

CONCEPTION DES PAROIS VERTICALES EN POUTRES EN I A BASE DE BOIS CONFORMEMENT AUX EUROCODES



FINANCEMENT

CODIFAB

Développement des Industries Françaises
de l'Ameublement et du Bois

AUTEURS



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Christophe MERZ



Frank KUPFERLE

COMITE DE PILOTAGE

Nous remercions les membres du Comité de Pilotage qui ont su orienter au mieux la rédaction du présent guide pour qu'elle corresponde aux attentes réelles des concepteurs et réalisateurs de structures bois.

Gilles MARMORET
Rodolphe MAUFRONT
Clément QUINEAU

CAPEB UNA CMA
UMB FFB
UICB

GROUPE CONSULTATIF D'EXPERTS

Nous remercions les experts du Groupe Consultatif pour leurs apports à ce guide, tant scientifiques et techniques que pratiques, sans lesquels il ne serait certainement pas aussi juste et complet.

Yann BERTIN
Marc BONNEAU
Benjamin DELAGE
Jacques KNEPFLER
Laureline ROY

GROUPE ISB
SICOB
FRANCE POUTRES
STEICO
GROUPE ISB

Photo de couverture : Patrice LE BRIS

© FCBA & C4Ci, 2023. Tous droits réservés. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie - 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris

PREAMBULE

L'usage de la poutre en I comme élément porteur vertical au sein d'une paroi ossature bois s'est développé depuis plus de 20 ans dans plusieurs pays européens (Scandinavie, pays germanophones, Belgique), notamment dans l'habitat à basse consommation d'énergie et la maison passive. Cet usage a donc tout naturellement été reproduit en France ces dernières années, principalement sous l'effet d'initiatives individuelles de maîtres d'ouvrages, d'architectes, de constructeurs ou encore d'industriels.

Afin de promouvoir ce type de solution particulièrement adaptée aux enjeux de la transition énergétique, et de permettre au plus grand nombre de s'en approprier les principes, les professionnels de la poutre en I et les entreprises de la construction bois, ont souhaité proposer un premier document collectif sur ce sujet sous la forme d'un guide de conception et mise en œuvre.

Ce guide est destiné aussi bien aux maîtres d'ouvrage ou architectes qui souhaitent découvrir les avantages et particularités de cette technique, traités dans la première partie du document, qu'aux bureaux d'études et constructeurs amenés à concevoir et mettre en œuvre ce type de paroi, et qui trouveront dans la seconde partie du document des informations techniques plus détaillées.

C'est avec le souci de répondre aux attentes des uns comme des autres que ce guide a été conçu et organisé.

Après une introduction aux atouts de cette technique, et un rappel du domaine d'application couvert, ce guide présente en premier lieu de manière synthétique le principe constructif et les principes généraux de conception qui permettront au maître d'ouvrage ou à l'architecte de s'orienter vers le choix de cette solution.

Pour en savoir plus, notamment sur les dispositions relatives aux matériaux, les méthodes de dimensionnement et de justification, ainsi que les éléments relatifs à la fabrication et la mise en œuvre de ce type de parois, le concepteur et le constructeur pourront ensuite se pencher sur la seconde partie du guide.

De manière générale, le guide traite principalement des exigences de sécurité, d'aptitude au service, de résistance au feu et durabilité des structures bois. Il n'entre pas dans le détail des justifications de « l'enveloppe » (acoustique, thermique, transfert de vapeur, étanchéité à l'eau ou à l'air...).

La partie relative au dimensionnement et justifications est basée sur les acquis techniques et scientifiques partagés et enrichie par les résultats de l'étude expérimentale sur le comportement des parois à montants poutres en I soumis à de la compression avec un effort normal excentré, réalisée pour le compte du Codifab

Les éléments présentés dans les pages qui suivent sont basés sur la réglementation et les normes en vigueur à la date de publication de ce guide. Les schémas et informations ont valeur d'exemple et n'exonèrent pas le lecteur de sa responsabilité et de l'exercice de ses devoirs professionnels.

ABRÉVIATIONS

CODIFAB	Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois
CAPEB	Confédération des Artisans et Petites Entreprises du Bâtiment
UNA CMA	Union Nationale Charpente Menuiserie Agencement (fait partie de la CAPEB)
FFB	Fédération Française du Bâtiment
UMB	Union des Métiers du Bois (fait partie de la FFB)
UICB	Union des Industriels et Constructeurs Bois

UNITÉS

kg	Kilogramme
kN	Kilonewton (1 kN = 100 daN = 1 000 N)
N/mm²	Newton par millimètre carré (1 N/mm ² = 1 MPa)
mm	Millimètre

RÉFÉRENCES NORMATIVES

NF EN 1990	Eurocode 0 – Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures (Mars 2003)
NF EN 1990/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1990 (Décembre 2011)
NF EN 1991-1-1	Eurocode 1 – Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumique, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (Mars 2003)
NF P06-111-2	Annexe Nationale Française à la NF EN 1991-1-1 (Juin 2004)
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) + A1 (Octobre 2008) + A2 (Juillet 2014)
NF EN 1995-1-1/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1995-1-1 (Mai 2010)
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	Annexe Nationale Française à la NF EN 1995-1-2 (Avril 2007)
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 622-5	Panneaux de fibres – Exigences – Partie 5 : Exigences pour panneaux obtenus par procédé à sec (MDF) (Décembre 2009)
NF EN 636	Contreplaqué - Exigences (2012) + A1 (Mai 2015)
NF EN 12369-1	Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 1 : OSB, panneaux de particules et panneaux de fibres (Mars 2001)
NF EN 12369-2	Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 2 : Contreplaqué (Mars 2004)
NF EN 13986	Panneaux à base de bois destinés à la construction - Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage
NF EN 14080	Structures en bois - Bois lamellé collé et bois massif reconstitué - Exigences
NF EN 14081-1	Structures en bois - Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance - Partie 1 : exigences générales
NF EN 14279	Lamibois (LVL) - Définitions, classification et spécifications

NF EN 14374	Structures en bois - LVL (Lamibois) - Exigences
NF EN 14592	Structures en bois - Éléments de fixation de type tige - Exigences
NF EN 15497	Bois massif de structure à entures multiples - Exigences de performances et exigences minimales de fabrication

SOMMAIRE

1.	PRISE EN MAIN DU GUIDE	7
1.1.	POURQUOI CONCEVOIR UN MUR EN POUTRE EN I ?	9
1.2.	DOMAINE D'APPLICATION	10
1.3.	PRISE EN MAIN DU GUIDE.....	11
2.	CONCEPTION DES PAROIS.....	12
2.1.	PRINCIPE CONSTRUCTIF	14
2.2.	PERFORMANCE THERMIQUE	16
2.3.	SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE INCENDIE	18
2.4.	TYPES DE PAROIS.....	20
2.5.	ASPECTS STRUCTURAUX.....	23
2.6.	ASSEMBLAGES ET ANCRAGES	23
2.7.	EXEMPLES DE COUPES ET DETAILS DE LIAISON	24
2.8.	DURABILITE.....	31
3.	MATERIAUX	32
3.1.	POUTRES EN I	34
3.2.	AUTRES ELEMENTS D'OSSATURE	36
3.3.	PANNEAUX POUR VOILE DE CONTREVENTEMENT	38
3.4.	ORGANES D'ASSEMBLAGE	40
3.5.	MATERIAUX COMPLEMENTAIRES.....	42
4.	JUSTIFICATIONS	43
4.1.	DETERMINATION DES ACTIONS	45
4.2.	SPECIFICITES LIEES AUX MONTANTS POUTRES EN I	50
4.3.	VERIFICATION DES MONTANTS	54
4.4.	VERIFICATION DES TRAVERSES EN COMPRESSION TRANSVERSALE	66
4.5.	DIMENSIONNEMENT DES DIAPHRAGMES DE MUR.....	70
4.6.	VERIFICATION EN ZONE SISMIQUE	74
4.7.	ASSEMBLAGES	76
4.8.	ANCRAGES	88
4.9.	OUVERTURES ET CHEVETRES	90
5.	FABRICATION, MISE EN OEUVRE	92
5.1.	FABRICATION DES PAROIS.....	94
5.2.	MISE EN OEUVRE.....	97

PRISE EN MAIN DU GUIDE

INTRODUCTION

Ce guide a pour objectif de rassembler en un premier document collectif les principes de conception et de mise en œuvre des parois verticales en poutres en I à base de bois, afin de permettre leur appropriation par le plus grand nombre.

