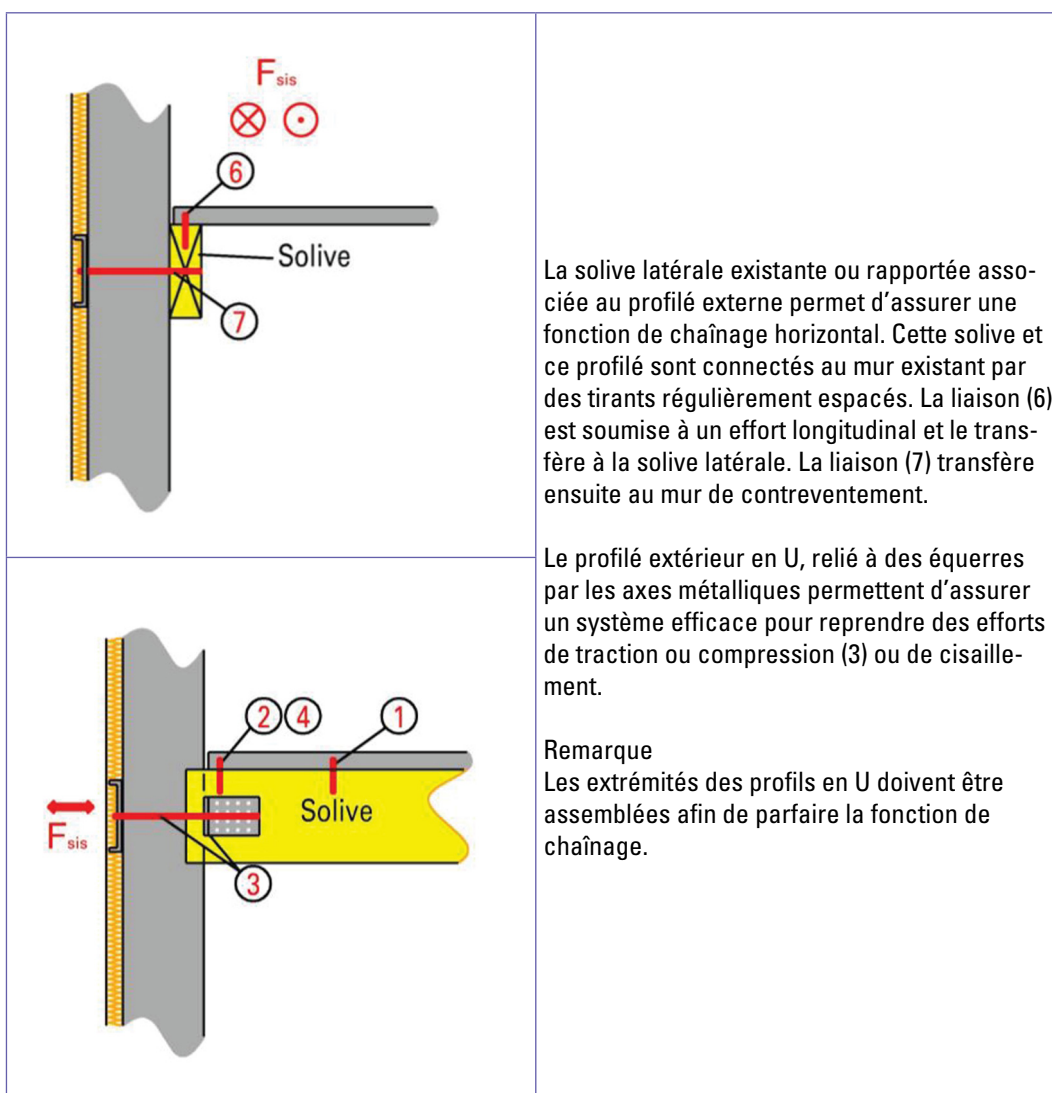
▲ Figure 71 : Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes, sollicitation sismique parallèle aux solives

## Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes et profilés externes, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (J)

