



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

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

MARS 2015

NEUF

ÉDITO

Le 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

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

1 - Introduction	5
2 - Domaine d'application.....	8
3 - Références	9
4 - Glossaire	14
5 - Composition et fabrication.....	21
5.1. • Éléments constitutifs.....	21
5.2. • Contrôles de production.....	27
6 - Principes de mise en œuvre	28
6.1. • Mesures de sécurité sur chantier.....	28
6.2. • Principes généraux de mise en œuvre.....	31
7 - Conception et dimensionnement	41
7.1. • Stabilité en phase provisoire	41
7.2. • Stabilité en phase définitive	45
7.3. • Sécurité au feu	66
7.4. • Thermique.....	68
7.5. • Acoustique	85
7.6. • Séismes	93
7.7. • Finition et aspect	109
7.8. • Durabilité.....	109

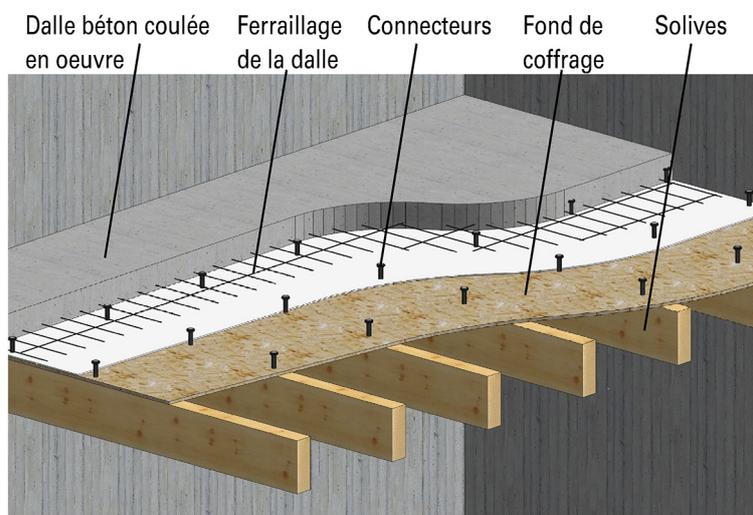
Introduction

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, étaielement, 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 construction neuve exclusivement.

Références

3

- 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 – Évaluation 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 – Évaluation 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 performance 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



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 mise 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 coté 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.

CECFMI

Comité d'Etudes et de Classification des Matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'Incendie (CECFMI). 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 λ , 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 mouvements 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, étrésillon, 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.

Muraille (muraille)

Une muraille 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, régissant

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.

Composition et fabrication

5



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 DTU 31.1. 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 NF 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 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 admissible d'une pièce de bois, doit être conforme aux limites admises dans la 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...).

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



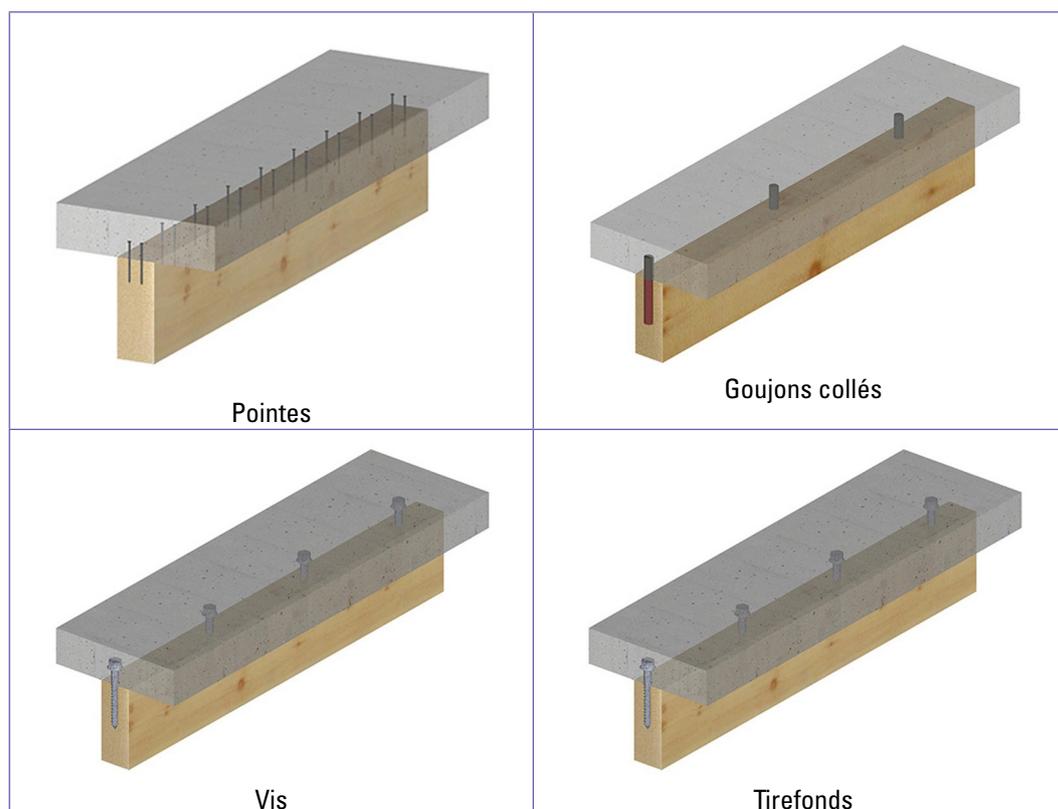
des considérations de forme propre à chaque connecteur du marché, ils sont en général composés :

- 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

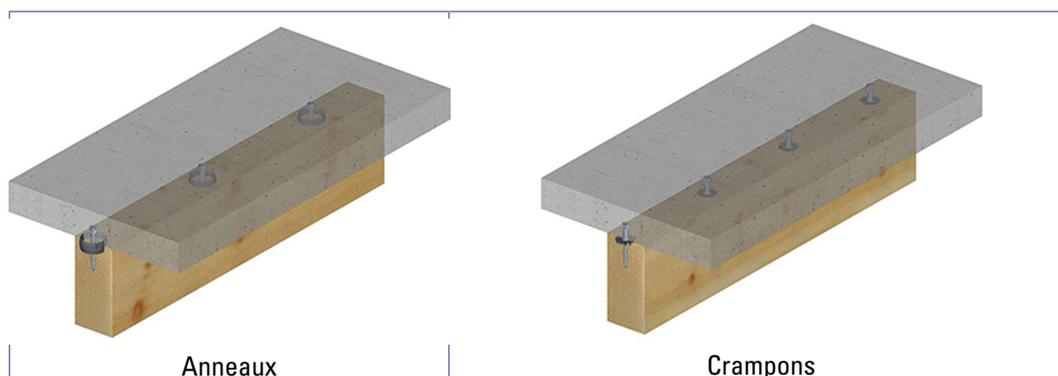
Les principaux types de liaison utilisés sont présentés ci-dessous.

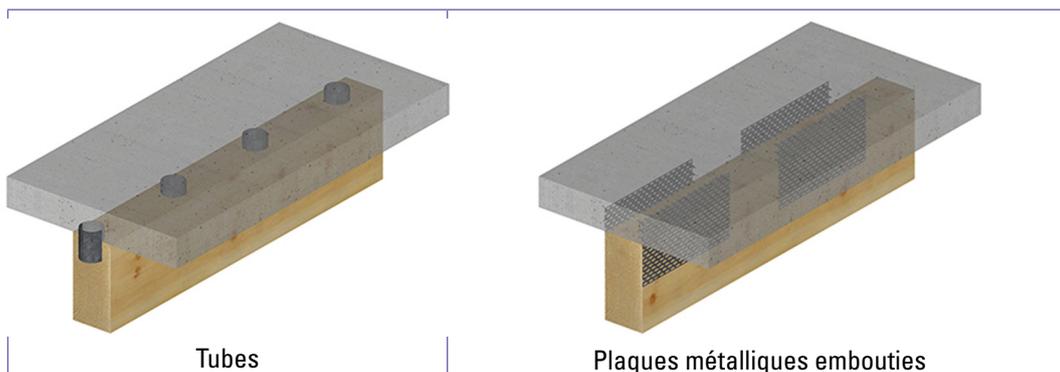
- Organes métalliques de type tige



▲ Figure 2 : Organes métalliques de type tige

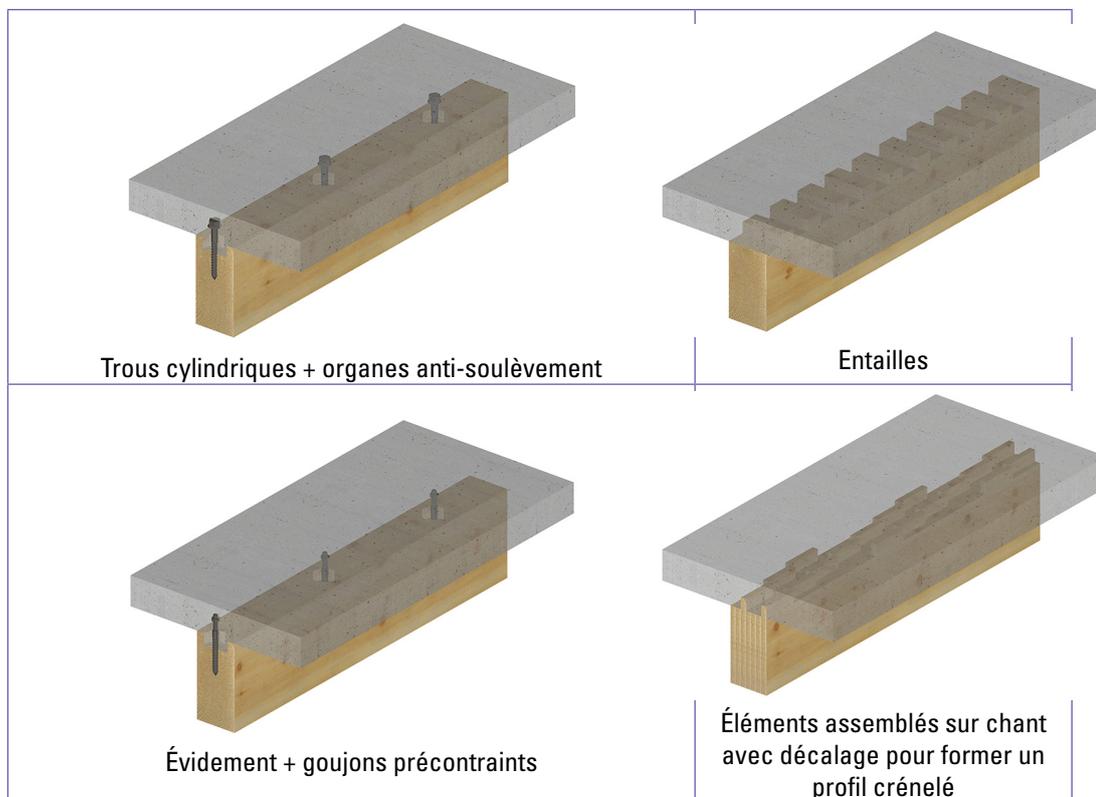
- Connecteurs surfaciques





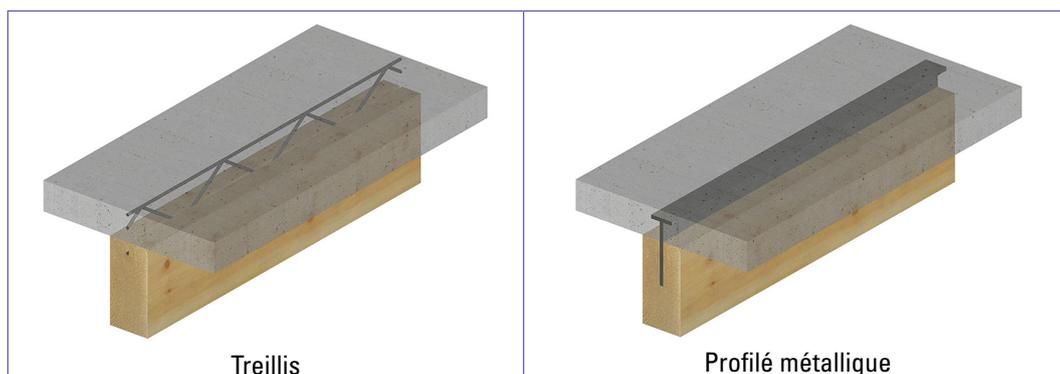
▲ Figure 3 : Connecteurs surfaciques

- 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 au paragraphe

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 Séismes).

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.

5.2. • Contrôles de production

Les planchers mixtes bois-béton ne sont que très partiellement fabriqués en atelier. Les contrôles de production concernent donc les constituants du plancher et très peu l'acte d'assemblage. Chacun des éléments doit présenter des tolérances conformes à sa norme produit.

Les contrôles de production visent à s'assurer :

- de la conformité des matériaux utilisés pour produire la dalle :
 - bois : classement mécanique, dimensions et tolérances des sections, humidité,
 - tirefonds : caractérisation et marquage CE selon la norme EN 14592,
 - connecteurs (bois ou métalliques) ;
- de la bonne réalisation des assemblages entre solives :
 - utilisation de tirefonds adaptés aux largeurs des solives,
 - densité des tirefonds implantés,
 - respect des conditions d'éloignement du bord des tirefonds ;
- de la bonne implantation des connecteurs : réalisation conforme des usinages pour le placement des connecteurs (positionnement et fréquence selon le dimensionnement mécanique) ;
- du respect des conditions de stockage des produits finis en atelier et sur chantier.



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.

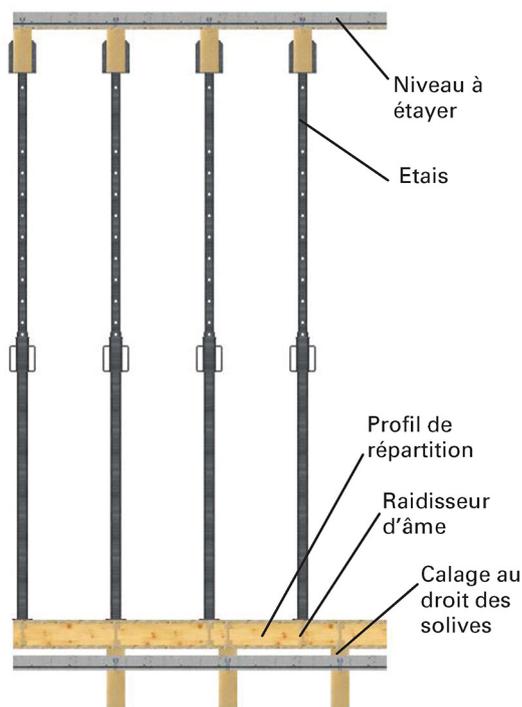
6.1.1. • Conception de l'étalement

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 ponctuelle en phase provisoire, supposée appliquée 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. À 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.



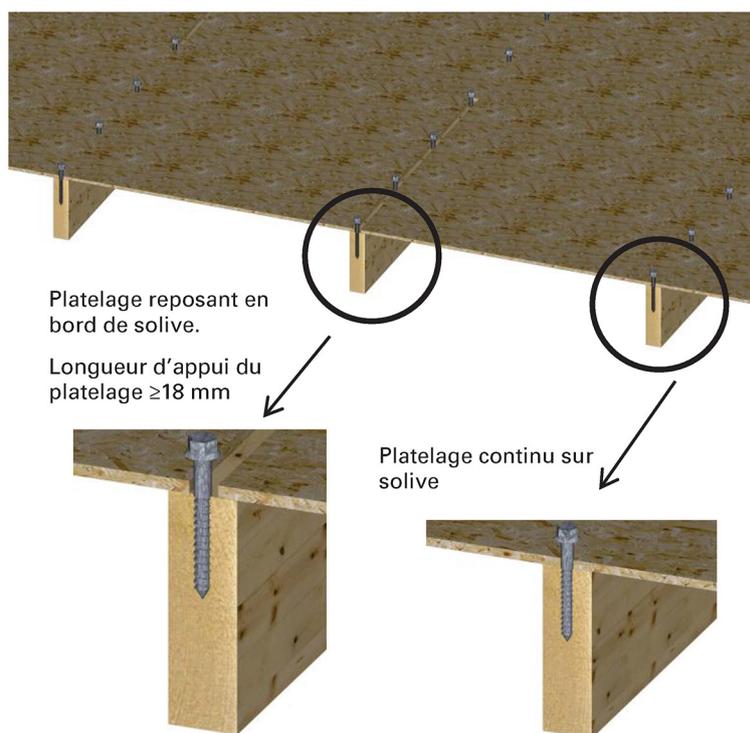
▲ Figure 6 : Étaiemment des planchers. Utilisation de profilés pour la répartition des charges

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.

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 7 : Appuis des panneaux des éléments de coffrage

Le dimensionnement des panneaux de coffrage doit être réalisé en tenant compte des charges de chantier tel que décrit au paragraphe sur les charges appliquées en phase provisoire (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 ferrillages ne présentent pas de spécificité. Il convient de protéger les attentes verticales par des « bouchons » ou par un acier filant soudé, et de tenir le chantier sécurisé 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. • 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.

6.2.1.1. • 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 1).