Il est destiné aussi bien aux maîtres d'ouvrage ou architectes qui souhaitent découvrir les avantages et particularités de cette technique, qu'aux bureaux d'études et constructeurs amenés à concevoir et mettre en œuvre ce type de paroi.

Cette première partie présente les éléments permettant une bonne **prise en main de ce guide**.

Après une introduction qui présente de manière synthétique les **atouts et apports de cette solution technique**, une seconde section décrit le **domaine d'application** de ce guide, afin d'en préciser la portée et les exclusions.

Enfin, on présente **l'articulation du guide afin d'en faciliter l'appropriation et l'utilisation par le lecteur**, notamment pour son orientation selon qu'il souhaite avant tout appréhender les éléments clés de conception et de choix des solutions, ou qu'il souhaite également entrer dans le détail de la conception, du dimensionnement et/ou de la mise en œuvre.

1.1. POURQUOI CONCEVOIR UN MUR EN POUTRE EN I ?

UNE SOLUTION INDUSTRIELLE ET OPTIMISEE POUR UNE PERFORMANCE THERMIQUE ACCRUE

UN PRODUIT INDUSTRIEL DE QUALITE SUPERIEURE

La poutre composite légère à base de bois, communément appelée « poutre en I », est un produit issu d'un process industriel maîtrisé faisant intervenir des composants contrôlés, façonnés et assemblés par collage structural dans des conditions de fabrication strictes (humidité, température, stockage, tolérances dimensionnelles), faisant en outre l'objet d'un contrôle de production en usine poussé et d'une supervision par un organisme externe dans le cadre (notamment) du marquage CE.

La poutre en I est donc un produit industriel de qualité supérieure, sec, stable dimensionnellement, aux dimensions précises et disponible en grande longueur. Ses propriétés mécaniques sont particulièrement homogènes, et assurées par un niveau de contrôle élevé (système d'EVCP de niveau 1) supervisé par un organisme notifié. Les poutres en I commercialisées sur le marché français par les fabricants membres de l'UICB sont toutes titulaires d'une Evaluation Technique Européenne (ETE).

UNE SECTION OPTIMISEE

Le principe même d'une poutre en I à base de bois est de mettre le bon matériau (à base de bois) au bon endroit et en quantité juste suffisante pour répondre au double enjeu de performance mécanique et de rationalisation de l'utilisation de la matière première.

Cette section optimisée apporte intrinsèquement un avantage complémentaire dans le cadre de la performance thermique d'une paroi isolée à ossature bois en poutre en I : elle réduit la déperdition thermique par le montant comparativement à une section rectangulaire de même largeur, à épaisseur d'isolant identique. Et ceci est d'autant plus vrai que l'épaisseur de la paroi et donc de l'isolation entre montants est importante.

En outre, les poutres en I à base de bois sont usuellement disponibles en hauteurs allant de 200 à 400 mm voire plus, permettant ainsi d'atteindre des épaisseurs d'isolation entre montant équivalentes, qu'il est difficile d'atteindre en section rectangulaire sans faire appel à une surisolation intérieure et extérieure (mur manteau).

UNE SOLUTION PERFORMANTE POUR UN TEMPS DE MISE EN ŒUVRE RACCOURCI

La combinaison des caractéristiques intrinsèques de la poutre en I à base de bois (qualité industrielle, performance mécanique et thermique, optimisation de la matière, disponibilités en hauteurs de 200 à 400 mm ou plus) permet de réaliser une paroi hautement performante d'un point de vue thermique et sûre d'un point de vue technique, tout en évitant les étapes (et donc le temps de mise en œuvre) supplémentaires d'une surisolation extérieure et/ou intérieure.

Cette solution performante est d'autant plus pertinente dans le cadre d'une préfabrication de murs fermés 2 faces et isolés, permettant de rationaliser au maximum les temps de fabrication et les temps de pose à performance thermique égale.

1.2. DOMAINE D'APPLICATION

GENERALITES

Ce document a pour objet d'établir les principales prescriptions techniques pour l'utilisation de poutres composites légères à base de bois, dites « poutres en I », comme éléments d'ossature de murs rigidifiés dans leur plan par un voile travaillant.

Il s'applique :

- à une utilisation en France métropolitaine ;
- à la réalisation de bâtiments de type R+1+combles ou de surélévations de trois niveaux maximum sans dépasser 18m, pour des bâtiments à usage d'habitations, des bâtiments régis par le code du travail et des Etablissements Recevant du Public (ERP) ;
- aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie.

Ces prescriptions sont basées sur les référentiels normatifs existants, notamment l'Eurocode 5 (EC5) et le DTU 31.2 et s'appuient également sur les résultats de l'« étude expérimentale du comportement de parois avec montants poutres en I sous chargement excentré » réalisée pour le compte du Codifab. Elles visent à préciser les aspects structuraux des murs à ossature bois constitués de poutres en I.

POUTRES EN I A BASE DE BOIS

Les poutres en I visées par le présent document sont constituées de membrures en bois ou matériau à base de bois de section rectangulaire et d'une âme en bois massif ou en panneau à base de bois, ces composants étant assemblés entre eux par collage structural.

Conformément au Règlement Produits de Construction (EU 305/2011), en l'absence de norme européenne harmonisée couvrant ces produits, la déclaration de performances et le marquage CE volontaire de ces produits passent par une Evaluation Technique Européenne (ETE), délivrée sur la base d'un Document d'Evaluation Européen (DEE).

Le Guide d'Agrément Technique Européen ETAG 011 « Poutres et poteaux composites légers à base de bois » peut être utilisé comme DEE.

A défaut de marquage CE, les poutres en I doivent faire l'objet d'un Avis Technique selon les dispositions du CPT 3768 « Planchers et Toitures en poutres en I à base de bois ».

Seules les poutres en I à âme bois ou en panneau à base de bois assemblées par collage structural font l'objet du présent guide.

ELEMENTS NON COUVERTS PAR LE GUIDE

Ce guide ne couvre pas les murs réalisés au moyen de :

- Poutres en I à âme métallique assemblées mécaniquement ;
- Poutrelles ajourées à âme bois ou métallique.

En outre, ce guide ne présente pas d'éléments détaillés spécifiques aux justifications :

- de la performance thermique des parois
- du comportement hygrothermique des parois

pour lesquels il convient de se référer aux référentiels en vigueur (Règles Th-Bât, DTU 31.2, Annexe D des Recommandations Professionnelles RAGE « Systèmes constructifs à ossature bois » (mars 2013), ...).

1.3. PRISE EN MAIN DU GUIDE

OBJECTIF

Ce guide a pour objectif de rassembler en un premier document collectif les principes de conception et de mise en œuvre des parois verticales en poutres en I à base de bois, afin de permettre leur appropriation par le plus grand nombre.

Ce guide est destiné aussi bien aux maîtres d'ouvrage ou architectes qui souhaitent découvrir les avantages et particularités de cette technique, traités dans la première partie du document, qu'aux bureaux d'études et constructeurs amenés à concevoir et mettre en œuvre ce type de paroi, et qui trouveront dans la seconde partie du document des informations techniques plus détaillées.

C'est avec le souci de répondre aux attentes des uns comme des autres que ce guide a été conçu et organisé.

ARTICULATION DU GUIDE

Ce guide s'articule autour de deux parties principales.

PRINCIPES DE CONCEPTION ET PARTICULARITES DES MURS EN POUTRES EN I

Cette première partie (§2) présente de manière synthétique le principe constructif (§2.1) des parois verticales en poutres en I à base de bois, ainsi que **les principes généraux de conception qui permettront au maître d'ouvrage ou à l'architecte de s'orienter vers le choix de cette solution.**

Les principaux éléments relatifs à la performance thermique (§2.2), la sécurité vis-à-vis du risque incendie (§2.3) ou encore la durabilité (§2.8) sont décrits.

Les typologies usuelles (§2.4) de parois verticales en poutre en I, ainsi que les aspects structuraux (§2.5), les principes d'assemblage et d'ancrage (§2.6) et des exemples de détails courants de traitement des points singuliers (§2.7) sont présentés, **mettant en lumière aussi bien les similarités avec le mur à ossature bois courant que les particularités et points de vigilance liés à l'utilisation de montants en poutre en I à base de bois.**

Cette première partie est donc **une introduction globale à la conception de ces parois, à l'attention de tout type de lecteur.** Certains éléments peuvent donc sembler redondants avec des parties plus détaillées positionnées plus loin dans le guide.