	<p>La solive latérale existante ou rapportée associée au profilé externe permet d'assurer une fonction de chaînage horizontal. Cette solive et ce profilé sont connectés au mur existant par des tirants régulièrement espacés. Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, le profilé peut être caché. La liaison (8 et 10) est soumise à un effort latéral important de par la masse importante des murs qui peuvent être épais dans les cas de rénovation. Cette solive peut être renforcée pour être moins sensible à la traction perpendiculaire aux fibres ou remplacée par un autre profilé métallique.</p>
	<p>Le profilé extérieur en U, relié à des équerres par les axes métalliques permettent d'assurer un système efficace pour reprendre des efforts de cisaillement (13) ou de traction-compression. La liaison (12) transfère des efforts latéraux importants. Si cet effort est trop important pour la connexion, des entretoises entre les solives peuvent être mises en place, connectées aux solives par des boîtiers ou des étriers par exemple, et connectée à la dalles. Ces dernières connexions travaillent alors sous effort longitudinal.</p> <p><b>Remarque</b> Les extrémités des profils en U doivent être assemblées afin de parfaire la fonction de chaînage.</p>

▲ Figure 72 : Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes et profilés externes, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives

### Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes et profilés externes, sollicitation sismique parallèle aux solives (K)



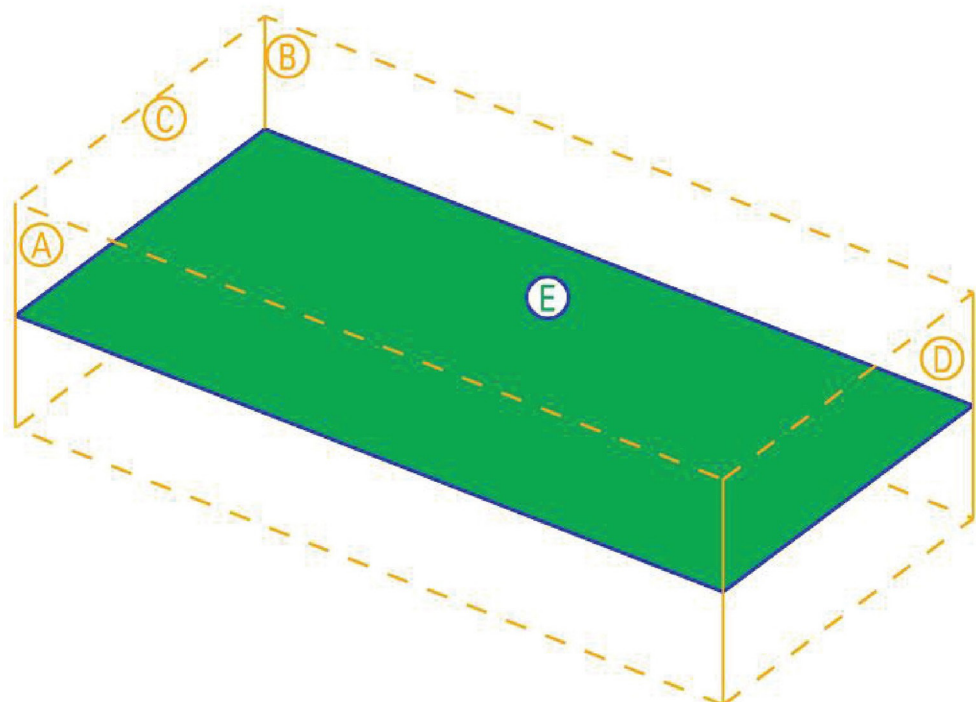
▲ Figure 73 : Plancher diaphragme connecté à un mur existant en maçonnerie non chaînée par le système de poutres existantes et profilés externes, sollicitation sismique parallèle aux solives

#### 7.6.5.3. • Évaluation des efforts à reprendre par les connexions

Les efforts que doivent reprendre les différentes connexions doivent être calculés précisément pour chaque situation, chaque combinaison et chaque configuration. Les quelques formules proposées dans ce paragraphe permettent uniquement d'illustrer une approche extrêmement simplifiée pour évaluer l'ordre de grandeur de ces efforts. Pour ce faire, il est nécessaire de distinguer les masses des différents murs et planchers affectés à un étage. La (Figure 73) présente le cas d'un étage de bâtiment avec quatre murs de façade et un plancher. La masse affectée à l'étage  $m_{\text{étage}}$  est égale à :

$$m_{\text{étage}} = m_A + m_B + m_C + m_D + m_E$$

La masse  $m_E$  intègre la masse propre du plancher et la masse issue de la part permanente des charges d'exploitation.