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

▲ Tableau 1 : Hygrométrie du bois à la mise en œuvre



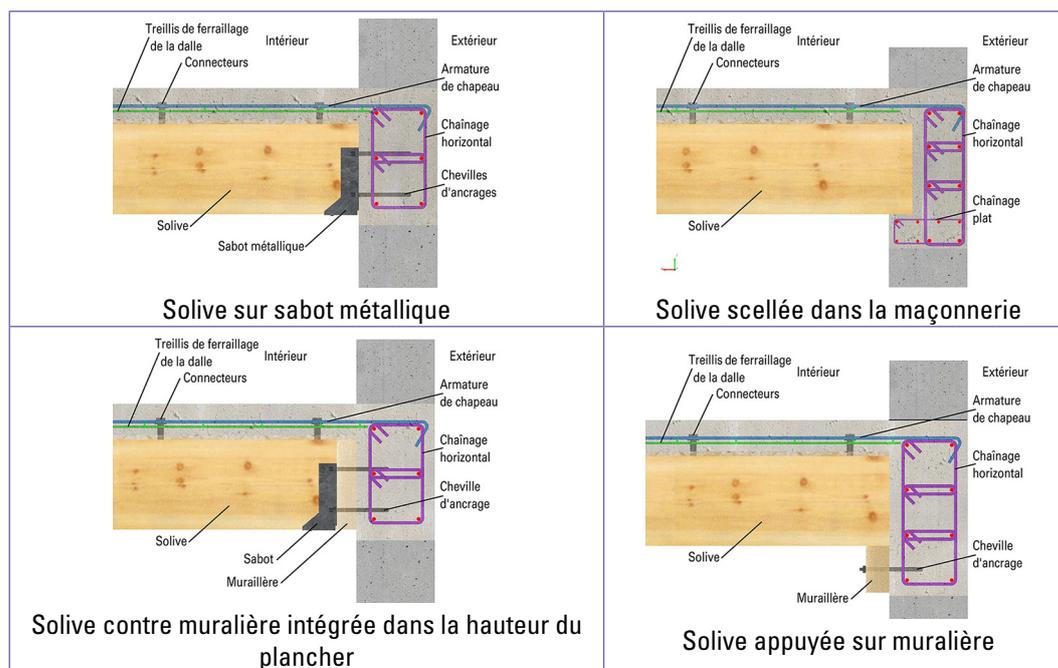
6.2.1.2. • Conditions d'appui des solives

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

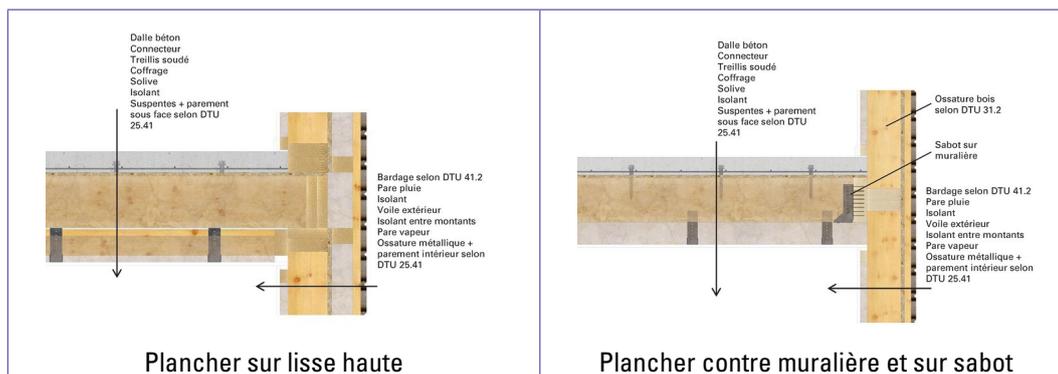
- Appui direct sur les éléments verticaux
 - par fixation en appui sur le gros œuvre. La longueur minimale d'appui des poutres sur les porteurs doit être au moins de 5 cm. L'appui doit au besoin comporter une semelle ou sommier d'appui en bois permettant de limiter le poinçonnement dû au gros œuvre et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



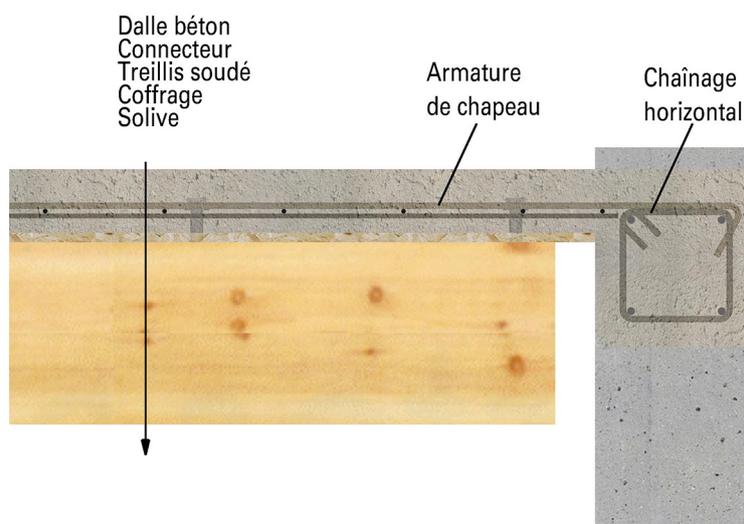
▲ Figure 8 : Typologie des appuis du solivage sur murs béton (ces configurations sont également valables pour les murs maçonnés hors appui direct par sabot)



▲ Figure 9 : Typologies d'appui du solivage sur murs à ossature bois

- Appuis de la dalle béton uniquement

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



▲ Figure 10 : Exemple de plancher nervuré utilisant des solives bois non appuyées

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



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

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.



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.

Organes mécaniques

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/m³), 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 kg/m³), 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.

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.



On s'assurera que les armatures sont bien positionnées dans la zone tendue de la section béton. Dans le cas d'utilisation de connecteurs ponctuels de type tirefonds, le treillis doit être placé sous la tête des tirefonds.

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.

6.2.1.3. • 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.

6.2.1.4. • Réservations et trémies

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

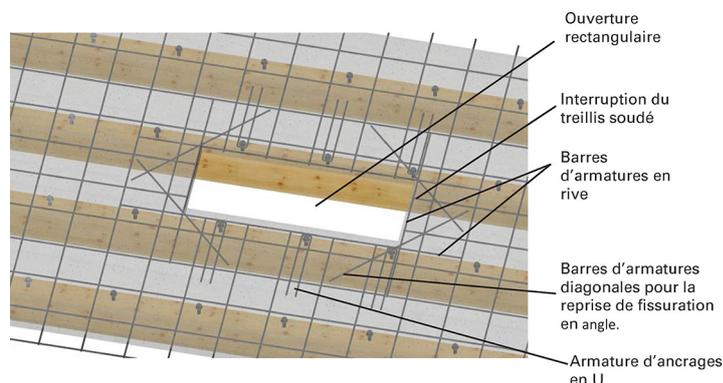
En bordure des trémies et des réservations, il convient de prévoir un élément de coffrage permettant de créer un arrêt de coulage (planche, cornière métallique...).

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

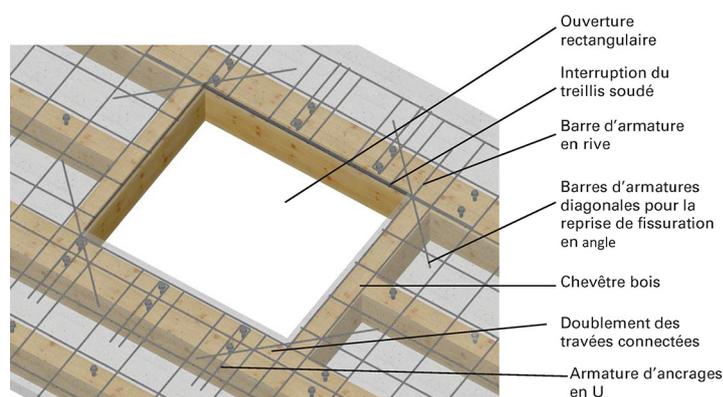
- nécessité éventuelle de réaliser un chevêtre :
 - chevêtre dans la dalle bois : les sections sont assemblées par des méthodes classiques (assemblages bois-bois, sabots...). Des poutres connectées peuvent être utilisées pour la réalisation des chevêtres de grandes dimensions,
 - chevêtre dans la dalle 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 11 : Exemples de réalisation de trémies de petites et grandes dimensions – Ouverture rectangulaire de petite dimension comprise dans l'entraxe des solives



▲ Figure 12 : Exemples de réalisation de trémies de petites et grandes dimensions – Ouverture rectangulaire de grande dimension placée sur plusieurs travées

6.2.1.5. • 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 structurels 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.



6.2.1.6. • Tolérances de mise en œuvre

Ouvrages de charpente

Les tolérances de mise en œuvre des ouvrages de charpente définies dans le DTU 31.1 sont les suivantes :

- Implantation
 - tolérances sur les cotes d'implantation et sur les grandes dimensions de l'ouvrage :
 - ± 0,5 cm jusqu'à 7,5 mètres,
 - ± 1,5 cm à 10 mètres ;
 - tolérances sur les cotes altimétriques au niveau des appuis :
 - ± 1 cm sur une longueur de 10 mètres par rapport aux dimensions indiquées sur les plans d'exécution ;
 - les aplombs sont réglés avec une tolérance de ± 2,5 mm/m sans excéder ± 2,5 cm.
- Solivage de plancher

Les faces supérieures des solives doivent se trouver en tous points dans un même plan avec une tolérance de désaffleurement équivalant à 1/50 de l'entraxe entre deux solives, mesurée sur trois solives successives, sans dépasser 5 mm.

Béton armé

Les tolérances à respecter pour la réalisation de la dalle béton sont données par la norme NF EN 13670.



On veillera en toute circonstance à ce que l'épaisseur minimale de la dalle béton toute tolérance épuisée soit celle retenue pour le dimensionnement (cf. 7.2.).

6.2.2. • Mise en œuvre des dispositifs complémentaires d'isolation

6.2.2.1. • 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, réalisé 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.

6.2.2.2. • Isolation thermique

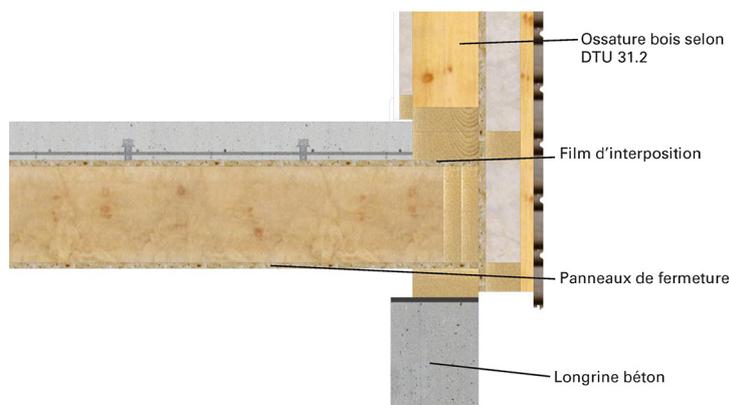
Planchers bas

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...), l'isolant peut être intégré dans un plafond suspendu traditionnel.



▲ Figure 13 : Plancher bas sur vide sanitaire

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 2/3 de la résistance thermique totale de la paroi au-dessous du plancher et d'au plus 1/3 au-dessus.

6.2.2.3. • Isolation acoustique

Traitement en sous-face

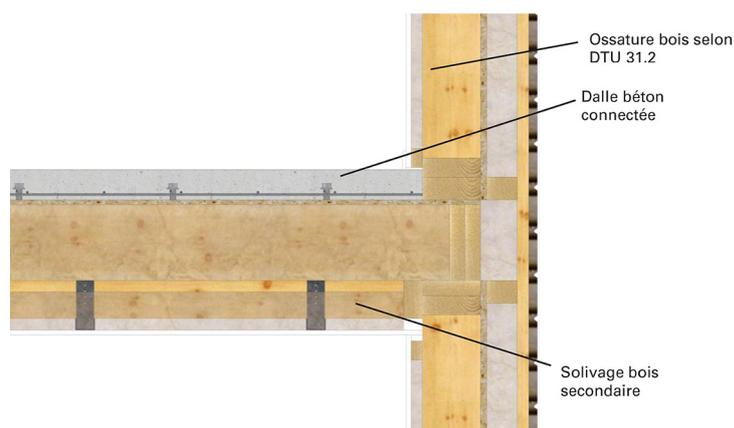
Le traitement en sous-face présente les avantages suivants :

- 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 14 : Plancher avec solivage secondaire sur muralière supportant l'isolation acoustique

Isolation rapportée sur le plancher

Une désolidarisation doit être assurée en périphérie avec une remontée 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.

6.2.2.4. • Protection au feu

Lorsqu'un rôle de protection contre l'incendie doit être assuré par le plafond suspendu, sa mise en œuvre doit respecter les conditions de pose décrites dans le procès-verbal de classement de résistance au feu.

L'intégrité de la protection apportée ne doit pas pouvoir être affectée par un éventuel démontage, en cours d'exploitation. Pour cela, le maître d'ouvrage, responsable des opérations de maintenance du plafond, doit être informé des modalités d'intervention dans le plénum.

Il convient également que les raccordements entre planchers, cloisons et plafonds soient convenablement traités.

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. 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).

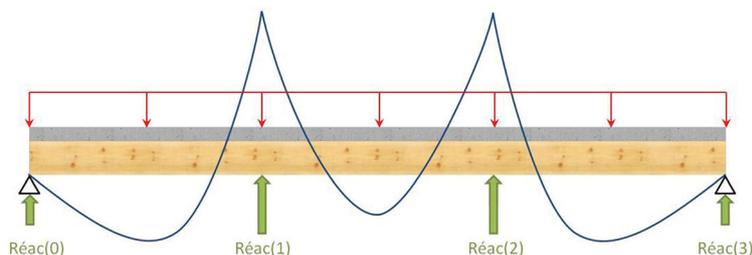
Cas des structures étayées en phase provisoire

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 étaieage peut ainsi être prévu afin d'éviter ce phénomène.

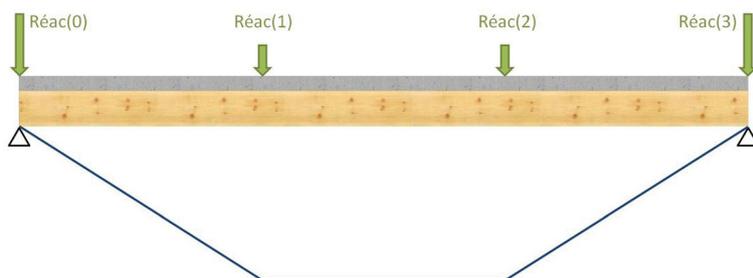
Pour dissocier la part des sollicitations agissant sur le bois seul et sur la section mixte complète, il est nécessaire de réaliser un calcul en deux étapes :

- 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 15 : Charges reprises par le solivage en conditions hyperstatiques. Report des charges après enlèvement des étais

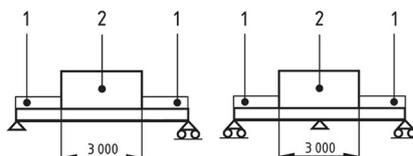
7.1.2. • Charges appliquées en phase provisoire

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

- Poids des panneaux de coffrage exprimé en daN/m^2 ; Cette charge uniformément répartie est calculée à partir de la masse volumique moyenne des panneaux.

- Poids propre des poutres bois en daN/m² : 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/m² de plancher ;
- Sollicitations dues aux charges de construction

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



▲ Figure 16 : Charges dites de construction

- **Zone 1** : 0,5 kN/m², 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/m², 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/m² ;

Q_{co} : Poids propre du béton coulé en place exprimé en daN/m² 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 :

- $Q_{s1} = 1,5$ kN/m², charge appliquée sur une aire de travail de dimensions en plan 3m x 3m ;
- $Q_{s2} = 0,5$ kN/m², 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 :

- ℓ : portée entre appuis et/ou étais éventuels (en m) ;
- g : charge permanente du plancher (en daN/m²) ;
- $E_{b,0}$: 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) :

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

Pour la vérification des critères de sécurité, le système de charges $Q_s \{ Q_{s,1} ; Q_{s,2} \}$ 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.

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

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. • Vérification 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

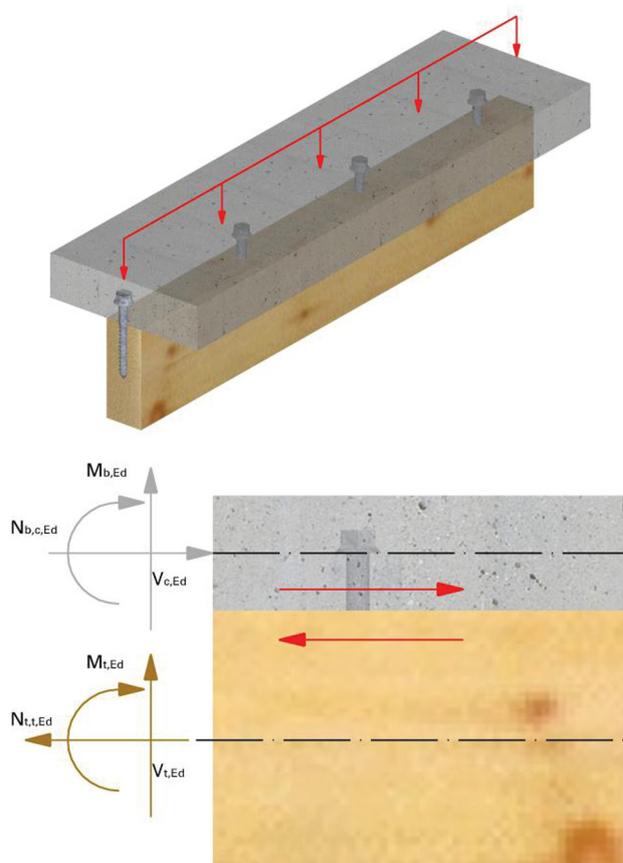
D'un point de vue général, l'intérêt de connecter la table béton au solivage bois est de créer une section mixte dont la rigidité peut être calculée.