ELEMENTS TECHNIQUES RELATIFS AU DIMENSIONNEMENT, A LA FABRICATION ET LA MISE EN ŒUVRE

Pour en savoir plus, le concepteur et le constructeur pourront ensuite se pencher sur la seconde partie du guide qui appréhende avec plus de détail les aspects techniques de la conception.

On présente dans un premier temps (§3), **les dispositions relatives aux matériaux** entrant dans la composition de ces parois.

La section suivante (§4) **présente les méthodes de dimensionnement et de justification**, en s'appuyant sur les acquis techniques et scientifiques partagés, pour permettre une première approche de la vérification et de la conception.

Enfin, la dernière section (§5) **décrit les éléments relatifs à la fabrication et la mise en œuvre** de ce type de parois.

Les éléments présentés dans les pages qui suivent sont basés sur la réglementation et les normes en vigueur à la date de publication de ce guide. Les schémas et informations ont valeur d'exemple et n'exonèrent pas le lecteur de sa responsabilité et de l'exercice de ses devoirs professionnels.

CONCEPTION DES PAROIS

INTRODUCTION

Cette partie du guide se destine à tout lecteur qui souhaite appréhender les **éléments clés de la conception et de choix de solutions pour la réalisation de parois verticales en poutres en I à base de bois**.

On présente tout d'abord (§2.1) le **principe constructif**, avec les différentes techniques générales **et les principales particularités** qui différencient les parois verticales en poutres en I à base de bois des murs à ossature bois courants avec montants en bois massif.

On balaie les **principales thématiques liées à la conception des ouvrages** en présentant à chaque fois les **similarités** ainsi que les **éventuelles spécificités et/ou avantages** de ces solutions par rapport aux murs à ossature bois courants avec montants en bois massif :

- considérations relatives à la **performance thermique et d'étanchéité à l'eau et à l'air (§2.2)** ;
- appréhension de la **sécurité vis-à-vis du risque incendie (§2.3)** ;
- **particularités et points de vigilance relatifs aux aspects structuraux (§2.5), et aux assemblages et ancrages (§2.6)** ;
- dispositions relatives à la **durabilité de l'ouvrage (§2.8)**.

Cette partie présente également de manière illustrée sous forme de coupes les **typologies de paroi les plus courantes (§2.4)**, ainsi que des **exemples de coupes et détails de liaison (§2.7)** correspondant aux solutions les plus courantes.

2.1. PRINCIPE CONSTRUCTIF

Les murs à ossature bois avec montants poutres en I doivent être conçus suivant les prescriptions du DTU 31.2 afin d'assurer les différentes fonctions d'une paroi séparative : porteuse, thermique, acoustique, sécurité incendie, etc...

Ce type de paroi s'apparente en de nombreux points aux murs à ossature bois courants avec montants en bois massif.

Il convient cependant de prendre en compte certaines spécificités liées à l'utilisation d'éléments moins massifs et plus élancés que les montants traditionnels de section rectangulaire.

PRINCIPE

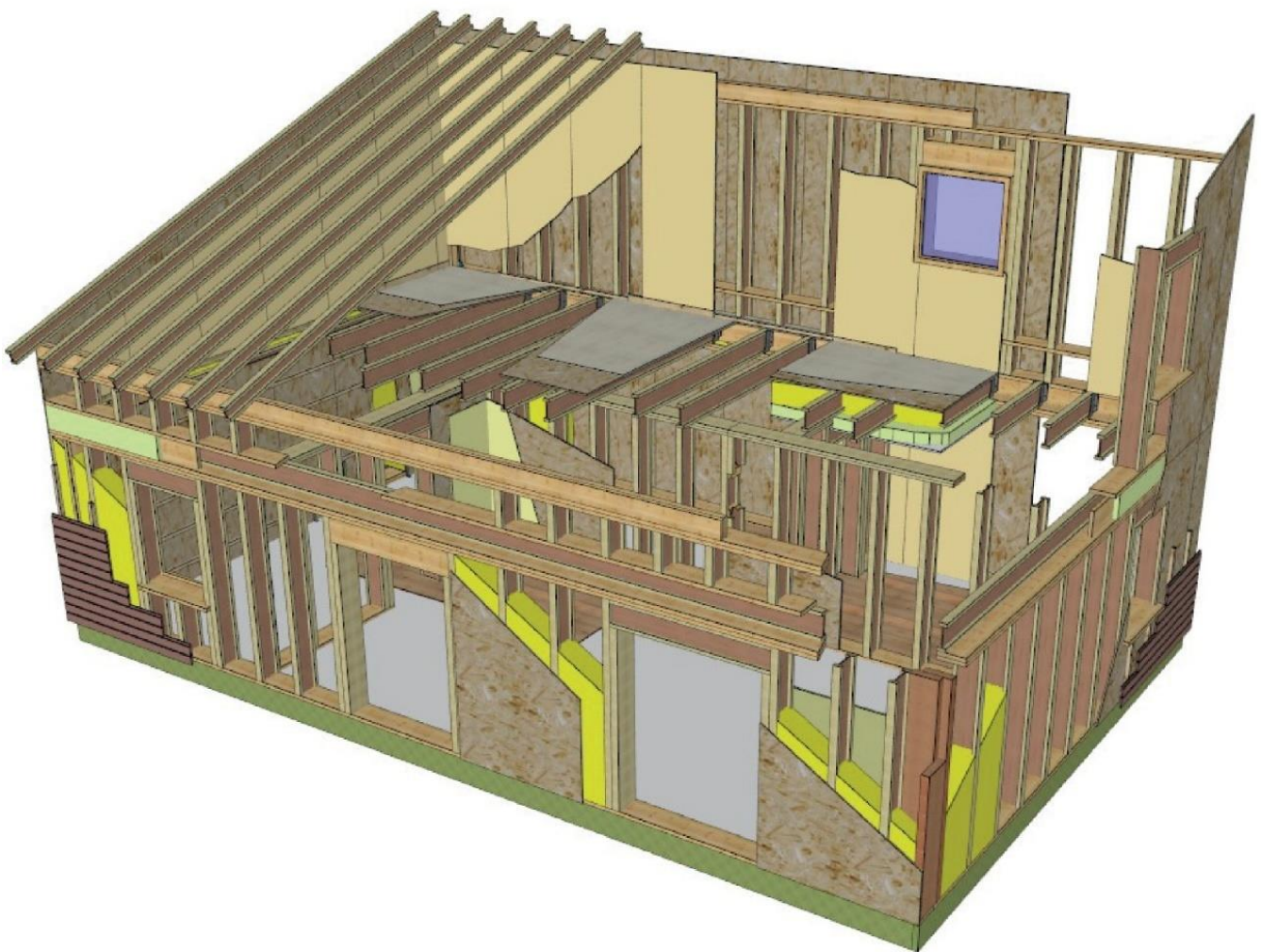


Figure 1 Construction à ossature bois avec poutres en I

COMPOSITION TYPE

L'ossature des parois est constituée :

- de montants verticaux, espacés au maximum de 60 cm (vide entre éléments)
- de traverses horizontales basse et haute assemblées à chaque extrémité de montants.

Un voile travaillant, fixé sur l'ossature, d'un seul côté ou des deux, rigidifie la paroi dans son plan.

Les murs peuvent être établis sur une lisse basse, disposée sur le soubassement ou le plancher.

Ils sont couronnés par une lisse haute ou lisse de chaînage, fixée sur la traverse haute pour assurer la liaison entre eux.

DEUX TECHNIQUES CONSTRUCTIVES

On distingue deux techniques constructives d'ossature :

- la **technique plateforme** où les montants d'ossature ont une hauteur limitée à la hauteur du niveau et le plancher haut sert de support au niveau suivant,
- la **technique balloon-frame** où les parois sont filantes sur au moins deux niveaux.

Les grandes longueurs, la précision dimensionnelle et la rectitude offertes par les poutres en I se prêtent particulièrement bien à la technique balloon-frame.

PRINCIPALES PARTICULARITES DES PAROIS VERTICALES EN POUTRE EN I A BASE DE BOIS

L'utilisation de poutres en I en montants d'ossature permet la réalisation de parois de forte épaisseur (jusqu'à 400 mm couramment).

L'inertie importante des poutres en I suivant l'axe fort leur confère une bonne résistance à la flexion perpendiculaire à la paroi (charges de vent).