▲ Figure 74 : Décomposition des masses d'étage en masse de chaque mur et masse associée au plancher :  $m_A$ ,  $m_B$ ,  $m_C$ ,  $m_D$  et  $m_E$

Les liaisons 2 et 3, ainsi que 4 et 5 (Figure 60) doivent reprendre  $m_A \times \gamma_{\text{étage}}$  ou  $m_B \times \gamma_{\text{étage}}$ . Les liaisons 8 et 9, ainsi que 10 et 11 doivent reprendre  $m_C \times g_{\text{étage}}$  ou  $m_D \times \gamma_{\text{étage}}$  où :

- $\gamma_{\text{étage}}$  représente l'accélération que subit l'étage considéré en situation sismique. Cette accélération peut être grossièrement approchée par la formule suivante :
- $\gamma_{\text{étage}} = a_g \times (2,5/q) \times (z_{\text{étage}}/h)$  où  $q$  représente le coefficient de comportement.

Pour la globalité de l'étage, les liaisons 6, 7, ainsi que 12 et 13 doivent pouvoir reprendre :

$$(m_5 + m_4 + m_3) \times \gamma_{\text{étage}} \text{ ou } (m_5 + m_2 + m_1) \times \gamma_{\text{étage}}$$

Pour obtenir un effort de cisaillement par mètre de mur de contreventement, il convient de diviser le résultat de ces deux dernières formules par la longueur de mur de contreventement dans la direction associée à chacune de ces deux formules.

Une autre solution pour déterminer la résistance de connexion est de la calculer à partir de la résistance des murs de contreventement et de multiplier cette résistance par un coefficient de surdimensionnement compris entre 1,1 et 1,3. La connexion doit résister au maximum des valeurs obtenues par ces deux approches.

## 7.7. • Finition et aspect

Les revêtements souples ou en pose flottante sont à préférer.

L'utilisation de revêtements de sol fragiles ne supportant pas de grandes déformations (carrelages notamment) doit être faite en lien avec le dimensionnement des planchers. Seuls les planchers dimensionnés afin de limiter leur flèche au 1/500 de la portée peuvent accueillir ces revêtements. La pose de ces revêtements fragiles sur les appuis intermédiaires doit être faite en vérifiant de la même façon que le dimensionnement sur appuis permet des déformations compatibles avec les fragilités (cf § III 7.2.4.2 de la norme).

Dans le cas où la poutraison de plancher est destinée à rester apparente, des exigences de choix d'aspect du bois scié peuvent être spécifiées. On se réfère pour cela aux normes NF EN 1611-1/A1 « Bois sciés – Classement d'aspect des bois résineux – Partie 1 : épicéas, sapins, pins, Douglas et mélèzes européens », mars 2003, ou NF EN 975-1 « Bois sciés – Classement d'aspect des bois feuillus – Partie 1 : chêne et hêtre », avril 2009.

L'application d'une finition, qui apporte une protection superficielle, permet de rehausser et conserver l'aspect d'origine du bois et de le rendre moins salissant. Les travaux de finition doivent être exécutés conformément au DTU 59.1 « Revêtements de peinture en feuil mince, semi-épais, ou épais », à l'aide d'un produit adapté au support bois.

Une amélioration de la réaction au feu peut être apportée par une finition possédant des propriétés ignifuges (par exemple, peinture ou vernis intumescent).

## 7.8. • Durabilité

On veillera à concevoir les planchers de façon à éviter tout risque de dégradation par humidification des poutres en bois. Les risques d'humidification par remontés capillaires et les risques de condensation sont à surveiller. L'utilisation des techniques d'appui direct des poutres sur les murs ou d'encastrement sont génératrices de risques de désordre. Les appuis déportés sur muraillière et/ou sabot ou l'utilisation des poutres suspendues constituent des solutions plus pérennes.