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 17). 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.



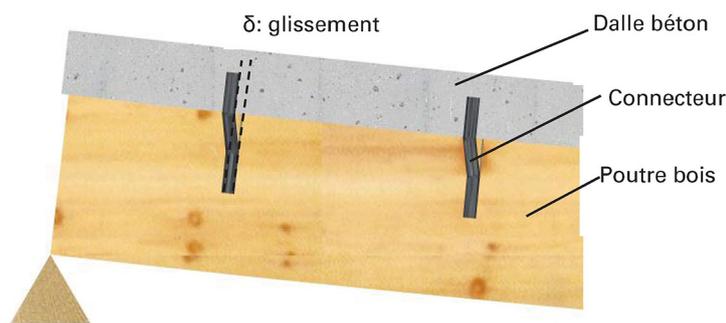
De façon simplifiée, il est donc toujours conseillé de dimensionner la section afin que son axe neutre se trouve au niveau de l'interface bois-béton.



▲ Figure 17 : 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 18).



▲ Figure 18 : 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 (3). La valeur de K_{ser} est calculée sur la base de la masse volumique moyenne du bois 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 19 : 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.

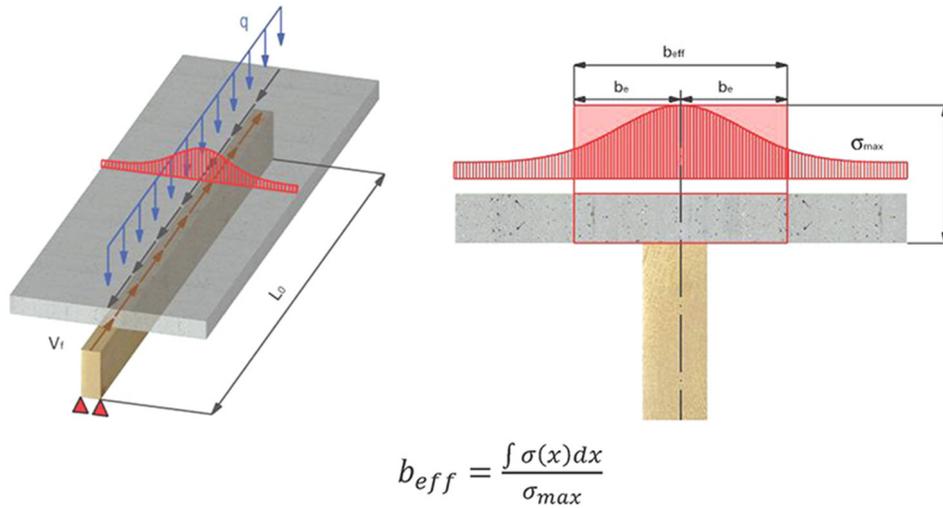
De nombreuses méthodes peuvent être employées pour le calcul de la rigidité de section mixte.

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_{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 20).



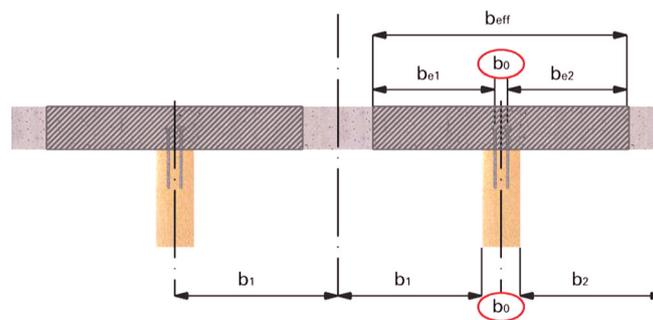
▲ Figure 20 : Trainée de cisaillement dans les planchers mixtes connectés

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.

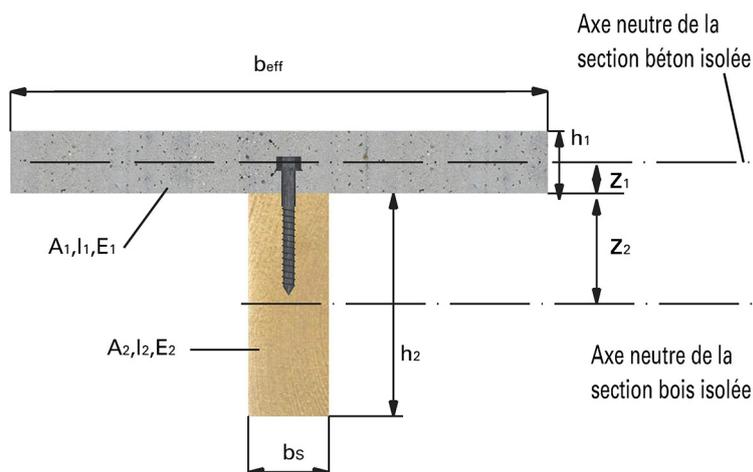
Exemple d'application de la méthode de l'annexe B de la NF EN 1995-1-1 pour le calcul de rigidité de la section



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

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

▲ Figure 21 : Largeur efficace

**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 (mm²).

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

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/mm²).

$E_{1,\infty}$: module d'élasticité du béton sous chargement permanent (N/mm²).

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 (mm²).

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

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/mm²).

$E_{2,\infty}$: module d'élasticité du bois sous chargement permanent (N/mm²).

▲ Figure 22 : Données géométriques pour le calcul de rigidité de section

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_{eff} : portée efficace (m),
- K_{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 :

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

avec :

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

avec :

- $t = \infty$ et $t_0 =$ mise en charge ;
- ϕ : coefficient de fluage selon EN 1992-1-1 ;
- k_{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 :

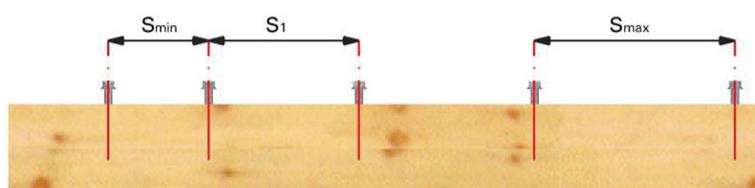
- $\bar{k}_{def} = \frac{(k_{def} + \phi(t, t_0))}{2}$
- ψ_2 selon NF EN 1995-1-1 relatif à l'action générant le plus de contrainte dans les éléments (= 1 pour les charges permanentes).



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 23) 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 23 : 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) ;

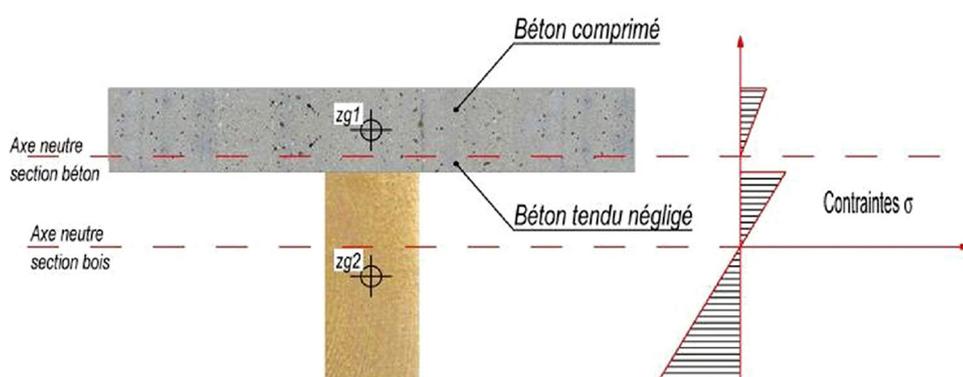
- moment et tranchant sous charges permanentes agissant sur la section mixte ;
- moment et tranchant sous charges d'exploitation à caractère instantané ;
- moment et tranchant sous charges d'exploitation à caractère permanent (cloisons et revêtement mis en œuvre après durcissement du béton par exemple).

7.2.3.2. • Contraintes normales

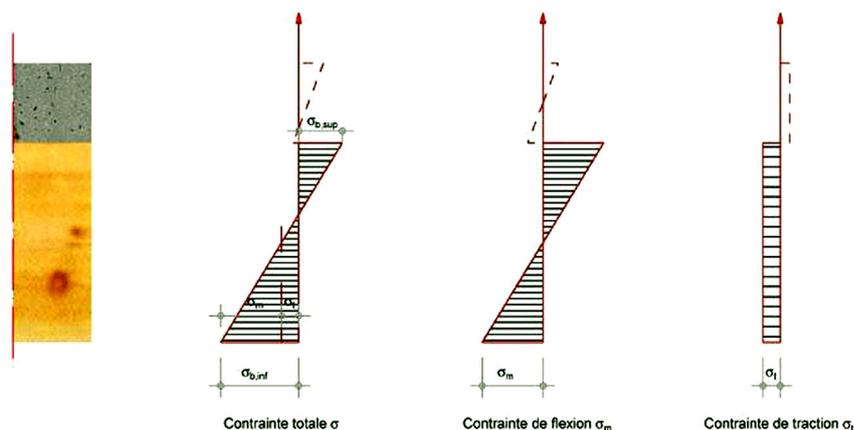
Le comportement en flexion d'un plancher mixte doit être compris comme les comportements séparés de la dalle béton et du solivage bois reliés par une connexion semi-rigide. Dans le cas d'efforts de flexion, les maximums des contraintes sont atteints en surface des poutres.

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 24 : Répartition des contraintes de flexion



▲ Figure 25 : 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 : $\sigma_{t,d} = \frac{\gamma_2 \cdot E_2 \cdot z_2 \cdot M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$
- contrainte de flexion : $\sigma_{m,d} = \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$

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) :
- $\sigma_{n,1,d} = \frac{\gamma_1 \cdot E_{1,0} \cdot z_1 \cdot M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$
- $\sigma_{m,1,d} = \frac{0,5 \cdot E_{1,0} \cdot h_1 \cdot M_0}{(EI)_{\text{eff}}}$
- $\sigma_{md} = \sigma_{n,1} - \sigma_{m,1}$ (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 ;
- $f_{v,0,2,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,0,2,k}}{\gamma_M}$;
- $\tau_{v,0,2,d} = \frac{E_2 \cdot h_2^2 \cdot V_0}{2(EI)_{\text{eff}}}$;
- 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 θ_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

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

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 ;
- Δx est la longueur considérée ;
- ΔF_d est la variation de l'effort normal dans la membrure sur la longueur Δx ;
- $\Delta x = l/4$ (NF EN 1992, §6.2.4.3) ;
- ΔF_d = nombre de connecteurs en Δx 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)).

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

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

où :

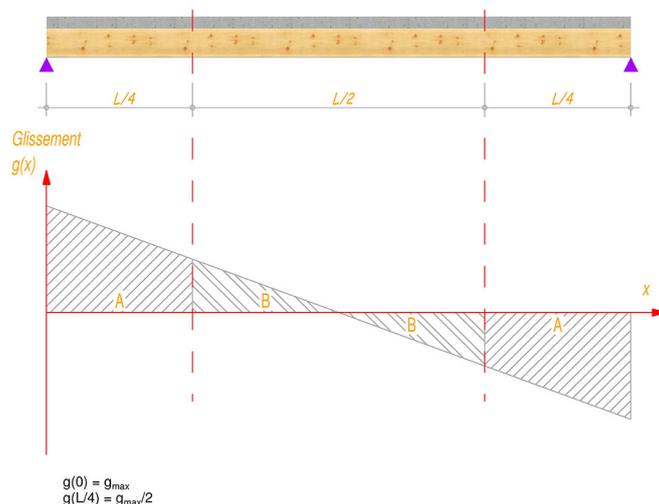
- ρ_w est le taux d'armatures d'effort tranchant ;
- A_{sw} est l'aire de la section des armatures d'effort tranchant régnant sur la longueur s ;
- s est l'espacement des armatures d'effort tranchant, mesuré le long de l'axe longitudinal de l'élément ;
- b_w est la largeur de l'âme de l'élément ;
- α est l'angle entre les armatures d'effort tranchant et l'axe longitudinal.

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 26) et de respecter un espacement constant des connecteurs dans ces parties.



▲ Figure 26 : 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 :

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

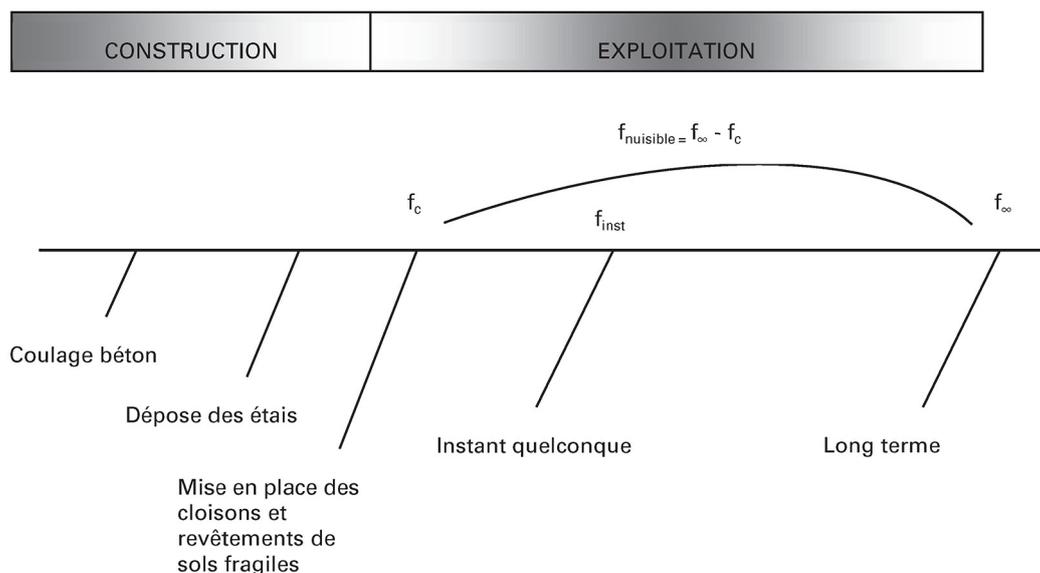
La résistance de calcul de la connexion bois-béton $R_{v,Ed}$ doit être déterminée par une série d'essais de cisaillement menés jusqu'à la ruine. Cette valeur est donnée par le fabricant de connecteurs, qui indique également pour quelle valeurs minimales de classe de béton et de bois cette valeur est 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 27) récapitule cet historique de chargement.



▲ Figure 27 : 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 2) sont à prendre en compte.

Flèche	Phase – type de charge	Rigidité de calcul
f_1^i	Phase provisoire – charges permanentes nouvelles	$(Elb)^j$
f_2^∞	Phase provisoire – charges permanentes conservées	$(Elb)^j$
f_3^i	Phase définitive – charges permanentes sans cloisons et revêtements fragiles	$(E_{\text{eff}})^j$
f_3^∞	Phase définitive – charges permanentes sans cloisons et revêtements fragiles	$(E_{\text{eff}})^\infty$
f_4^∞	Phase définitive – charges permanentes avec cloisons et revêtements fragiles	$(E_{\text{eff}})^\infty$

Flèche	Phase – type de charge	Rigidité de calcul
f_5^i	Phase définitive – charges d'exploitation court terme	$(E_{\text{eff}})^i$
f_5^∞	Phase définitive – charges d'exploitation long terme	$(E_{\text{eff}})^\infty$
Indice i = instantanée, indice ∞ = long terme. $(EI)_b$ = rigidité du bois seul en phase provisoire. $(EI)_\infty$ = rigidité de la section mixte.		

▲ Tableau 2 : Sollicitations induisant des flèches à court et long termes

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

- Flèche finale (avec fluage)

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

- 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 3).

	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_{inst}	-	L/300	L/300
Flèche finale (incluant le fluage) f_{finale}	L/250	L/200	L/250
Flèche active ou nuisible f_{nuisible}	L/500	-	L/500

▲ Tableau 3 : 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

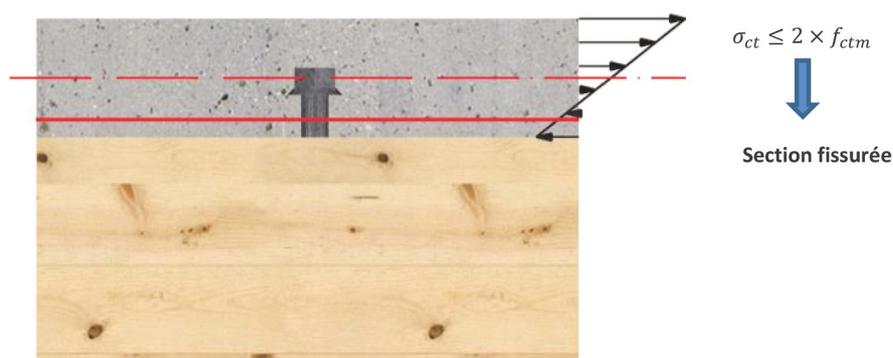
Les modèles de calcul classiques considèrent le plus souvent les poutres comme étant isostatiques. Ceci a pour effet de majorer les



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 28) sont considérées comme fissurées.