En revanche, compte tenu de leur élancement important suivant l'axe faible, la reprise des charges descendantes excentrées peut nécessiter dans certains cas la mise en place de dispositifs de stabilisation (entretoises). L'excentricité des efforts augmentant avec l'épaisseur de paroi, l'utilisation de montants de plus grande dimension transversale (hauteur de la section en I) ne conduit pas nécessairement à un accroissement de capacité portante.

La section réduite et la dissymétrie des charges entre membrure génèrent des contraintes accrues sur la traverse basse en pied de mur.

Enfin, des dispositions adaptées doivent être prises pour les ancrages et les assemblages avec ces éléments d'ossature.

Les principes de justification de la résistance mécanique et de la stabilité des parois avec montants poutre en I sont présentés au §4.

Les éléments d'ossature secondaire des revêtements intérieur et extérieur sont fixés sur les membrures des montants d'ossature.

2.2. PERFORMANCE THERMIQUE

AVANTAGE DE LA TECHNIQUE

Un des avantages d'une paroi à ossature bois tient dans sa capacité à être isolée dans toute l'épaisseur de son plénum, maximisant ainsi le rapport de l'épaisseur d'isolation sur l'épaisseur de mur extérieur.

D'un point de vue thermique, et bien que le bois soit un matériau de construction peu conducteur de la chaleur, le montant d'ossature forme en partie courante un pont thermique localisé dans une paroi majoritairement composée d'isolation. Ce pont thermique est proportionnellement d'autant plus important que l'épaisseur d'isolation est forte.

En outre, lorsque l'on vise une épaisseur totale d'isolation forte (supérieure à 220 mm), il peut s'avérer compliqué de trouver aisément des montants en bois massif de largeur adaptée, et satisfaisants d'un point de vue économique et technique.

La combinaison de ces deux constats forme la raison pour laquelle on a fréquemment recours à la technique du mur manteau, c'est-à-dire à l'ajout d'une surisolation extérieure et/ou intérieure sur un mur à ossature bois d'épaisseur plus courante (145 mm). Chaque surisolation, outre son coût matière, forme une étape de mise en œuvre supplémentaire avec un coût de main d'œuvre associé et ses sujétions quant au traitement des points singuliers.

La section optimisée de la poutre en I réduit intrinsèquement la déperdition thermique par le montant comparativement à une section rectangulaire de même largeur, à épaisseur d'isolant identique. Et ceci est d'autant plus vrai que l'épaisseur de la paroi et donc de l'isolation entre montants est importante.

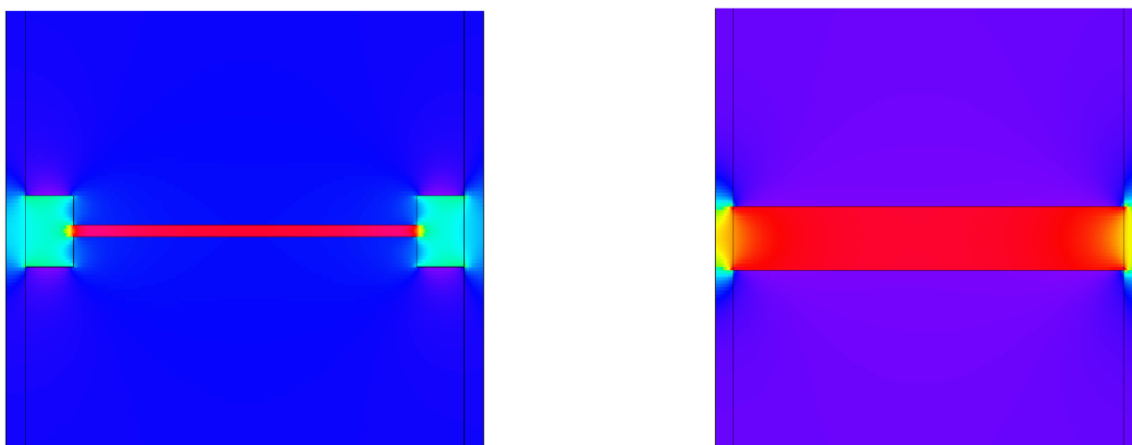


Figure 2 Exemple de flux thermique dans un montant de largeur 45mm en poutre en I (gauche) et de section rectangulaire (droite) (Heinrich, Dahlen, Weyand – 2004)

En outre, les poutres en I à base de bois sont usuellement disponibles en hauteurs allant de 200 à 400 mm voire plus, permettant ainsi d'atteindre des épaisseurs d'isolation entre montant équivalentes, sans faire appel à une surisolation intérieure et extérieure (mur manteau) dans le même temps de fabrication qu'une paroi à ossature bois traditionnelle sans surisolation.

ISOLATION THERMIQUE

Les cavités de la paroi formées par les ossatures principales et secondaires sont remplies de matériaux isolants.

En partie courante, la forte épaisseur de paroi permise par les montants poutre en I apporte une résistance thermique élevée et des ponts thermiques réduits par une proportion isolant/épaisseur de paroi plus importante.

La réduction des ponts thermiques est particulièrement notable dans les angles de jonction entre murs où le ratio isolant /épaisseur est le plus élevé (ponts thermiques négatifs).

ETANCHEITE A L'AIR ET A L'EAU

Du côté intérieur, le film pare-vapeur assure également la fonction étanchéité à l'air.

En l'absence de film pare-vapeur, l'étanchéité à l'air est à traiter par pontage du voile de contreventement.

Il convient de référer aux prescriptions du DTU 31.2 (CGM, CCT, et annexe A du CCT) pour les modalités de mise en œuvre de la barrière d'étanchéité à l'air (ou équivalent), notamment au niveau des points singuliers de jonctions entre les différentes parois de l'ouvrage, et des autres points singuliers.

Du côté extérieur, un écran rigide ou film pare-pluie protégeant contre le passage de l'eau liquide mais perméable à la vapeur d'eau est généralement requis derrière le revêtement extérieur. On peut s'en affranchir pour certains types d'ouvrages de revêtement extérieur qui assurent l'étanchéité à l'eau de la façade.

Les spécifications concernant la mise en œuvre d'un pare-pluie souple ou d'un écran rigide sont données dans le DTU 31.2.

TRANSFERTS DE VAPEUR ET ETANCHEITE A L'AIR

Le risque de condensation dommageable à l'intérieur des parois extérieures est traditionnellement évité en bloquant la migration de vapeur d'eau par l'utilisation de film pare-vapeur posé en continu du côté intérieur des constructions, suivant les prescriptions du DTU 31.2.

En l'absence de mise en œuvre d'un pare-vapeur continu côté intérieur de la paroi, la maîtrise de la diffusion de la vapeur d'eau au travers de la paroi doit être justifiée par une étude spécifique.

Pour cela, il est nécessaire de connaître précisément les caractéristiques de résistance à la vapeur d'eau, les courbes de sorption et les caractéristiques thermiques en fonction de l'humidité de chacun des matériaux constitutifs de la paroi (pare-pluie, isolants, voile de contreventement).

On se réfèrera au document « Règles de l'art – Détermination des hypothèses pour les simulations de transferts couplés Température/ Humidité dans les parois de Bâtiment ».

2.3. SECURITE VIS-A-VIS DU RISQUE INCENDIE

REACTION AU FEU

La classification est réalisée selon l'Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement.

Le classement en réaction au feu des différents constituants des parois doit être déterminé et déclaré.

Pour les poutres en I, le classement conventionnel en réaction au feu figure dans l'Evaluation Technique Européenne ou l'Avis Technique.

RESISTANCE AU FEU

Les performances de résistance au feu peuvent être déterminées dans les conditions définies par l'Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, par une ou plusieurs des approches suivantes :

- essai conventionnel donnant lieu à un domaine d'application directe, conformément à l'annexe 1 de l'arrêté;
- méthode de calcul et règle de dimensionnement, selon l'annexe 2 [notamment les normes NF EN 1991-1-2, NF EN 1993-1-2, NF EN 1995-1-2 et leurs annexes nationales] ;
- référence à un procédé de fabrication ou de construction approuvé, dont la liste figure en annexe 3 de l'arrêté;
- appréciation de laboratoire agréé, établie selon l'annexe 4 de l'arrêté.

La tenue au feu des poutres en I n'est généralement pas prise en compte. La résistance au feu de la paroi est conférée par la protection apportée par le parement intérieur.

Des solutions constructives permettant de justifier la performance de résistance au feu de parois à ossature bois jusqu'à 60 minutes, sans essais, sont données dans le Guide pratique Codifab « Règles de la Sécurité Incendie », ainsi que dans l'Annexe Nationale de la partie feu de l'Eurocode 5.