Les éléments en bois constitutifs du plancher doivent avoir une durabilité vis-à-vis des agents de dégradation biologique (champignons et insectes xylophages, y compris termites) compatible avec la classe d'emploi liée à leur condition d'humidification en œuvre.

Les classes d'emploi sont définies dans la norme NF EN 335, « Durabilité du bois », mai 2013.





**La conception globale de l'ouvrage doit faire en sorte d'empêcher ou de limiter le risque d'humidification des pièces de bois du plancher, afin de pouvoir les affecter en classe d'emploi 1 ou 2 au plus.**

Les classes d'emploi 1 et 2 sont :

- classe d'emploi 1 : le produit est sous abri, non exposé aux intempéries et à l'humidification ;
- classe d'emploi 2 : le produit est sous abri, non exposé aux intempéries, mais où une humidité ambiante élevée peut conduire à une humidification occasionnelle mais non persistante.

La durabilité de l'essence de bois utilisée, vis-à-vis des agents de dégradation biologique, peut être naturelle ou conférée.

La durabilité naturelle des principales essences de bois est donnée dans la norme NF EN 350-2, « Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Durabilité naturelle du bois massif – Partie 2 : guide de la durabilité naturelle du bois et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe », juillet 1994.

Si la durabilité naturelle de l'essence utilisée est insuffisante pour la classe d'emploi visée, la résistance vis-à-vis des agents de dégradation biologique devra être améliorée par un procédé de traitement de préservation adapté. Il conviendra de s'assurer du traitement des coupes et usinage.

Les éléments en bois constitutifs du plancher participent à la stabilité de l'ouvrage et doivent donc également répondre aux exigences de protection réglementaire vis-à-vis des détériorations par les insectes à larves xylophages et les termites, suivant le décret n°2006-591 du 23 mai 2006, précisé par l'arrêté du 27 juin 2006.

La protection vis-à-vis du risque insecticide et termiticide peut être combinée avec la fonction antifongique dans le procédé de traitement de préservation.

Le fascicule de documentation FD P20-651 « Durabilité des éléments et ouvrages en bois », juin 2011, donne les performances de durabilité fongique et de résistance aux insectes des principales essences de bois vis-à-vis des agents de dégradation biologique, suivant que l'on considère la durabilité naturelle du bois purgé d'aubier ou la durabilité conférée par un produit de traitement.

Vis-à-vis du risque fongique, la durabilité est exprimée de la manière suivante :

- L3 : longévité supérieure à 100 ans ;
- L2 : longévité comprise environ entre 50 et 100 ans dans l'utilisation initialement prévue ;



- L1 : longévité comprise environ entre 10 et 50 ans dans l'utilisation initialement prévue ;
- N : longévité incertaine et dans tous les cas inférieure à 10 ans (solution à ne pas prescrire).

Le (Tableau 10) récapitule les performances des principales essences de bois tempéré utilisées en France pour la construction de plancher en classe d'emploi 2.

Essence	Bois purgé d'aubier utilisé en classe d'emploi 2 **			Bois avec aubier, traité pour utilisation en classe d'emploi 2		
	Durabilité fongique	Résistance aux insectes à larves xylophages	Résistance aux termites (***)	Durabilité fongique	Résistance aux insectes à larves xylophages (****)	Résistance aux termites (****)
Châtaignier	L3	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Chêne (rouvre et / ou pédonculé)	L3	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Peuplier blanc (*)	L2	<b>NON</b>	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Douglas	L1	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Épicéa (*)	L2	<b>NON</b>	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Mélèze d'Europe	L3	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Pin maritime	L3	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Pin sylvestre	L3	oui	<b>NON</b>	L1	oui	oui
Sapin blanc (*)	L2	<b>NON</b>	<b>NON</b>	L1	oui	oui

(\*) Pour ces essences, l'aubier est peu ou pas distinct du duramen à l'état sec.  
 (\*\*) Les performances sont données pour des essences de bois purgées d'aubier ; une tolérance sur la présence d'aubier peut être admise (cf. DTU 31.1).  
 (\*\*\*) Certaines essences ont une résistance moyenne vis-à-vis des termites (voir NF EN 350-2), elles ont été considérées comme non résistantes.  
 (\*\*\*\*) Dans ce cas, la durabilité vis-à-vis des termites et des insectes à larves xylophages est apportée par des produits adaptés.