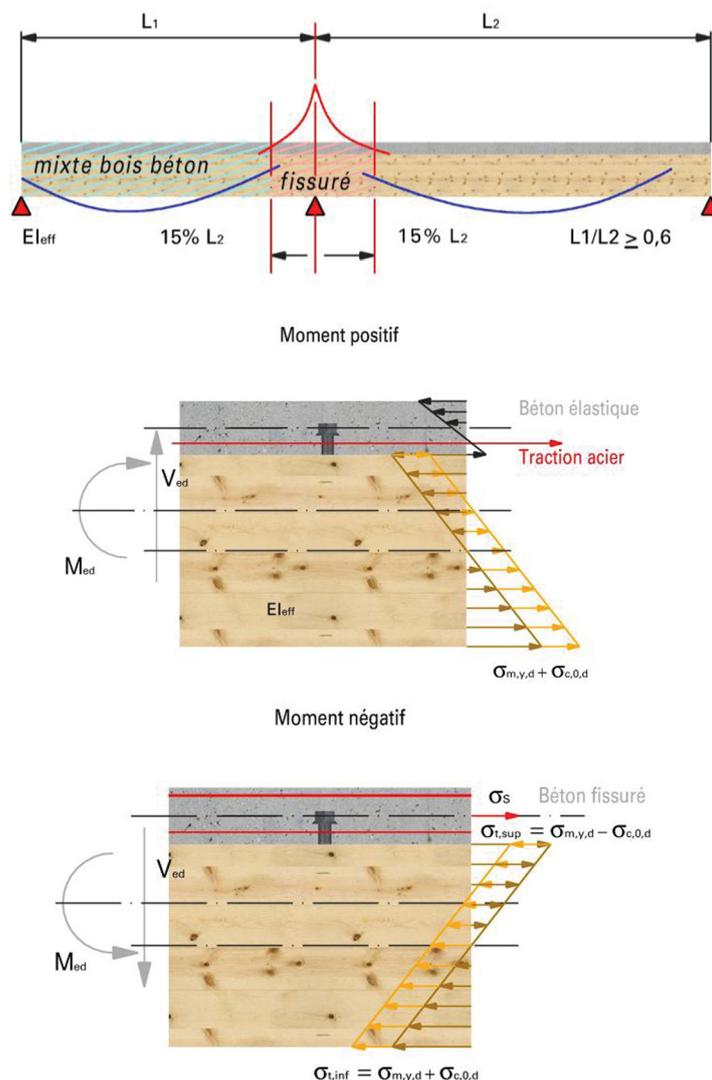


σ_{ct} = contrainte de traction générée dans le béton sur appuis en situation hyperstatique ;
 f_{ctm} = résistance moyenne en traction du béton.

▲ Figure 28 : 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 29).

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 29 : 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

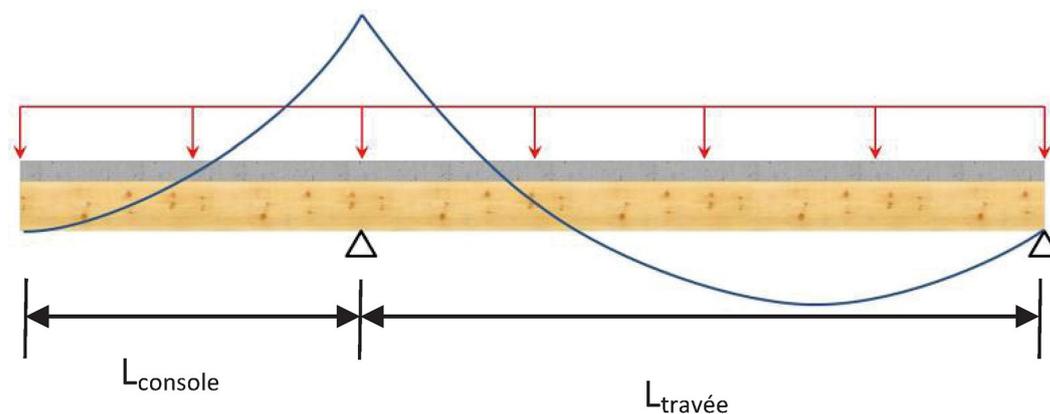
Le dimensionnement de consoles (en porte-à-faux) en utilisant des planchers connectés bois-béton pose le problème de la fissuration de la dalle en partie haute.

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 30](#)). 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 30 : Diagramme du moment fléchissant $L_{\text{console}} = L_{\text{travée}} / 2$ – 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 Ei_{eff} 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

Cas des trémies de petites dimensions

Lorsque que les réservations sont de tailles réduites (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.



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.

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 rigidité 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 rigidité 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.

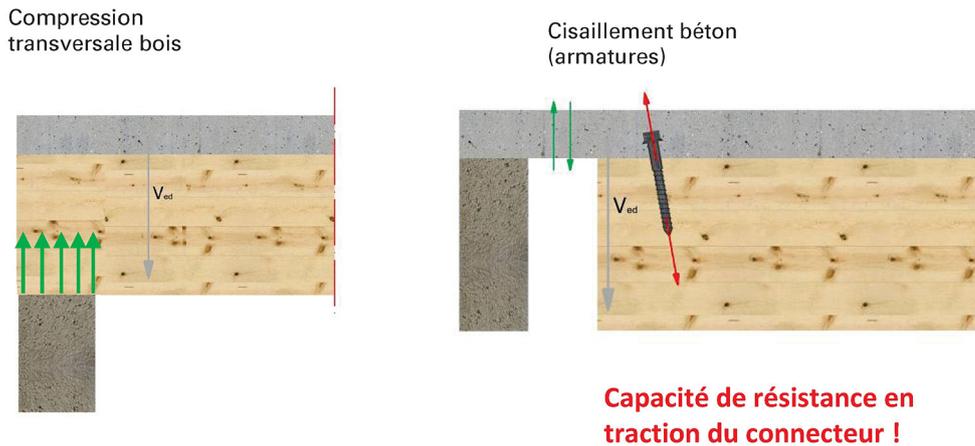
7.2.9. • Cas particuliers des poutres « suspendues »

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 31 : 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 P 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 vérifiée 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

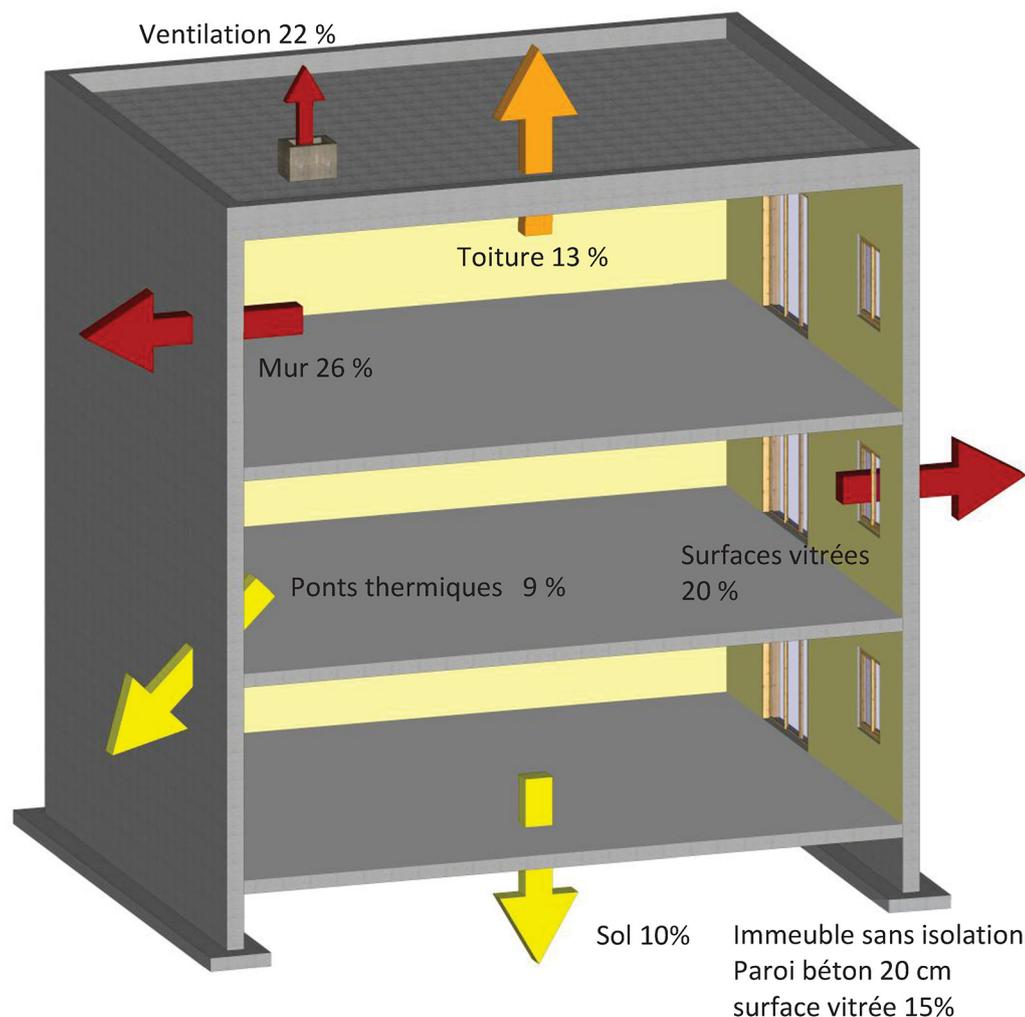
La réaction au feu des produits de construction et d'aménagement est encadrée par l'arrêté du 21 novembre 2002. Les produits bois constituant le plancher (solive et platelage) peuvent être classés par essais selon la norme NF EN 13501-1 ou, lorsque cela est possible, de façon conventionnelle selon cet 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 32) montre à titre indicatif les niveaux de pertes thermiques observés dans un bâtiment type.



▲ Figure 32 : Schéma de pertes thermiques types d'un immeuble d'habitation

Source ADEME

7.4.1. • Contexte réglementaire

Pour les bâtiments neufs, la RT 2005 couverte par l'arrêté du 24 mai 2006 s'applique aux bâtiments dont le permis de construire a été déposé entre le 1^{er} septembre 2006 et la date d'entrée en application de la RT 2012.

L'application de la RT 2012 couverte par les arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 s'est échelonnée selon les catégories et l'usage des bâtiments entre le 27 octobre 2011 et le 1^{er} janvier 2013.

7.4.1.1. • Respect des exigences globales

La RT 2005 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}).

La RT 2012 fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur le besoin bioclimatique (B_{bio}), les ponts thermiques (ratio ψ), la perméabilité



à l'air, la consommation en énergie primaire (Cep) et la température intérieure de confort (Tic).

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

La RT 2005 fixe des coefficients de transmission surfacique U maximaux à ne pas dépasser à l'échelle des parois, et des coefficients de transmission linéique ψ maximaux à ne pas dépasser au niveau des ponts thermiques de liaison.

À l'inverse, la RT 2012 ne fixe pratiquement plus d'exigence à l'échelle des parois mais conserve une exigence minimale sur le pont thermique du plancher intermédiaire.

Les planchers mixtes bois-béton en constructions neuves sont soumis aux exigences minimales synthétisées dans le (Tableau 4).

RT	Exigences		
	U en $W/(m^2.K)$	ψ en $W/(m.K)$	R en $m^2.K/W$
2005	$U_p \leq 0,34$ 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 sur un volume non chauffé.	$\psi \leq 0,65$ dans le cas des maisons individuelles. $\psi \leq 1,00$ dans le cas des bâtiments d'habitation autres que les maisons individuelles. $\psi \leq 1,20$ dans le cas des bâtiments à usage autres que d'habitation.	Aucune
2012		$\psi \leq 0,6$ pour les planchers intermédiaires.	Aucune

▲ Tableau 4 : Exigences thermiques réglementaires concernant les planchers mixtes bois-béton en construction neuve

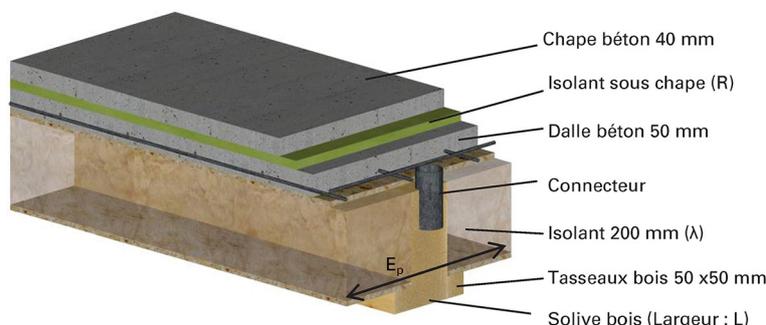
Les performances énergétiques des planchers mixtes bois-béton sont évaluées en distinguant les parties courantes et les liaisons entre planchers et murs. Des simulations de transferts thermiques sont effectuées pour des configurations génériques, puis l'impact de variation autour de cette configuration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

7.4.2. • Performances thermiques intrinsèques du procédé (calcul des U_p)

La performance thermique intrinsèque des planchers mixtes bois-béton est caractérisée par un coefficient de transmission thermique surfacique U_p s'exprimant en $W/(m^2.K)$. Le terme de résistance thermique (R) est généralement employé pour caractériser une couche homogène de matériau constituant une paroi.

7.4.2.1. • Planchers mixtes bois-béton en plancher bas

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



▲ Figure 33 : Hypothèses pour la famille solive-platelage. Coefficient de transmission thermique linéique Ψ des planchers bas

7.4.2.2. • Méthode de calcul pour les planchers mixtes bois-béton en plancher bas

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

$$U_p = \frac{1}{0.47 + \frac{0.2}{\lambda_{isolant}} + R_{sc}} + \frac{\Psi}{E_p} + \frac{\chi}{E_p \cdot E_c}$$

où :

- $\lambda_{isolant}$ 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 ;
- Ψ , et χ coefficients de transmission thermique linéique et ponctuelle, obtenus à partir du (Tableau 5)

7.4.2.3. • Valeurs précalculées des ponts thermiques intégrés pour les planchers mixtes bois-béton en plancher bas

Les coefficients ψ_i et χ_j 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 forfaitaires données dans le (Tableau 5) peuvent être utilisées.

Typologie	$R_{\text{sous chape}}$	Largeur solive	χ [W/K] (1)	Ψ [W/(m.K)]	
				$\lambda_{\text{isolant}} =$ 32 mW/(m.K)	$\lambda_{\text{isolant}} =$ 40 mW/(m.K)
Neuf	0,75 m ² .K/W	70 mm	0,003	0,017	0,015
		200 mm	0,003	0,042	0,038
	3 m ² .K/W	70 mm	0,002	0,009	0,008
		200 mm	0,001	0,020	0,018

(1) Valeurs obtenues pour le connecteur le plus défavorable (tirefond). Pour des connecteurs à tiges croisées ou à tube creux, ces valeurs doivent être minorées de 50 %.

▲ Tableau 5 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ et ponctuelle χ dus à la solive et aux connecteurs pour un plancher mixte bois-béton en plancher bas

7.4.2.4. • Valeurs tabulées pour les planchers mixtes bois-béton en plancher bas

Le (Tableau 6) donne des valeurs de coefficient de transmission thermique surfacique U_p de plancher mixte bois-béton en plancher bas, obtenues pour des connecteurs tirefonds espacés de 20 cm.

Typologie	$R_{\text{sous chape}}$	Largeur solive	$E_p = 400$ mm		$E_p = 600$ mm	
			$\lambda_{\text{isolant}} =$ 32 mW/ (m.K)	$\lambda_{\text{isolant}} =$ 40 mW/ (m.K)	$\lambda_{\text{isolant}} =$ 32 mW/ (m.K)	$\lambda_{\text{isolant}} =$ 40 mW/ (m.K)
Neuf	0,75 m ² .K/W	70 mm	0,21	0,24	0,19	0,21
		200 mm	0,28	0,29	0,23	0,25
	3 m ² .K/W	70 mm	0,15	0,16	0,13	0,15
		200 mm	0,17	0,18	0,14	0,16

▲ Tableau 6 : Coefficients de transmission thermique surfacique U_p de plancher bas bois-béton, en W/(m².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 (ψ_i et χ_j), et de l'autre côté les déperditions par transmission au niveau des ponts thermiques de liaison (ψ). 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 au § Valeurs tabulées (cf. 7.4.3.3.) peuvent être utilisées.

7.4.3.3 Valeurs tabulées

Les interpolations linéaires sont possibles pour tous les tableaux présentés plus loin.

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

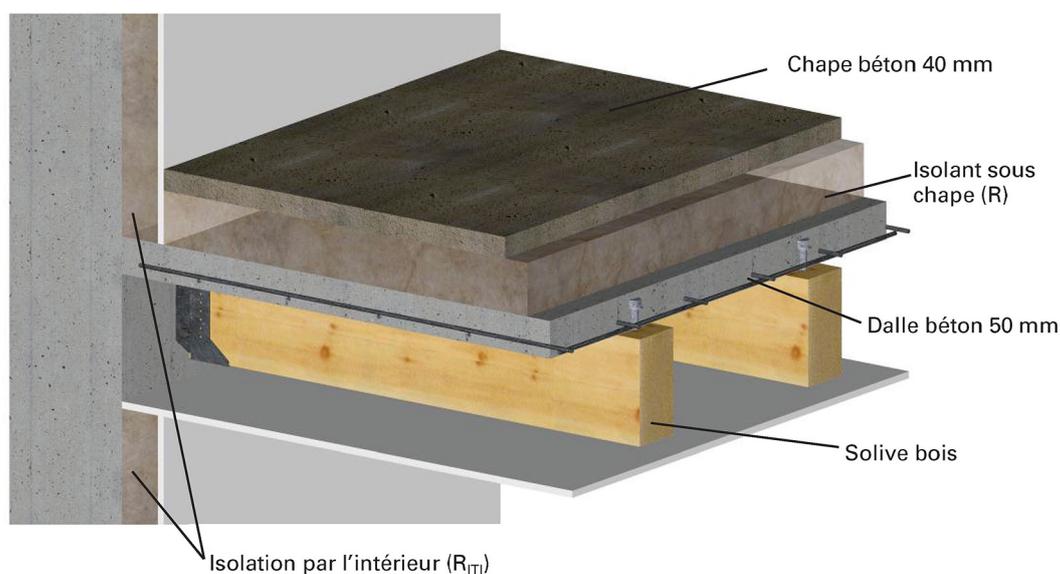
Les murs béton utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 160 mm.