Elles sont applicables aux parois dont l'ossature est constituée de poutres composites faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant favorablement leur utilisation comme structure de paroi, avec un entraxe limité à 600 mm.

Les matériaux de parement visés sont :

- les panneaux à base de bois pouvant être ignifugés ou non,
- les lambris bois,
- les plaques de plâtre.

Les parements sont montés sur une ossature secondaire en bois ou sur des profils métalliques.

Les produits isolants visés sont :

- laine de verre, de masse volumique minimale de 15 kg/m³,
- laine de roche, de masse volumique minimale de 25 kg/m³,
- fibre de bois, classée au minimum E pour sa réaction au feu et de masse volumique minimale de 50 kg/m³,
- ouate de cellulose (sous AT ou DTA), classée au minimum D pour sa réaction au feu et de masse volumique minimale de 50 kg/m³,
- laine de chanvre ou de lin (sous AT ou DTA), classée au minimum E pour sa réaction au feu et de masse volumique minimale de 30 kg/m³.

Les solutions sont données sous la forme de tableaux de dispositions constructives de parements (nature du parement, épaisseur, nombre de couches, nature de l'isolant et types de montage) qui répondent à l'exigence réglementaire de résistance au feu (REI 15, REI30 ou REI 60) pour les parois de murs porteurs on non, intérieurs et extérieurs.

PROPAGATION DU FEU EN FAÇADE

Il n'y pas d'exigence complémentaire relative à la propagation du feu via la façade pour :

- les bâtiments d'habitation de la 1^{ère} et 2^{ème} famille,
- les bâtiments ERP de 5^{ème} catégorie ou ceux à simple rez-de-chaussée ou avec un étage.

L'application de l'Instruction Technique 249 concerne :

- les bâtiments d'habitation à partir de la 3^{ème} famille,
- les bâtiments ERP du premier groupe pour :
 - les façades des bâtiments comportant des locaux réservés au sommeil au-dessus du 1er étage ;
 - les façades des bâtiments dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 8m du sol ;
 - les parties de façades situées au droit des planchers hauts de locaux à risques importants ;
 - les parties de façades situées au droit des planchers d'isolement avec un tiers.

Des dispositions constructives sont données dans la version de mars 2019 du document « Bois construction et propagation du feu par les façades en application de l'Instruction Technique 249 version 2010 » publié par le CSTB en partenariat avec le FCBA.