▲ **Tableau 10** : Principales essences de bois tempéré utilisées pour la construction de planchers

Vide sanitaire bien ventilé 1/150 <sup>ème</sup>	Classe d'emploi 2 Classe de service 2
Vide sanitaire moyennement ventilé 1/250 <sup>ème</sup>	Classe d'emploi 2 ou 3 Classe de service 2
Vide sanitaire avec risque de stagnation d'eau ou faiblement ventilé 1/500 <sup>ème</sup>	Classe d'emploi 3 Classe de service 2
Note : un pare vapeur doit être fixé sur la sous face du plancher	

▲ **Tableau 11** : Surface totale minimum des orifices de ventilation du vide sanitaire



**L'utilisation de plancher sur vide sanitaire présente un risque élevé de sinistralité due aux possibles attaques biologiques. En cas de choix de cette solution, on veillera à ce que la ventilation du vide sanitaire soit assurée selon les prescriptions du DTU 31.2, § 6.7. et du DTU 51.3 § 5.2.2, tableau 4.**

# Annexe – Exemple d'attestation de bon dimensionnement du plancher bois en support de dalle

8



## Charges provisoires reprises par le plancher bois seul (avant constitution de la section mixte)

Compléter le tableau suivant :

Éléments	Épaisseur (cm) ou section (cm <sup>2</sup> )	Poids surfacique (daN/m <sup>2</sup> )
Solives bois (G1)		
Platelage bois (G2)		
Béton frais ( $Q_{co}$ )		
Surcharge d'accumulation de béton totale ( $Q'_{co} + Q''_{co}$ )		
Charges de chantiers ( $Q_s$ )		
Autres		
Total		

▲ **Tableau 12** : Charges provisoires reprises par le plancher bois seul

## Justification du dimensionnement

Cocher les cases attestant du bon dimensionnement des ouvrages de plancher sous les charges renseignées ci-dessus :

	Justification de résistance à l'Etat Limite Ultime	Justification de déformation à l'Etat Limite de Service	
		Valeur limite de la Flèche active*	
		$\leq L/500$	Exigence spécifique
Eléments structuraux			
Plancher (panneaux, lames ou planches)			

\*Flèche active =  $w_{fin} - w_{Ginst}$

Avec  $w_{fin}$  = flèche finale,  $w_{Ginst}$  = flèche due à l'ensemble des charges permanentes (G) antérieures à la mise en œuvre de la chape ou des éléments de second œuvre à protéger en cas d'exigence spécifique

▲ **Tableau 13** : Justification du dimensionnement

## Visa

Responsable du dimensionnement	Qualité	
	Maître d'ouvrage	
	Maître d'œuvre	
	Entreprise de charpente	
	Autre (à préciser)	

▲ Tableau 14 : Visa

## PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOVA) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.





Les recommandations professionnelles RAGE « Mise en œuvre et isolation des planchers mixtes bois béton en rénovation » ont pour objectif de donner aux professionnels les règles à suivre pour assurer une bonne conception et une bonne mise en œuvre des planchers mixtes bois béton utilisés en rénovation.

La vocation de ce document est de généraliser l'utilisation de cette technique dans des conditions permettant de tirer le meilleur de ses possibilités. L'accent a été mis sur les performances thermiques pouvant être revendiquées et sur la possibilité de les obtenir au regard des autres exigences fondamentales que sont l'acoustique ou la stabilité, y compris en zone sismique.

Ces recommandations proposent également des dispositions propres aux différents intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise, etc.) quant à la réalisation d'une opération de plancher mixte.

Des informations spécifiques à la rénovation y sont regroupées, telles que la réalisation du diagnostic de l'existant, les différentes possibilités de réutilisation de l'existant vis-à-vis du risque sismique ou encore les techniques d'étalement propres à ce type d'opération.

Enfin, ce document constitue un état de l'art des dispositions classiquement utilisées pour ce procédé afin de franchir une nouvelle étape vers sa reconnaissance, préalable à de potentiels travaux de normalisation.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

## « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

[www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr](http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr)