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)

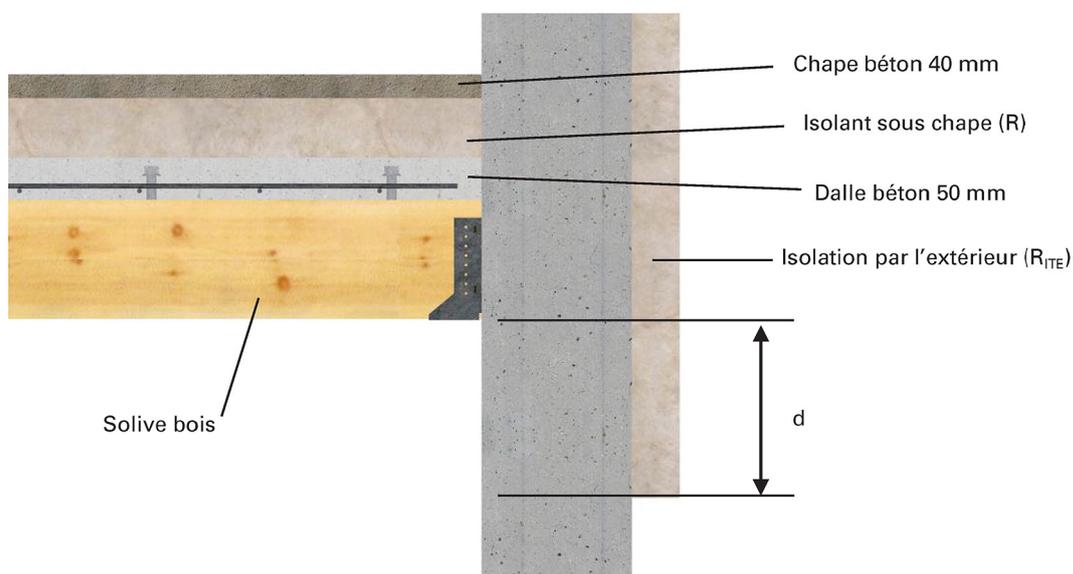


Type	Isolation intérieure	Isolation sous chape	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	R = 2	R = 0,75	0,26
	R = 2	R = 3	0,12
	R = 5	R = 0,75	0,23
	R = 5	R = 3	0,10
+ 15 % si sabot sur muraille - 10 % si solive large (> 200 mm)			

▲ Figure 34 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ 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	Ψ [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 muraille entaillée

▲ Figure 35 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'extérieur et un plancher bas bois-béton

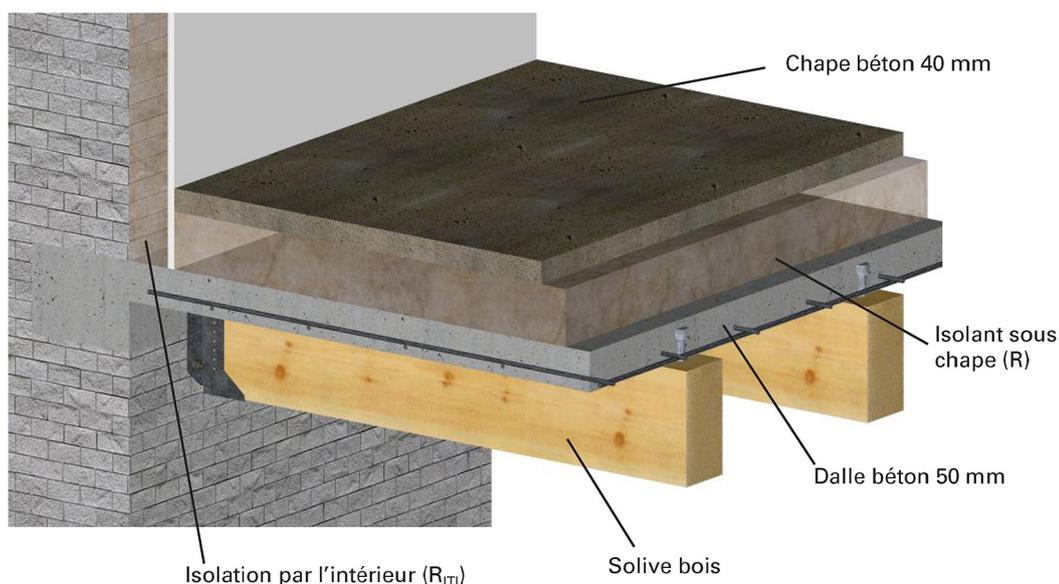
Mur en maçonnerie courante

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)



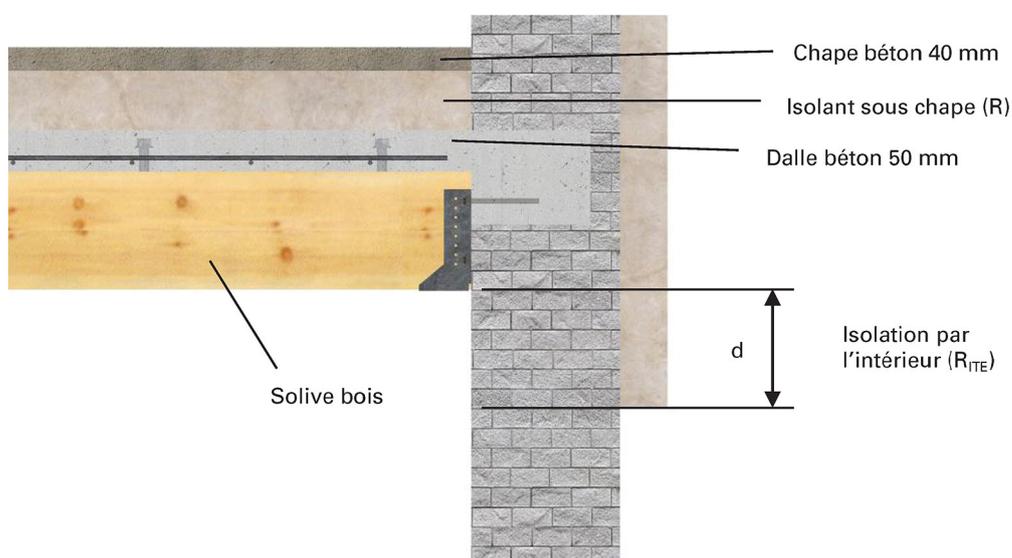


Type	Isolation intérieure	Isolation sous chape	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	R = 2	R = 0,75	0,24
	R = 2	R = 3	0,11
	R = 5	R = 0,75	0,22
	R = 5	R = 3	0,10
+ 15 % si sabot sur muraille - 10 % si solive large (> 200 mm)			

▲ Figure 36 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ 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	Ψ [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 37 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur et un plancher bas bois-béton

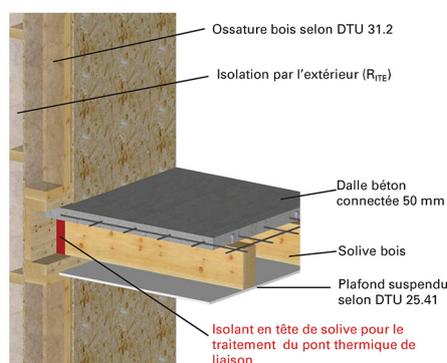
Mur en ossature bois

Les murs en ossature bois considérés sont composés de montants de 125 mm d'épaisseur avec une isolation entre montants systématique.



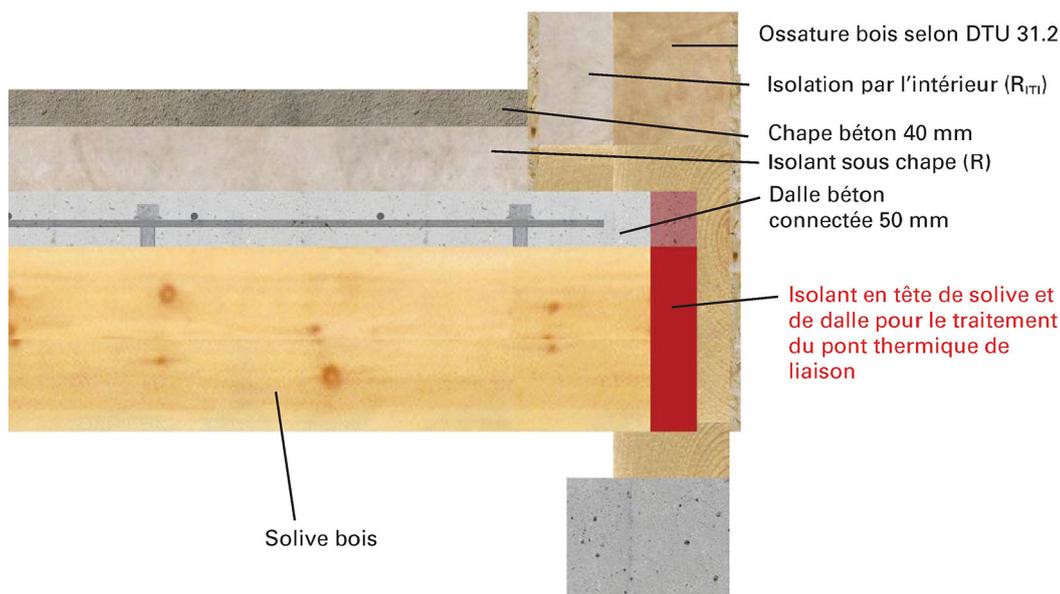
Un mur à ossature bois isolé par l'intérieur correspond à l'ajout d'un doublage supplémentaire sur sa face intérieure ; un mur à ossature bois isolé par l'extérieur correspond à l'ajout d'une isolation sur sa face extérieure. Ainsi, les résistances thermiques indiquées dans les tableaux ci-dessous pour les murs ne concernent que celles de l'isolation rapportée (à l'intérieur ou à l'extérieur). Une variante à isolation mixte intérieure + extérieure a été étudiée.

Des variantes de mise en œuvre spécifiques ont été étudiées : interruption de la dalle de compression sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive entraînant une diminution de la largeur de l'appui de la solive ; interruption de la dalle de compression par un montant en bois sur la largeur du mur hors doublage (125 mm).



▲ Figure 38 : Ossature bois. Traitement des ponts thermiques de liaison par interruption de dalle en about de solive

Mur à ossature bois isolé par l'intérieur (ITI)





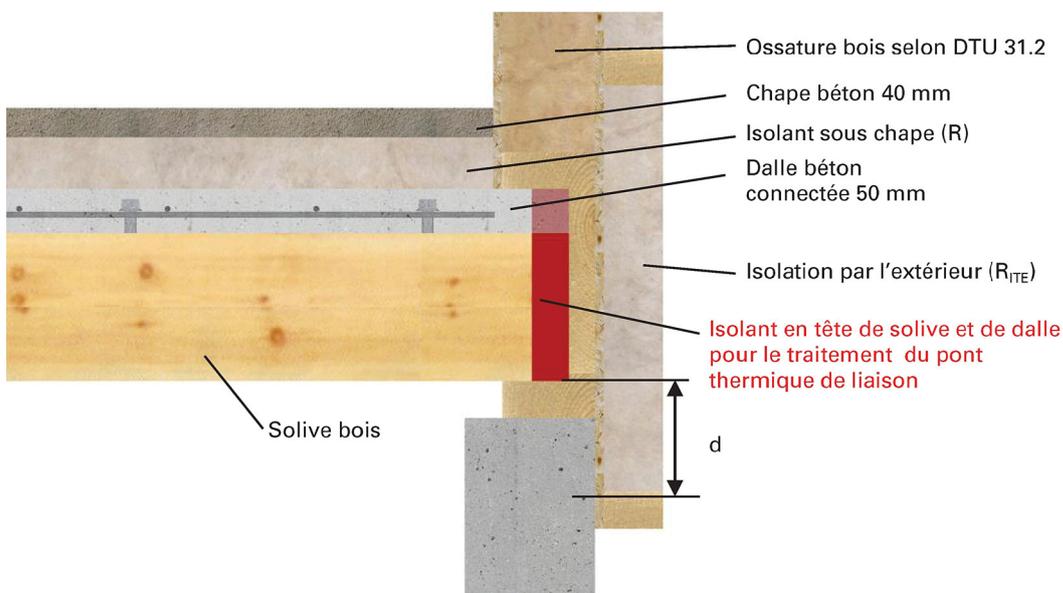
Type	Isolation intérieure	Isolation sous chape	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	R = 2	R = 0,75	0,15
	R = 2	R = 3	0,08
	R = 5	R = 0,75	0,14
	R = 5	R = 3	0,07

- 40 % si interruption de la dalle sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive
 - 35 % si ajout ITE R > 2 m².K/W
 - 25 % si interruption de la dalle pour un montant sur la largeur du mur (125 mm)
 - 10 % si solive large (> 200 mm)

▲ Figure 39 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur à ossature bois isolé par l'intérieur et un plancher bas bois-béton

Mur à ossature bois 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	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'extérieur (ITE), $d = 0$ cm	R = 2	R = 0,75	0,10
	R = 2	R = 3	0,06
	R = 5	R = 0,75	0,09
	R = 5	R = 3	0,06
Isolation thermique par l'extérieur (ITE), $d = 30$ cm	R = 2	R = 0,75	0,10
	R = 2	R = 3	0,06
	R = 5	R = 0,75	0,08
	R = 5	R = 3	0,06

- 25 % si interruption de la dalle sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive
 - 15 % si interruption de la dalle pour un montant sur la largeur du mur (125 mm)

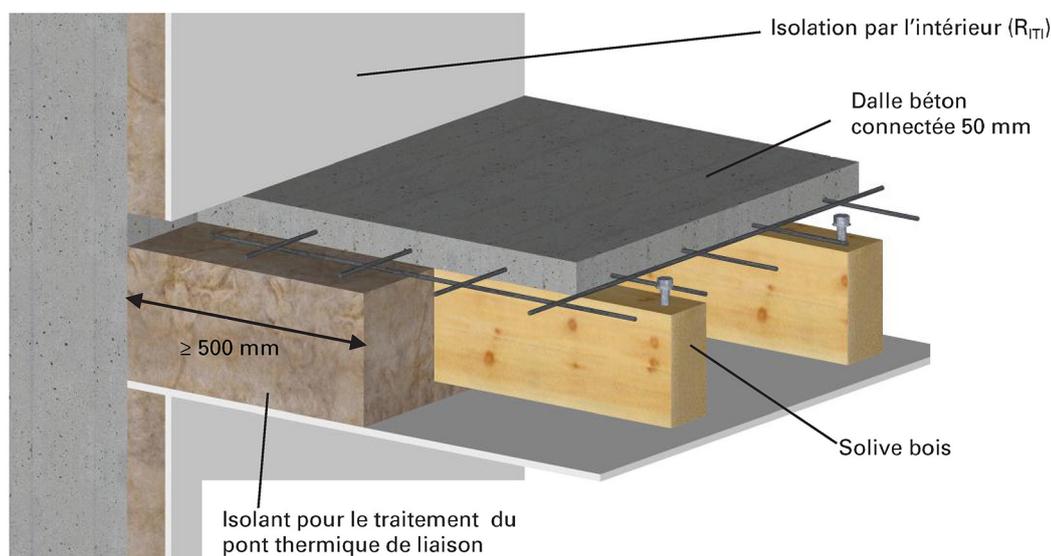
▲ Figure 40 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur à ossature bois isolé par l'extérieur et un plancher bas bois-béton

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 solive. Des variantes avec des solives plus larges (200 mm) ou un 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 muraille entaillée, sabot sur muraille 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 41 : 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

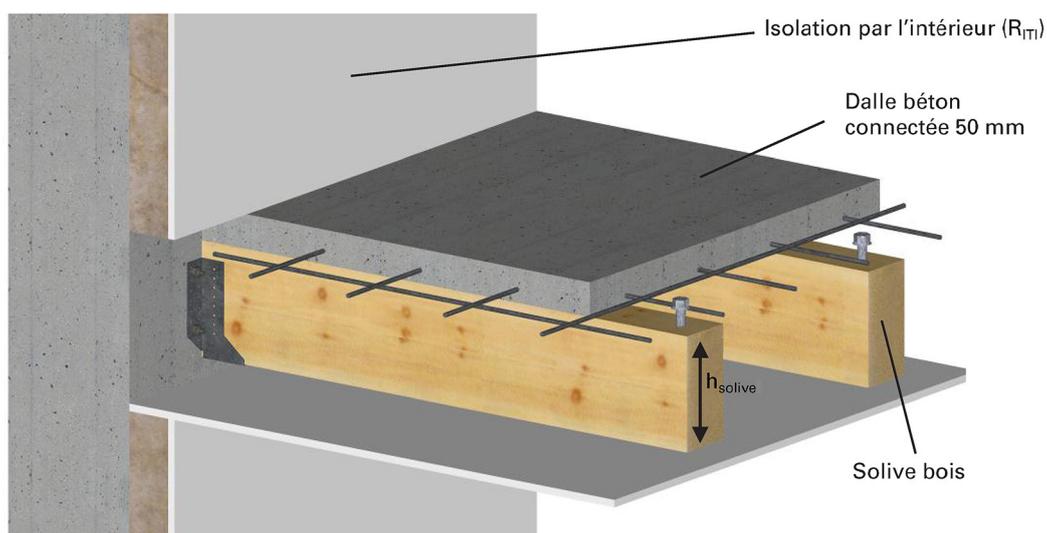
Les murs béton utilisés pour le calcul ont une épaisseur de 160 mm.