2.4. TYPOLOGIES DE PAROIS

MURS EXTERIEURS

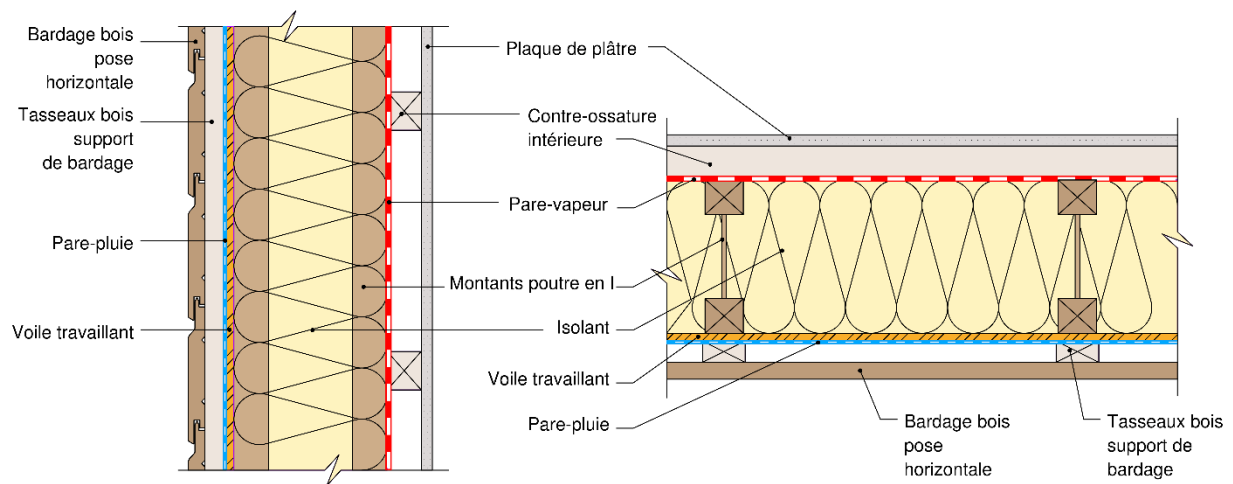


Figure 3 Mur extérieur avec voile travaillant extérieur

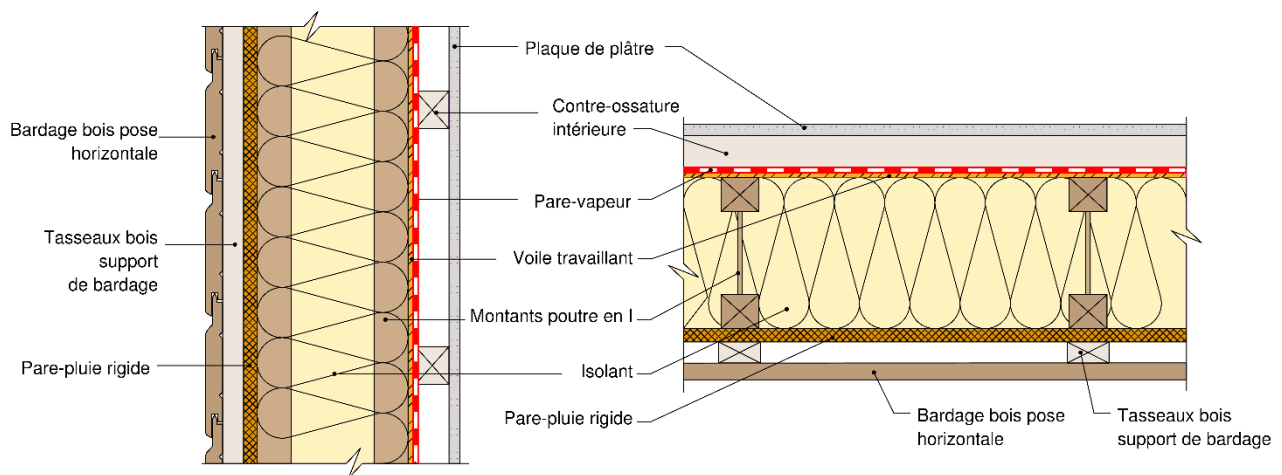


Figure 4 Mur extérieur avec voile travaillant intérieur

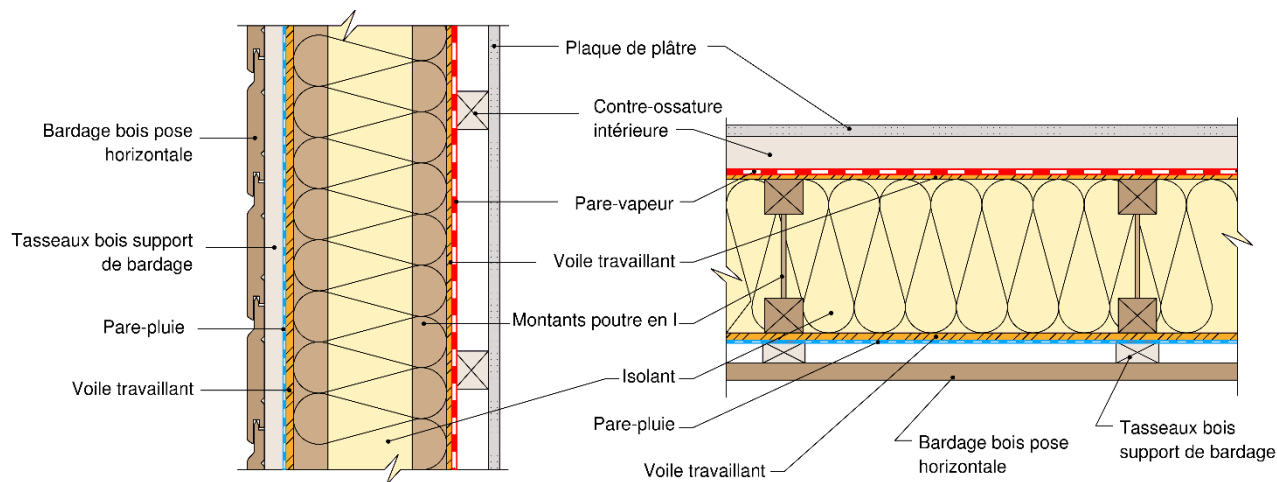


Figure 5 Mur extérieur avec voile travaillant sur deux faces

MURS PORTEURS INTERIEURS

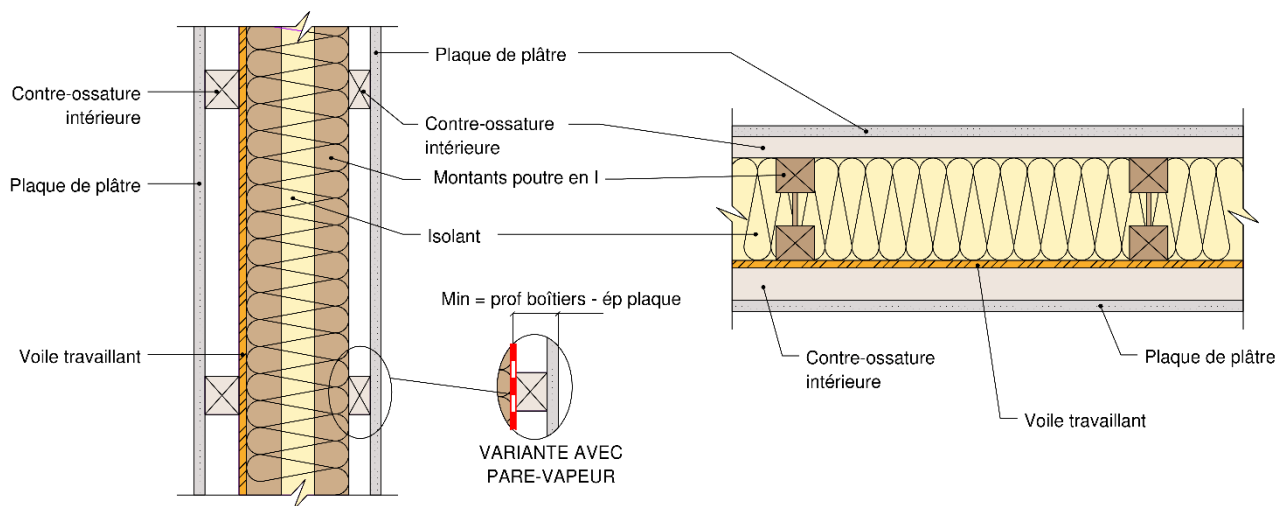


Figure 6 Mur porteur intérieur à simple ossature avec voile travaillant sur une face

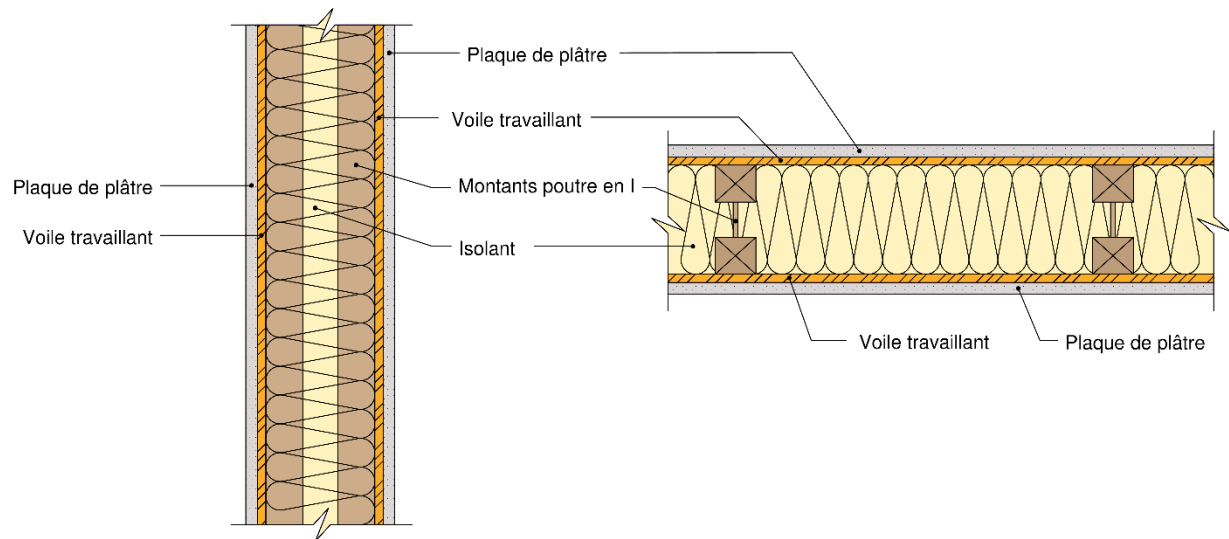


Figure 7 Mur porteur intérieur à simple ossature avec voile travaillant sur deux faces

2.5. ASPECTS STRUCTURAUX

De manière générale, le fonctionnement mécanique et le rôle dans la stabilité globale de la construction d'un mur avec montants en poutre en I ne diffère pas de celui d'un mur traditionnel avec montants de section rectangulaire en bois massif.

Il faut simplement tenir compte de quelques particularités liées à l'utilisation de poutre en I comme montant, qui nécessitent uniquement quelques vérifications complémentaires par le concepteur :

- L'épaisseur totale (a priori relativement forte) du mur en poutre en I peut induire un excentrement des charges descendantes plus marqué que pour un mur à ossature bois traditionnel d'épaisseur moindre.
- Compte tenu de l'élancement important des poutres en I suivant l'axe faible, la reprise des charges descendantes excentrées peut nécessiter dans certains cas la mise en place de dispositifs de stabilisation (entretoises), là où le concepteur n'aurait pas forcément pensé nécessaire de les prévoir dans un mur traditionnel.
- Les charges sont principalement transmises par les membrures des poutres en I, ce qui, compte-tenu de leur écartement et de l'excentrement marqué des charges décrit plus haut, conduit fréquemment à une répartition des efforts asymétrique entre les deux membrures.
- Il résulte de ce qui précède que les efforts descendants a priori asymétriques sont transmis à la traverse basse en pied de mur par les seules membrures, de section réduite, ce qui génère des contraintes de compression transversale accrues sur ladite traverse.
- Enfin, des dispositions adaptées doivent être prises pour les fixations dans ces éléments d'ossature, compte-tenu de la section réduite des membrures qui offre par exemple une profondeur de pénétration inférieure à celle d'un montant massif.

Les principes de justification de la résistance mécanique et stabilité des parois avec montants poutre en I permettant de prendre en compte ces particularités sont présentés au §4.

2.6. ASSEMBLAGES ET ANCRAGES

Pour ce qui est des assemblages et ancrages, le fonctionnement mécanique et le rôle dans la stabilité globale de la construction d'un mur avec montants en poutre en I ne diffère pas de celui d'un mur traditionnel avec montants de section rectangulaire en bois massif.

Il faut simplement tenir compte de quelques particularités liées à l'utilisation de poutre en I comme montant, qui nécessitent quelques vérifications complémentaires par le concepteur et/ou d'adapter certaines dispositions constructives.

- Compte-tenu de la section réduite des membrures qui offre par exemple une profondeur de pénétration inférieure à celle d'un montant massif, la capacité des assemblages ou ancrages fixés dans les montants en poutre en I peut s'avérer plus faible que dans un montant rectangulaire, ou encore nécessiter l'utilisation de fixations de diamètre et/ou longueur adaptés.
- Compte-tenu de la section réduite des membrures, la fixation des traverses hautes et basses sur les montants doit être adaptée en diamètre et/ou longueur afin d'éviter d'endommager les membrures.
- En cas de préfabrication de murs isolés fermés sur deux faces, les détails d'ancrage doivent être adaptés afin de permettre une fixation au soubassement ou diaphragme de plancher sans accéder au plénum de la paroi.
- Compte-tenu de ce qui précède, il s'avère fréquemment pertinent de réaliser les chevêtres au droit des ouvertures au moyen d'éléments de section rectangulaire adaptés (p. ex. en lamibois) plutôt qu'au moyen de poutres en I.

La lisse basse et tous les montants d'extrémité de diaphragmes de murs doivent être ancrés.

Les principes de justification des diaphragmes de mur sont rappelés au §4.5.

Les principes de justification des assemblages sont rappelés au §4.7.

Les détails de mise en œuvre courants (et recommandés) et les points de vigilances sont détaillés au §4.8 pour les ancrages et au §4.9 pour les ouvertures et chevêtres.