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)

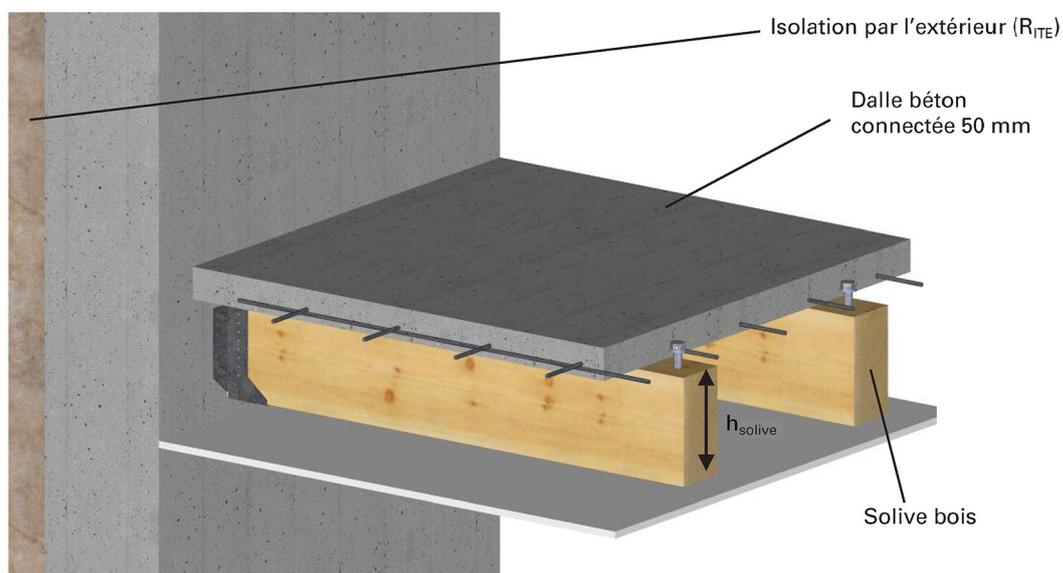


Type	Isolation intérieure	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), sans traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	1,31
	R = 2	h = 20 cm	1,46
	R = 5	h = 15 cm	1,21
	R = 5	h = 20 cm	1,35
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), avec traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	0,62
	R = 2	h = 20 cm	0,64
	R = 5	h = 15 cm	0,54
	R = 5	h = 20 cm	0,56

+ 10 % si entraxe de solive de 400 mm
+ 10 % si largeur de solive de 200 mm
+ 10 % si muraille entaillée

▲ Figure 42 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ 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	hauteur solive	Ψ [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 43 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur béton isolé par l'extérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

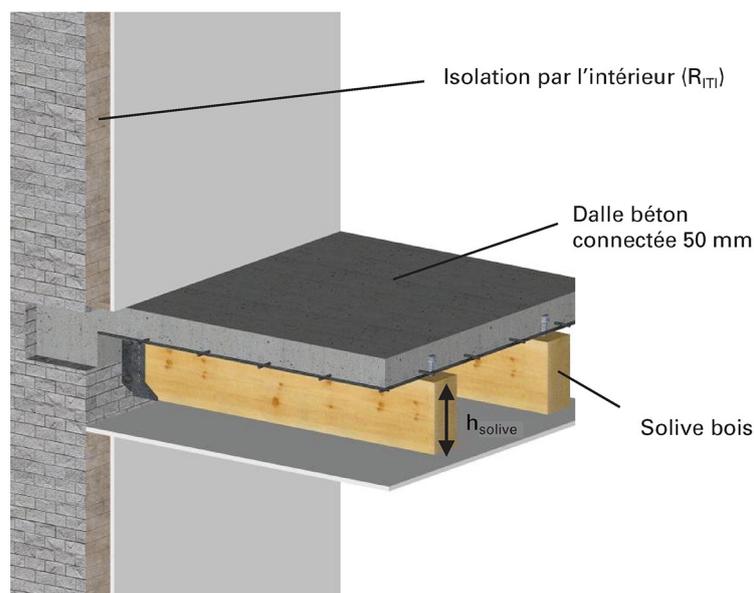
Mur en maçonnerie courante

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 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)



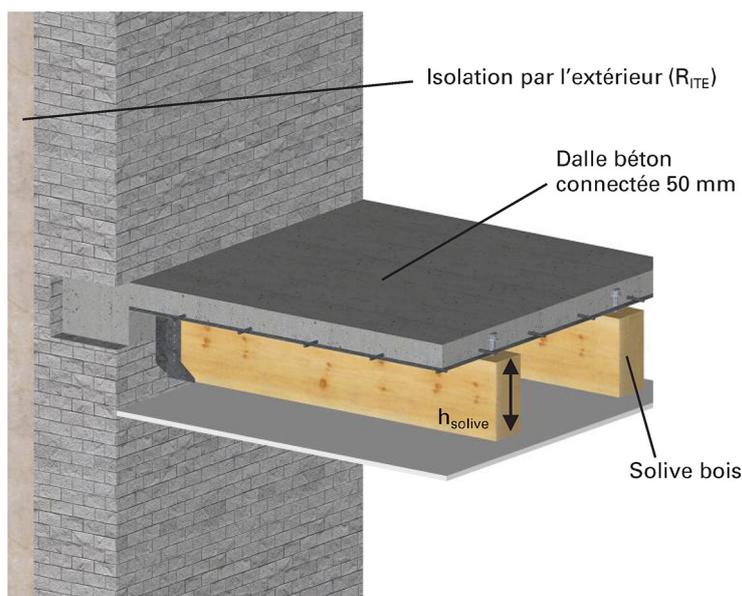
Type	Isolation intérieure	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), sans traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	0,98
	R = 2	h = 20 cm	1,08
	R = 5	h = 15 cm	0,94
	R = 5	h = 20 cm	1,03
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), avec traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	0,52
	R = 2	h = 20 cm	0,53
	R = 5	h = 15 cm	0,47
	R = 5	h = 20 cm	0,48

+ 10 % si entraxe de solive de 400 mm
+ 10 % si largeur de solive de 200 mm
+ 10 % si muraille entaillée

▲ Figure 44 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ 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	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'extérieur (ITE)	R = 2	h = 15 cm	0,12
	R = 2	h = 20 cm	0,14
	R = 5	h = 15 cm	0,05
	R = 5	h = 20 cm	0,06

▲ Figure 45 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur en maçonnerie courante isolé par l'extérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

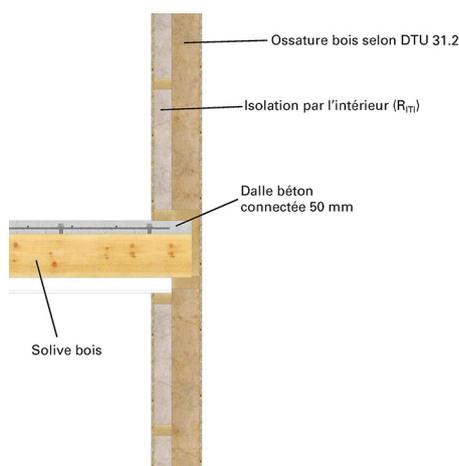
Mur en ossature bois

Les murs en ossature bois considérés sont composés de montants de 125 mm d'épaisseur avec une isolation entre montants systématique. Un mur à ossature bois isolé par l'intérieur correspond à l'ajout d'un doublage supplémentaire sur sa face intérieure ; un mur à ossature bois isolé par l'extérieur correspond à l'ajout d'une isolation sur sa face extérieure. Ainsi, les résistances thermiques indiquées dans les tableaux ci-dessous pour les murs ne concernent que celles de l'isolation rapportée (à l'intérieur ou à l'extérieur). Une variante à isolation mixte intérieure + extérieure a été étudiée.

Des variantes de mise en œuvre spécifiques ont été étudiées : interruption de la dalle de compression sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive entraînant une diminution de la largeur de l'appui de la solive ; interruption de la dalle de compression par un montant en bois sur la largeur du mur hors doublage (125 mm).



Mur à ossature bois isolé par l'intérieur (ITI)



Type	Isolation intérieure	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), sans traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	0,47
	R = 2	h = 20 cm	0,53
	R = 5	h = 15 cm	0,45
	R = 5	h = 20 cm	0,51

- 75 % si ajout ITE $R > 2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
 - 40 % si interruption de la dalle sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive
 - 10 % si interruption de la dalle par un montant sur la largeur du mur (125 mm)

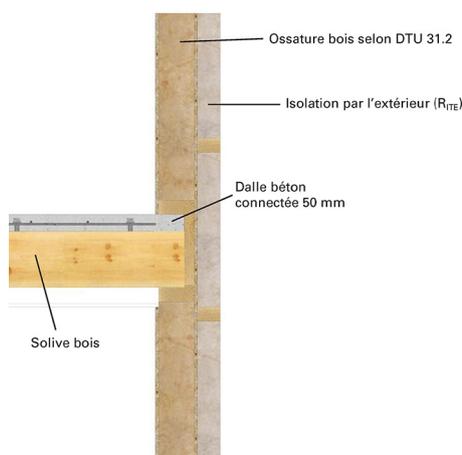
▲ Figure 46 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur à ossature bois isolé par l'intérieur sans traitement du pont thermique et un plancher intermédiaire bois-béton

Type	Isolation intérieure	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'intérieur (ITI), avec traitement du pont thermique	R = 2	h = 15 cm	0,29
	R = 2	h = 20 cm	0,30
	R = 5	h = 15 cm	0,26
	R = 5	h = 20 cm	0,27

- 75 % si ajout ITE $R > 2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
 - 45 % si interruption de la dalle sur 50 mm au minimum par insertion d'un isolant en about de solive
 - 30 % si interruption de la dalle par un montant sur la largeur du mur (125 mm)

▲ Tableau 7 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur à ossature bois isolé par l'intérieur avec traitement du pont thermique et un plancher intermédiaire bois-béton

Mur à ossature bois isolé par l'extérieur (ITE)



Type	Isolation extérieure	hauteur solive	Ψ [W/(m.K)]
Isolation thermique par l'extérieur (ITE)	R = 2	h = 15 cm	0,14
	R = 2	h = 20 cm	0,16
	R = 5	h = 15 cm	0,06
	R = 5	h = 20 cm	0,07

▲ Figure 47 : Coefficients de transmission thermique linéique Ψ des ponts thermiques de liaison entre un mur à ossature bois isolé par l'extérieur et un plancher intermédiaire bois-béton

7.4.3.3. • 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...). L'un des paramètres est l'inertie thermique qui caractérise la capacité du bâtiment à stocker la chaleur, il 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 %.

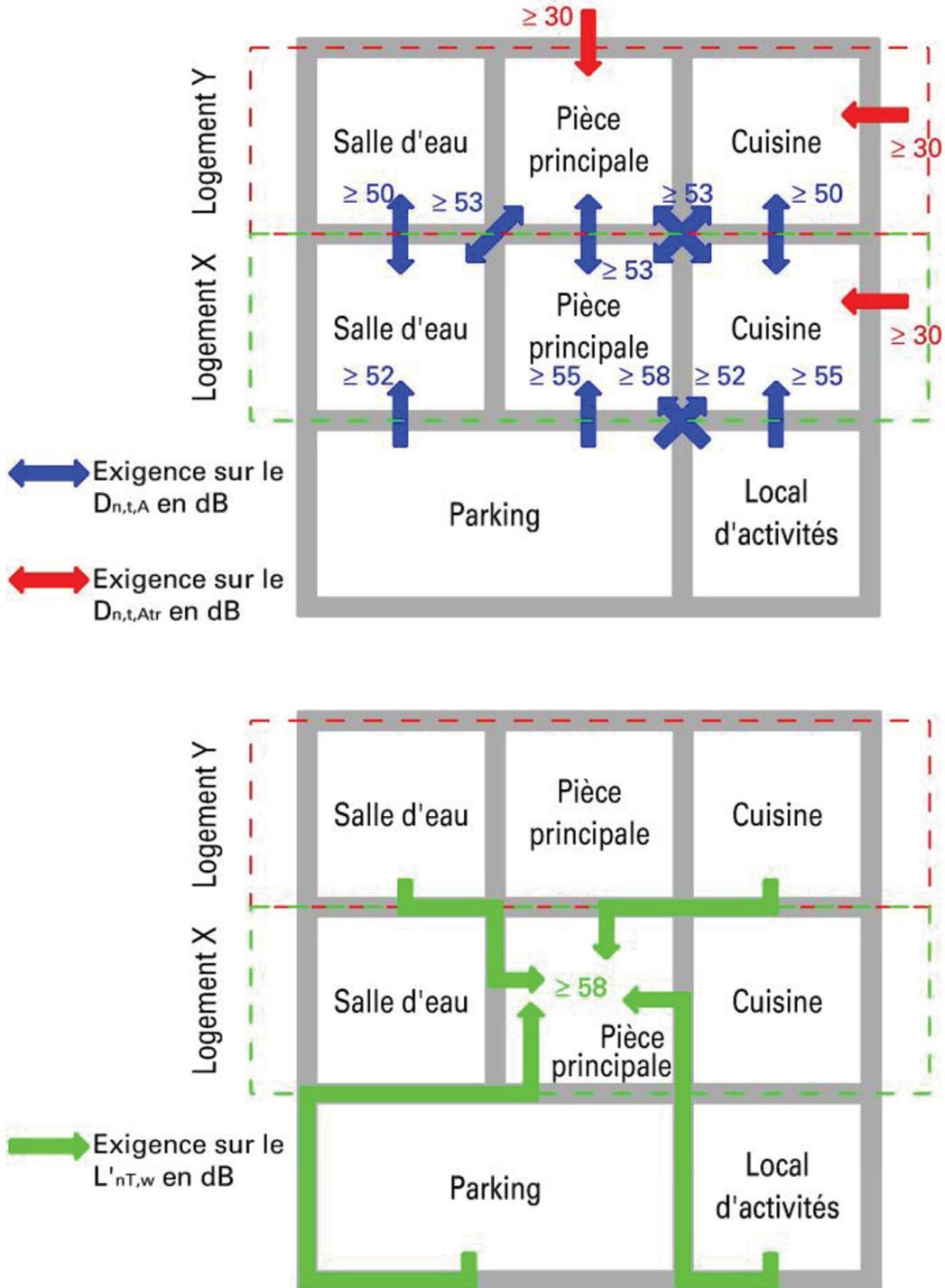
7.5. • Acoustique

7.5.1. • Introduction

Les réglementations acoustiques françaises sont des réglementations de résultat et non de moyen : ce n'est pas la performance propre des produits ou des systèmes qui est visée, mais la performance globale du bâtiment. Donc, pour concevoir un bâtiment de façon à ce qu'il puisse atteindre les exigences fixées, il est nécessaire de bien connaître la performance des systèmes qui le composent ainsi que leurs connexions.

Il existe à ce jour principalement quatre domaines réglementés sur le plan acoustique pour les bâtiments neufs ou les extensions de bâtiment :

- bâtiment d'habitation, arrêté du 30 juin 1999 ;
- hôtel, arrêté du 25 avril 2003 ;
- établissement d'enseignement, arrêté du 25 avril 2003 ;
- établissement de santé, arrêté du 25 avril 2003.



▲ Figure 48 : Exigences réglementaires pour les bâtiments d'habitation. Isolement au bruit aérien et au bruit d'impact (non exhaustif)



▲ Figure 49 : 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, 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).

Les pré-requis sont les suivants :

- produits sous Avis Technique ;
- le système de base peut être soit de type solives et platelage, soit de type dalle massive ;
- dalle de compression en béton d'une épaisseur de 50 à 70 mm, ferrillée et connectée mécaniquement au support ;
- plafond suspendu en plaques de plâtre avec matériau isolant ;
- 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.



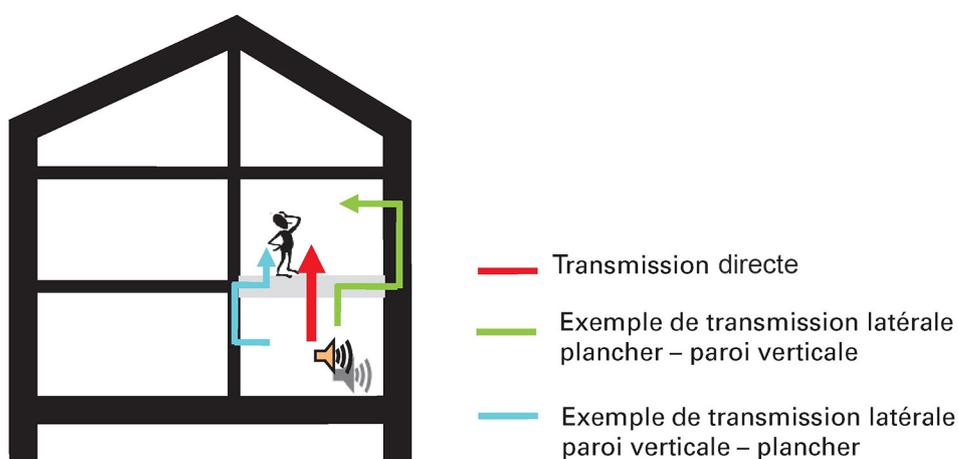
Performance des traitements du plancher : $\Delta(R_w+C)$ en dB

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 50 : 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 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 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 maçonné, 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 : ΔL_w en dB

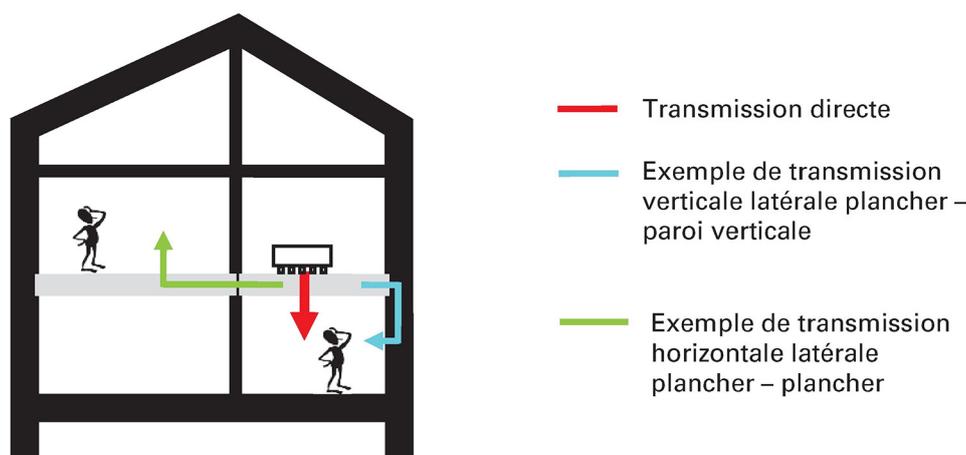
Les traitements en sous-face de type plafond suspendu améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

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

L'amélioration de l'isolement au bruit d'impact ΔL_w en dB dépend du plancher support.



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



▲ Figure 51 : 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 maçonnerie, 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 ΔR et ΔL 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 m², 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 m².

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 m²

7.6. • Séismes

7.6.1. • Introduction

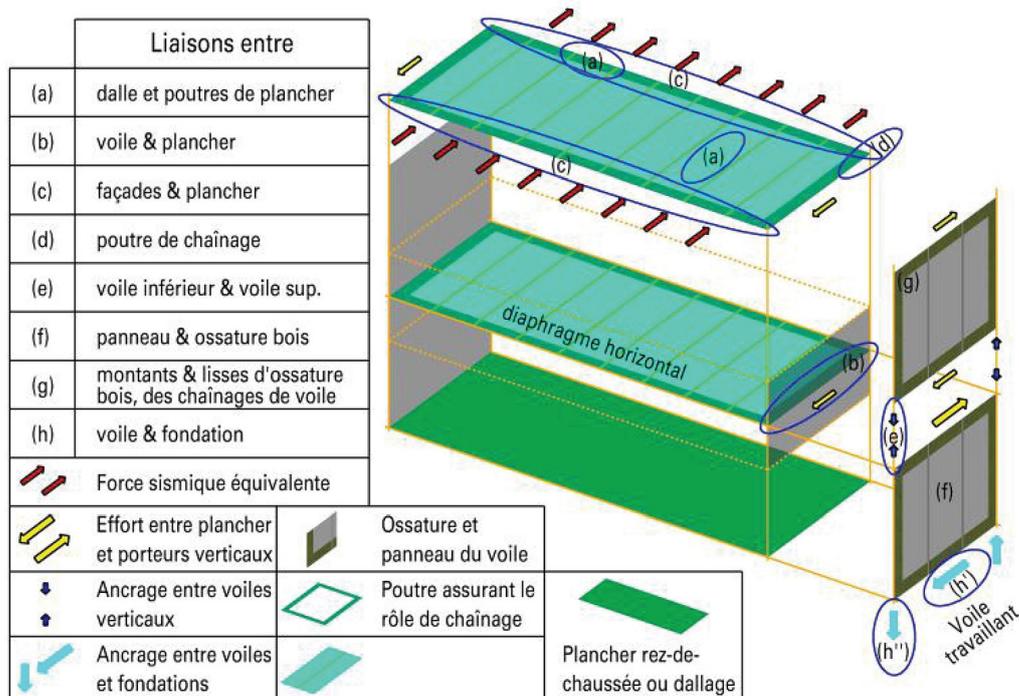
Un plancher mixte bois-béton constitue une réponse pertinente pour remplir les différentes fonctions d'un tel composant d'ouvrage. Rappelons qu'un plancher bois-béton permet d'utiliser en flexion gravitaire le bois en zone tendue et le béton en zone comprimée avec une optimisation mécanique et massique.

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 utilisation des poutres 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 mailon 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 52) 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 52 : Principes de transfert des efforts horizontaux depuis les parties lourdes des planchers jusqu'aux fondations

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...), 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... Des combinaisons de systèmes de connexion par contact et par cisaillement d'organes peuvent fonctionner.

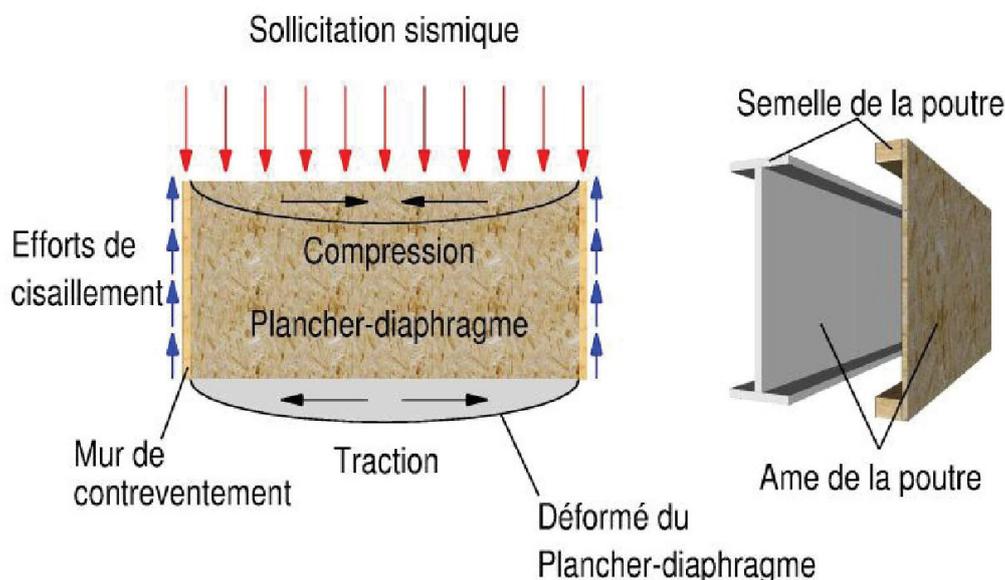
Parmi ces différentes solutions, on rencontrera plus usuellement les solutions suivantes pour des projets neufs :

- 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...

Même si les schémas sont présentés pour des systèmes avec réseau de poutres, les fonctions de transfert d'efforts sont facilement transposables.

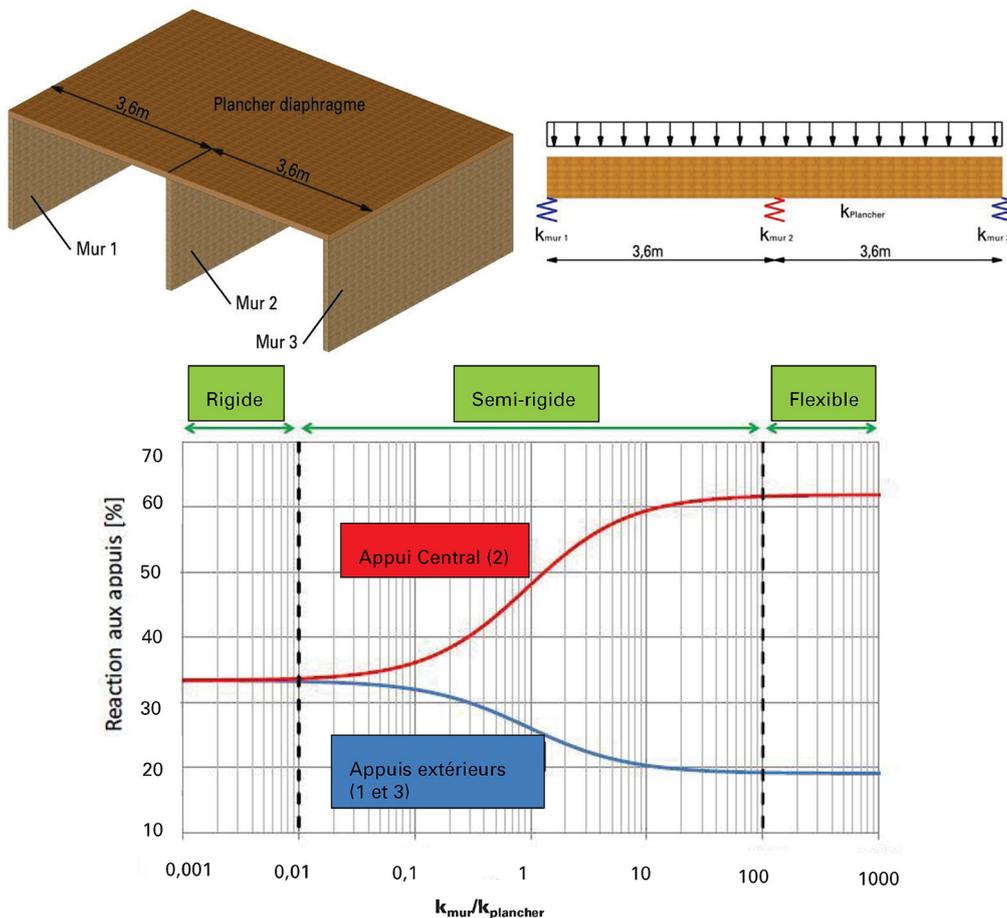
7.6.3. • Fonctionnement d'un plancher diaphragme horizontal mixte bois-béton et de ses connexions avec les murs de contreventement

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 53) schématise ces principes.



▲ Figure 53 : Similitude entre un plancher diaphragme et une poutre courte avec membrures

La rigidité et la résistance intrinsèque 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 54) 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 54) 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.

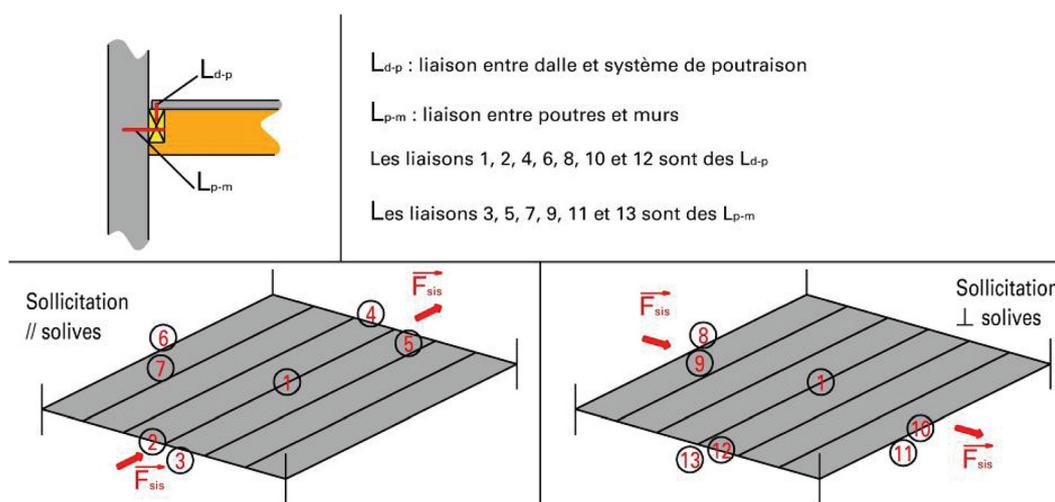


▲ Figure 54 : Illustration de la conséquence d'une baisse de rigidité du plancher diaphragme par rapport à celle des murs de contreventement

Il convient maintenant de répertorier les principaux efforts à reprendre entre la dalle, les poutres et les murs. La (Figure 54) 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 52), 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

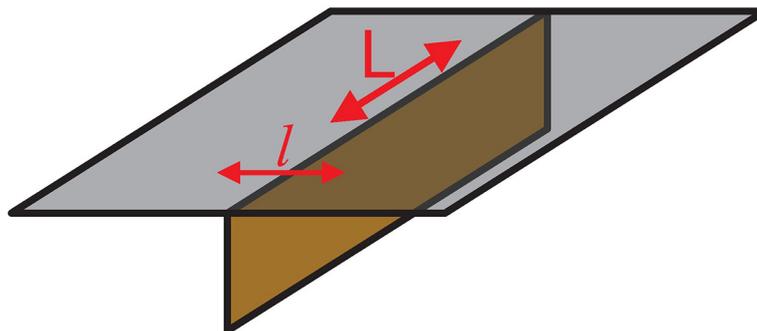
et entre poutres et murs. Cette figure considère deux cas de chargement sismique : un pour lequel la force sismique est orientée parallèlement aux solives, et l'autre pour une force sismique perpendiculaire aux solives. Les repères de la figure seront repris par la suite pour illustrer des principes de connexion.

Les index de connexion sont définis dans la légende de la (Figure 54). 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 55) 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 55 : Repérage des liaisons intégrées par les repères (a) et (c) de la figure du § 7.6.1.



▲ Figure 56 : Orientation des efforts que doivent reprendre les connexions dalle-poutres (L : effort longitudinal, l : effort latéral)

7.6.4. • 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.

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

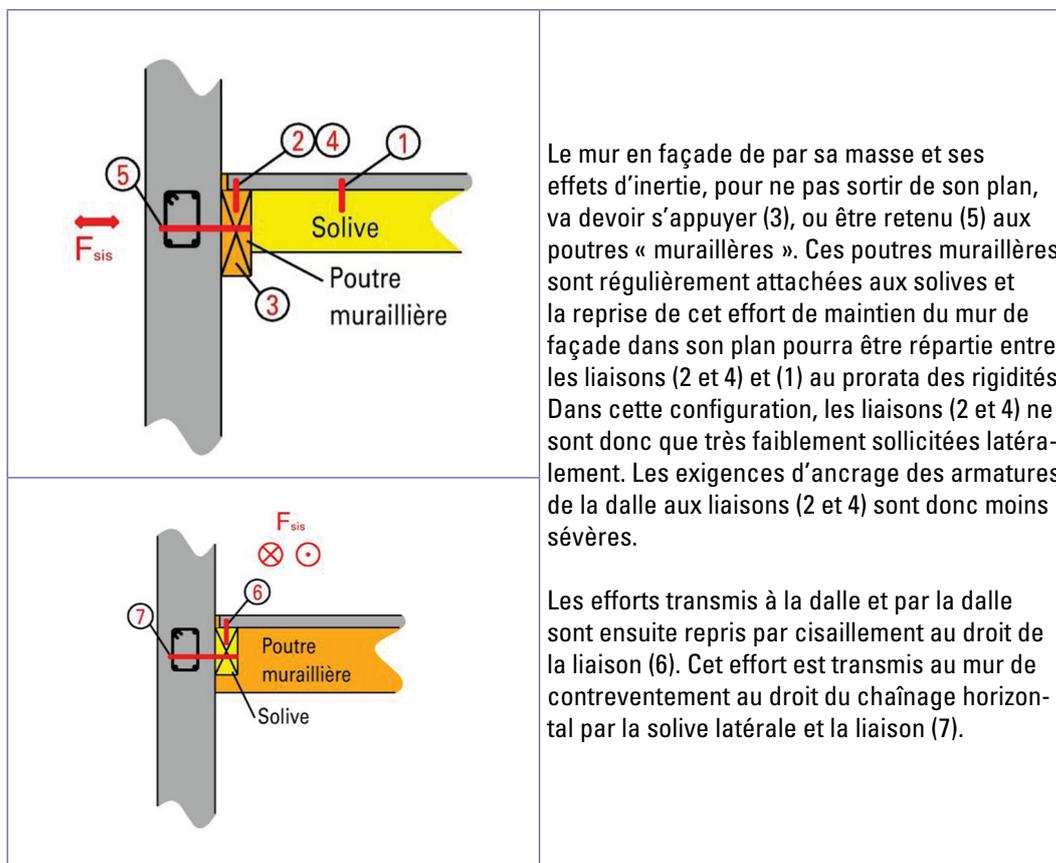
Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraille » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (A)

	<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) à la solive latérale. 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 au mur de contreventement au droit du chaînage horizontal.</p> <p>Remarque 1 La liaison (1), si elle est suffisamment éloignée de (12), n'est pas sollicitée latéralement, la dalle transmet l'effort à la poutre « muraille » par la liaison (12) plus rigide.</p> <p>Remarque 2 Les efforts entre plancher et murs transitent obligatoirement par des ancrages ou scellements au droit ou au sein d'un chaînage.</p>