2.7. EXEMPLES DE COUPES ET DETAILS DE LIAISON

LIAISON MUR EXTERIEUR / PLANCHER INTERMEDIAIRE

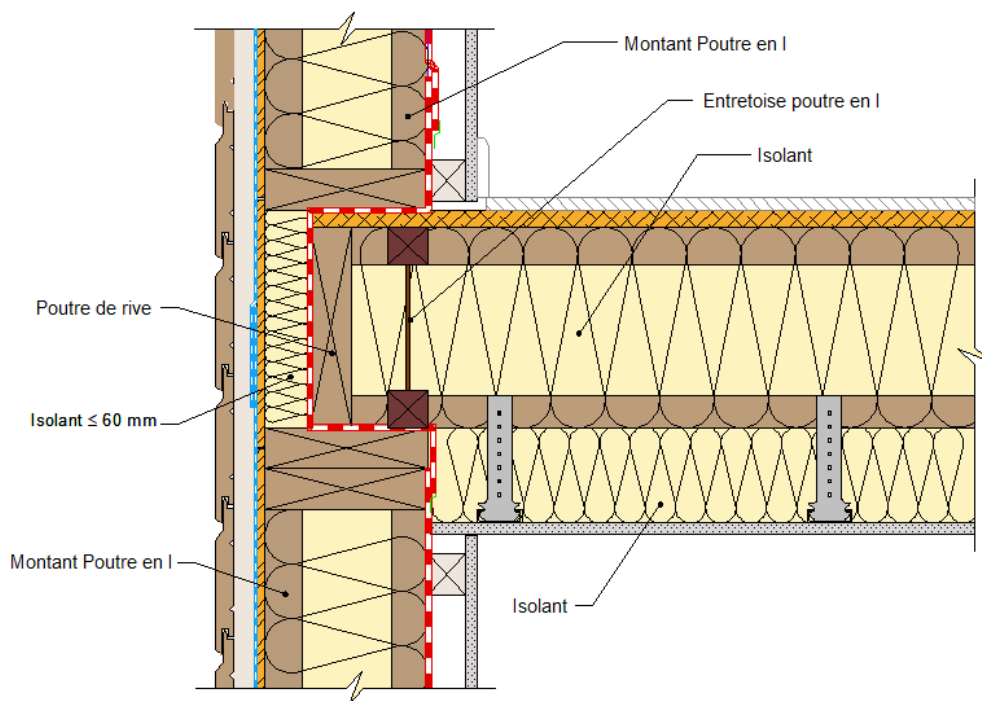


Figure 8 Liaison mur extérieur / plancher intermédiaire en technique plateforme

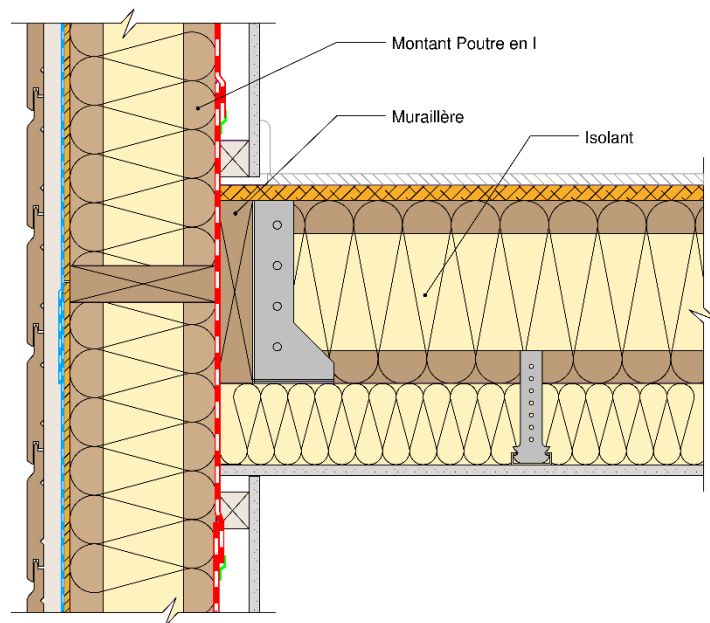


Figure 9 Liaison mur extérieur / plancher intermédiaire en technique balloon-frame (mur filant)

LIAISON MUR EXTERIEUR / PLANCHER BAS

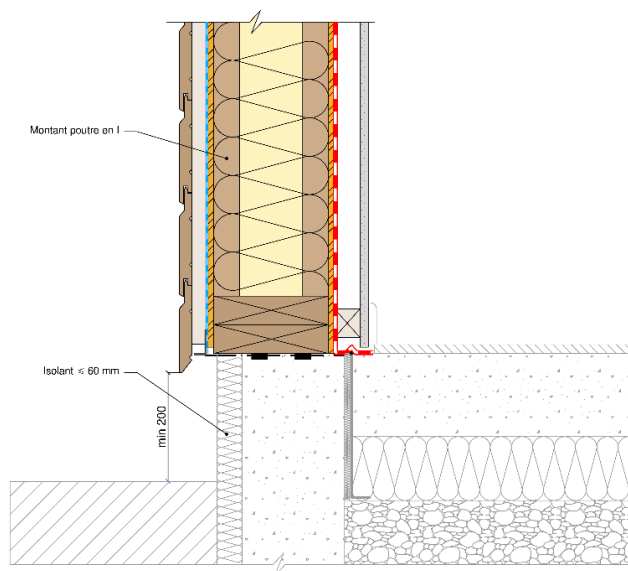


Figure 10 Liaison pied de mur extérieur / dallage béton

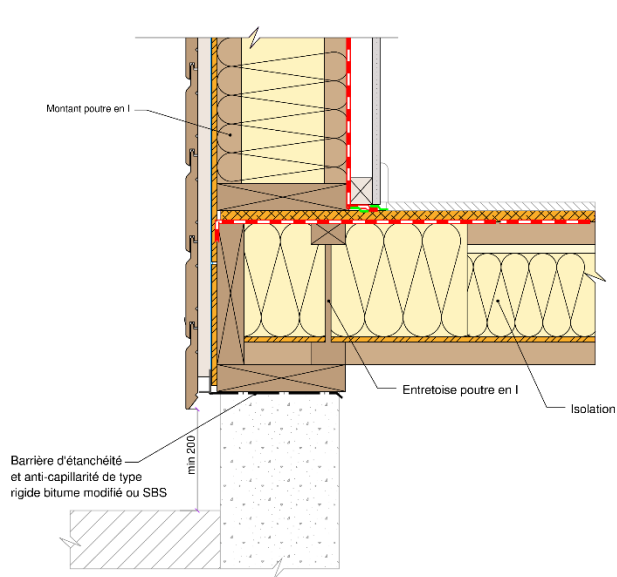


Figure 11 Liaison pied de mur extérieur / dalle bois avec poutres perpendiculaires au mur

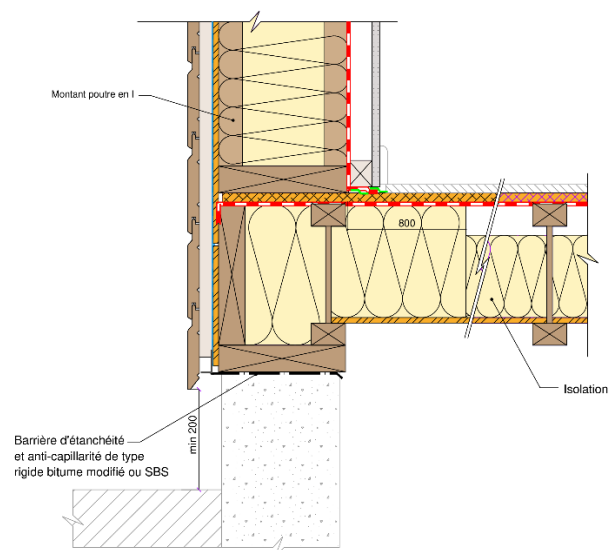


Figure 12 Liaison pied de mur extérieur / dalle bois avec poutres parallèles au mur