▲ Figure 57 : 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 « muraille » en applique au droit des extrémités des solives, sollicitation sismique parallèle aux solives (B)



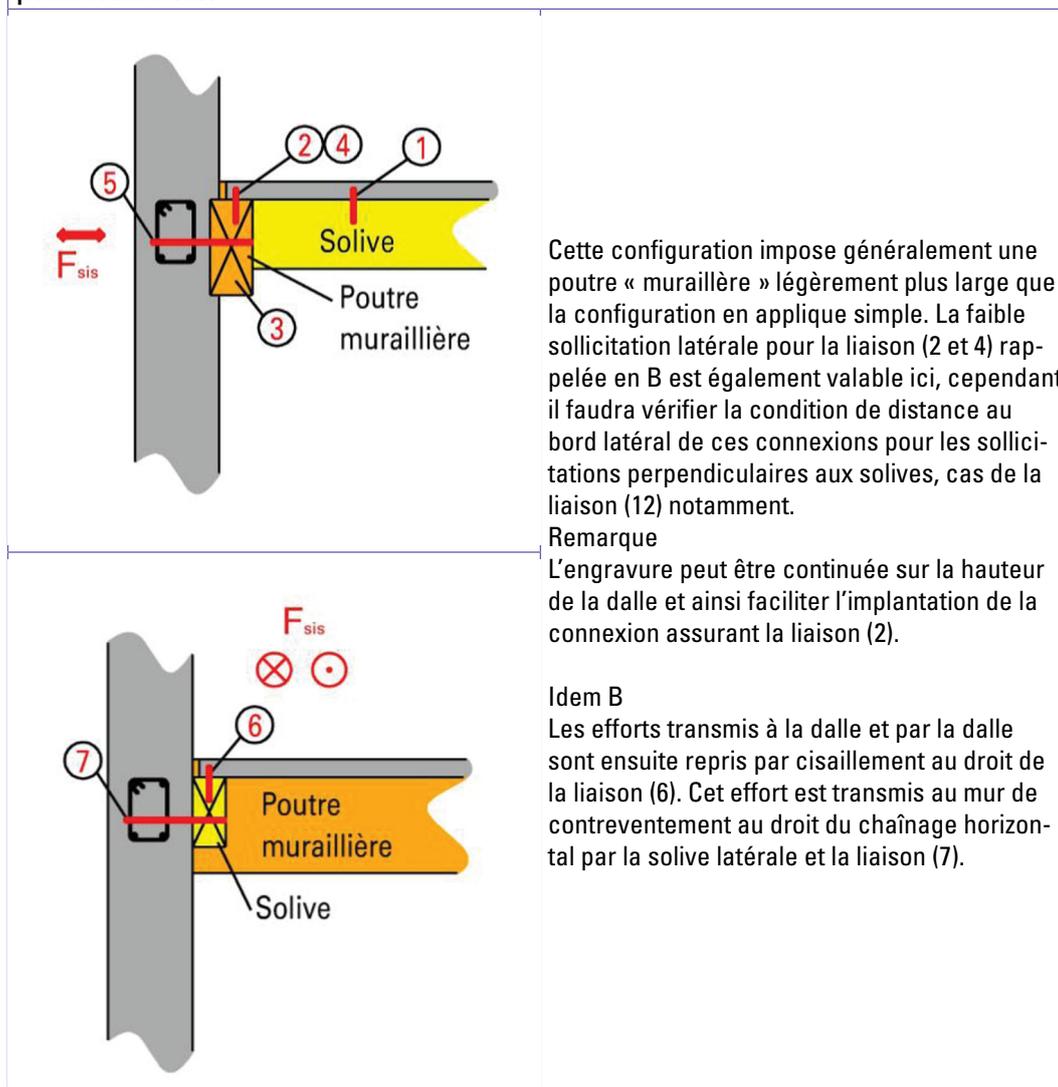
Le mur en façade de par sa masse et ses effets d'inertie, pour ne pas sortir de son plan, va devoir s'appuyer (3), ou être retenu (5) aux poutres « murailles ». Ces poutres murailles sont régulièrement attachées aux solives et la reprise de cet effort de maintien du mur de façade dans son plan pourra être répartie entre les liaisons (2 et 4) et (1) au prorata des rigidités. Dans cette configuration, les liaisons (2 et 4) ne sont donc que très faiblement sollicitées latéralement. Les exigences d'ancrage des armatures de la dalle aux liaisons (2 et 4) sont donc moins sévères.

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).

▲ Figure 58 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraille » 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 « muraille » 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.



Cette configuration impose généralement une poutre « muraille » 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.

Remarque

L'engravure peut être continuée sur la hauteur de la dalle et ainsi faciliter l'implantation de la connexion assurant la liaison (2).

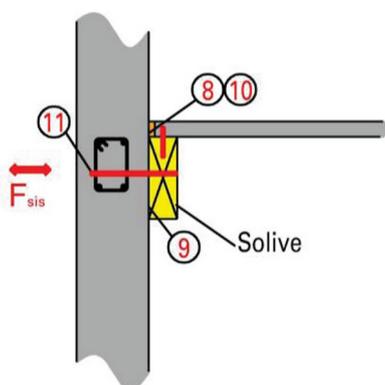
Idem B

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).

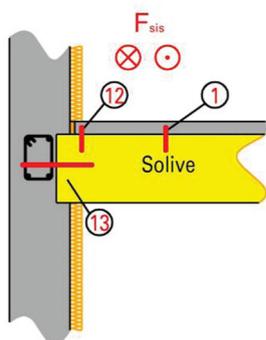
▲ Figure 59 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre « muraille » engravée dans le mur de façade ou de refend

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.



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.



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.

Remarque 1

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.

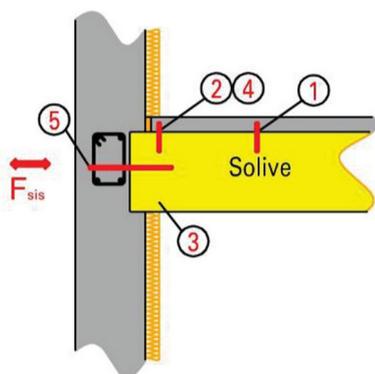
Remarque 2

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.

▲ Figure 60 : 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)

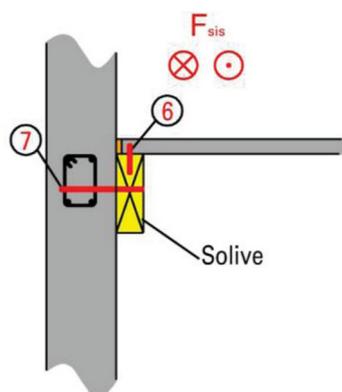
Cette configuration est efficace pour la reprise des efforts gravitaires apportés par le plancher.



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)

Remarque 1

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.



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.

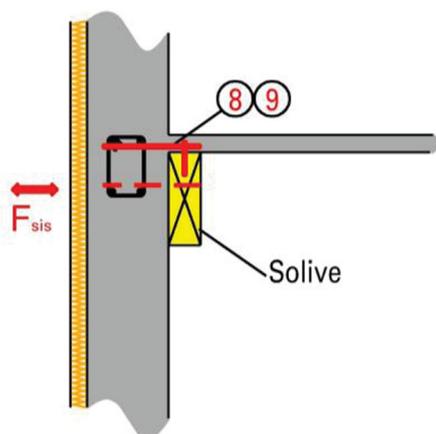
Remarque 2

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.

▲ Figure 61 : 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.

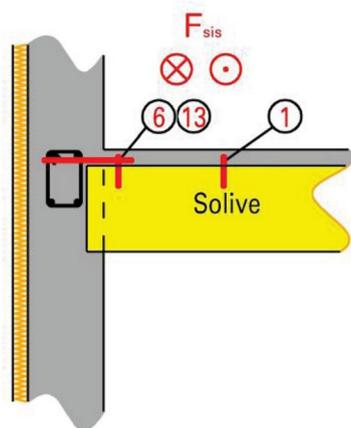


Le transfert des effets d'inertie associés à la masse de la façade est concentré sur la liaison (8 et 9) pour reprendre un effort de traction ou de compression.

Remarque 1

La liaison de la solive latérale relève plus de fixation de montage que de liaison permettant un transfert d'effort sismique.

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.



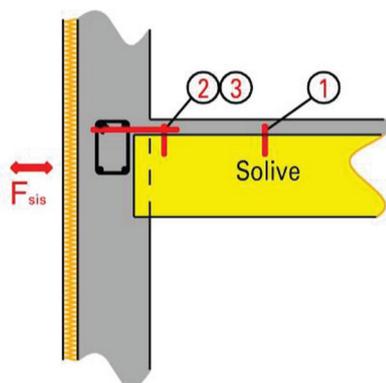
Remarque 2

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.

▲ Figure 62 : 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

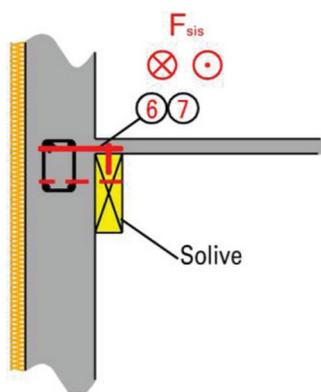
Plancher diaphragme connecté directement au droit de la dalle en béton armé aux murs de façade ou de refend au droit d'un chaînage horizontal, sollicitation sismique parallèle aux solives (G)

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



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.

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.



Remarque 1

La liaison de la solive latérale relève plus de fixation de montage que de liaison permettant un transfert d'effort sismique.

Remarque 2

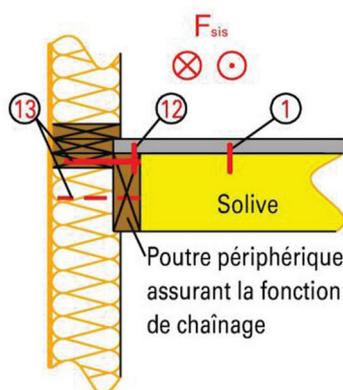
L'appui des solives sur une partie de l'épaisseur du mur suppose qu'il reste suffisamment de place pour mettre correctement en œuvre le chaînage horizontal dans la partie restante du mur.

▲ Figure 63 : 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



7.6.4.2. • Liaison plancher mixte bois-béton et murs en ossature en bois

Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre périphérique engravée sur les montants des murs en ossature bois, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives (H)



▲ Figure 64 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre périphérique engravée sur les montants des murs en ossature bois, sollicitation sismique perpendiculaire aux solives.

Les efforts apportés par la masse des murs (parallèles à la coupe présentée ci-dessus) par celle du plancher et par la partie permanente des charges d'exploitation sont transmis de la dalle en béton armé à la poutre de chaînage périphérique par la liaison (12). Cet effort est ensuite transmis au mur de contreventement par les liaisons (13).

La solive latérale présente une connexion semblable à celle de la poutre « périphérique de chaînage », elle en est une également. L'épaulement dans le mur pour la solive latérale n'est pas nécessaire.

Note 1

La liaison (13) basse est réalisée au droit des montants du mur à ossature bois. Cette liaison en cisaillement est moins rigide que celle qui est réalisée dans la traverse haute du mur.

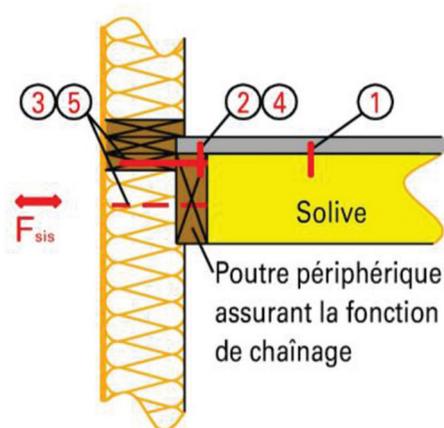
Note 2

La poutre périphérique pourrait être plus haute que la solive et arriver au nu supérieur de la dalle. Ainsi, la liaison (13) haute pourrait être réalisée directement sur la lisse haute de lien des panneaux.

Note 3

La liaison entre dalle et solive latérale reprend, comme dans le (schéma A), liaison (8 et 10), des efforts latéraux. La masse plus faible des murs en ossature bois limite l'intensité de cet effort par rapport à celui engendré par des murs en béton armé ou en maçonnerie.

Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre périphérique engravée sur les montants des murs en ossature bois, sollicitation sismique parallèle aux solives (I)



▲ Figure 65 : Plancher diaphragme connecté par le système de poutraison, présence d'une poutre périphérique engravée sur les montants des murs en ossature bois, sollicitation sismique parallèle aux solives.

Les efforts apportés par la masse des murs (perpendiculaires à la coupe présentée ci-dessus) sont transmis à la poutre de chaînage périphérique par les liaisons (3) et (5). Cet effort est ensuite transmis à la dalle en béton armé par les liaisons (2) et (4). Puis cet effort est transmis au mur de contreventement par les liaisons (6) et (7) au droit des solives latérales.

Des solutions avec poutre périphérique portée et solives également portées correspondent à des solutions difficilement justifiables pour des critères thermiques et des critères de protection incendie. Les deux configurations présentées ci-après sont donc à proscrire :

	<p>Cette configuration favorise un pont thermique important au droit de la dalle en béton armé (l'isolation par l'extérieur est rare en construction bois, on ne trouve ce type de configuration que dans certains cas de mur en CLT (<i>Cross Laminated Timber</i>)).</p>
	<p>L'arrêt de la dalle en béton armé au nu intérieur du mur, même avec une continuité du panneau coffrant, dégage des espaces propices à la propagation d'incendie d'un étage à un autre.</p>

▲ Figure 66 : Solutions à proscrire

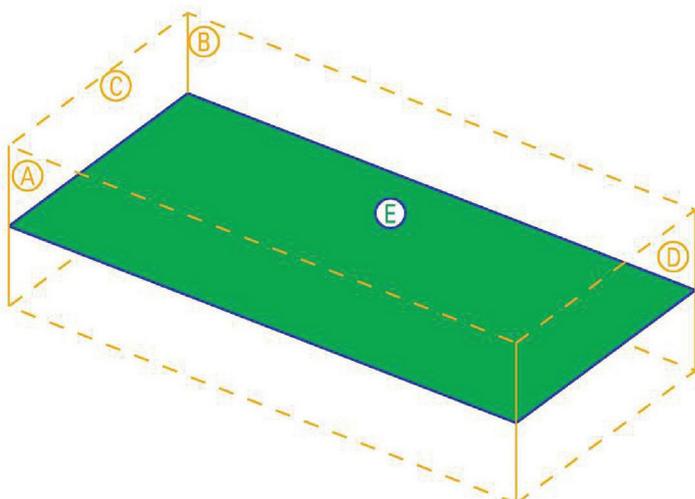


7.6.4.3. • Évaluation des efforts à reprendre par les connexions

Les efforts que doivent reprendre les différentes connexions doivent être calculées 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 79) 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 67 : 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 65) 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 $m_D \times \gamma_{\text{étage}}$.

$\gamma_{\text{étage}}$ 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 :

$$(m_5 + m_4 + m_3) \cdot \gamma_{\text{étage}} \text{ ou } (m_5 + m_2 + m_1) \cdot \gamma_{\text{étage}}$$

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.

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 muraille et/ou sabot ou l'utilisation des poutres suspendues constituent des solutions plus pérennes.



L'étude de transfert hygrothermique présentée dans ce document peut, par ailleurs, donner des indications du risque de condensation pour les planchers hauts.

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 (1)			Bois avec aubier, traité pour utilisation en classe d'emploi 2		
	Durabilité fongique	Résistance aux insectes à larves xylophages	Résistance aux termites (2)	Durabilité fongique	Résistance aux insectes à larves xylophages (3)	Résistance aux termites (3)
Châtaignier	L3	oui	non	L1	oui	oui
Chêne (rouvre et / ou pédonculé)	L3	oui	non	L1	oui	oui
Peuplier blanc (*)	L2	non	non	L1	oui	oui
Douglas	L1	oui	non	L1	oui	oui
Épicéa (*)	L2	non	non	L1	oui	oui
Mélèze d'Europe	L3	oui	non	L1	oui	oui
Pin maritime	L3	oui	non	L1	oui	oui
Pin sylvestre	L3	oui	non	L1	oui	oui
Sapin blanc (*)	L2	non	non	L1	oui	oui

(*) Pour ces essences, l'aubier est peu ou pas distinct du duramen à l'état sec.
 (1) 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).
 (2) Certaines essences ont une résistance moyenne vis-à-vis des termites (voir NF EN 350-2), elles ont été considérées comme non résistantes.
 (3) 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 ^{ème}	Classe d'emploi 2 Classe de service 2
Vide sanitaire moyennement ventilé 1/250 ^{ème}	Classe d'emploi 2 ou 3 Classe de service 2
Vide sanitaire avec risque de stagnation d'eau ou faiblement ventilé 1/500 ^{ème}	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 ci-dessus

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 CINOV) ;
- 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 (UNSFA) ;
- 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.



RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

MISE EN ŒUVRE ET ISOLATION
DES PLANCHERS MIXTES BOIS-
BÉTON

MARS 2015

NEUF

Les recommandations professionnelles RAGE « Mise en œuvre et isolation des planchers mixtes bois béton en construction neuve » 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 construction neuve.

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 des informations spécifiques à la construction neuve telles que l'utilisation sur ossature bois.

Enfin, ce document constitue un état de l'art des dispositions classiquement utilisées pour ce procédé dans le but de franchir une nouvelle étape vers la reconnaissance de ce procédé, 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