JONCTIONS DE MURS

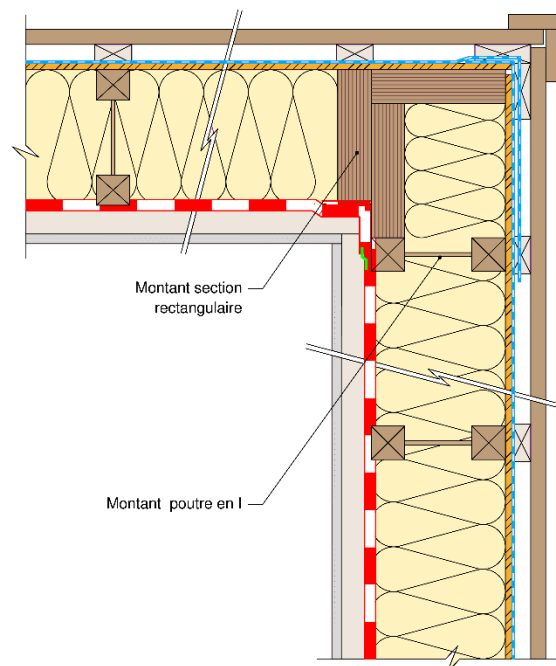


Figure 13 Liaison de murs en angle sortant

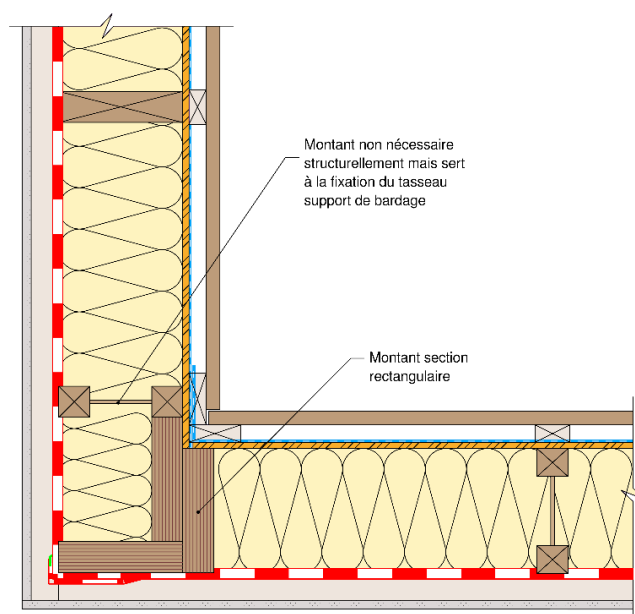


Figure 14 Liaison de murs en angle entrant

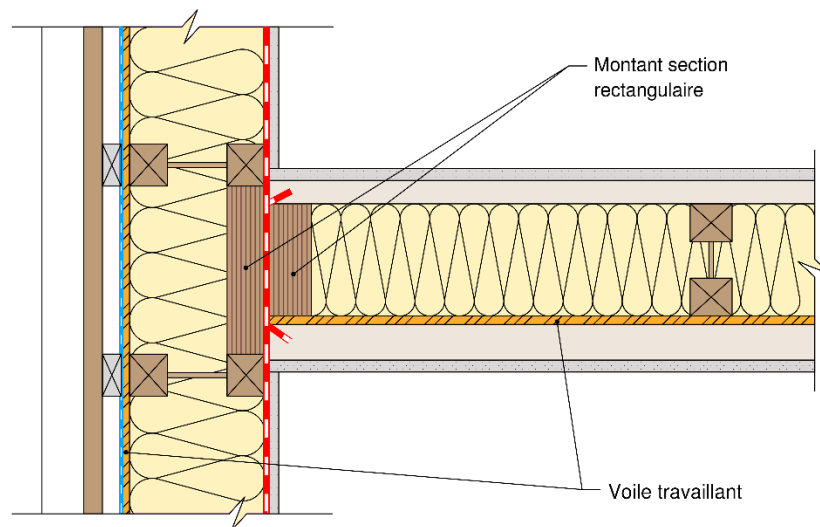


Figure 15 Liaison mur extérieur / mur de refend

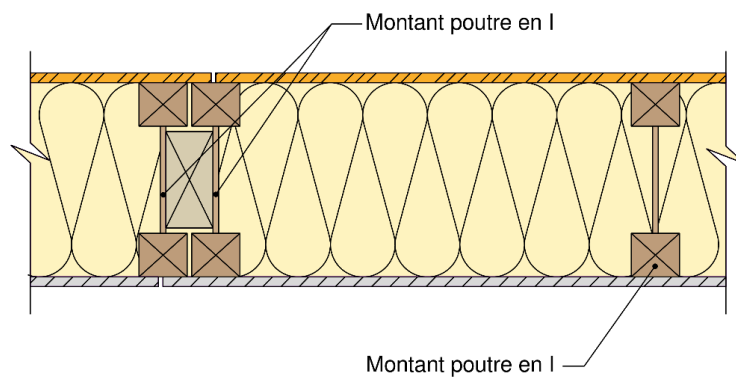


Figure 16 Liaison entre éléments de murs préfabriqués dans le même plan avec montants d'extrémité poutre en I

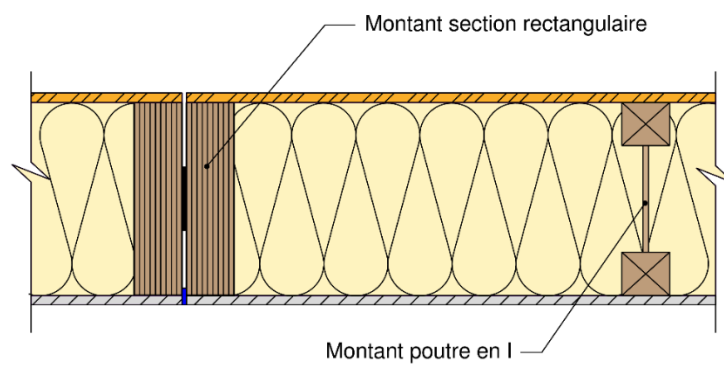


Figure 17 Liaisons entre éléments de murs préfabriqués dans le même plan avec montants d'extrémité de section rectangulaire

OUVERTURES ET CHEVETRES

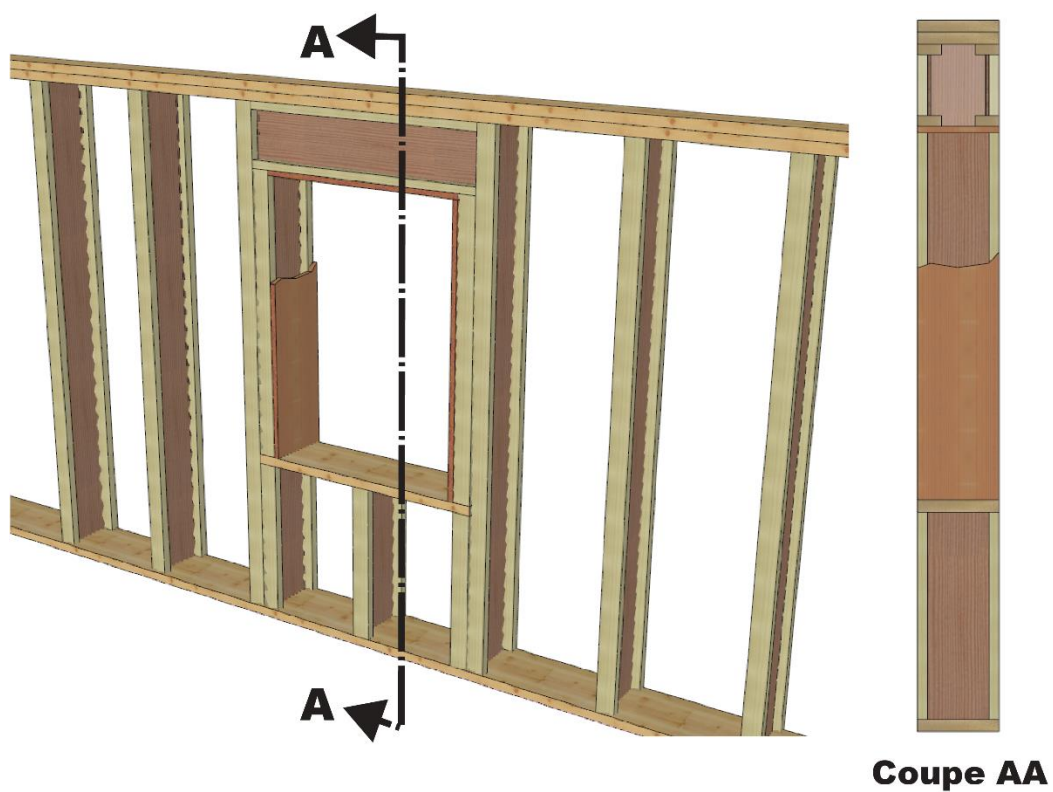


Figure 18 Chevêtre avec montants et linteaux poutres en I

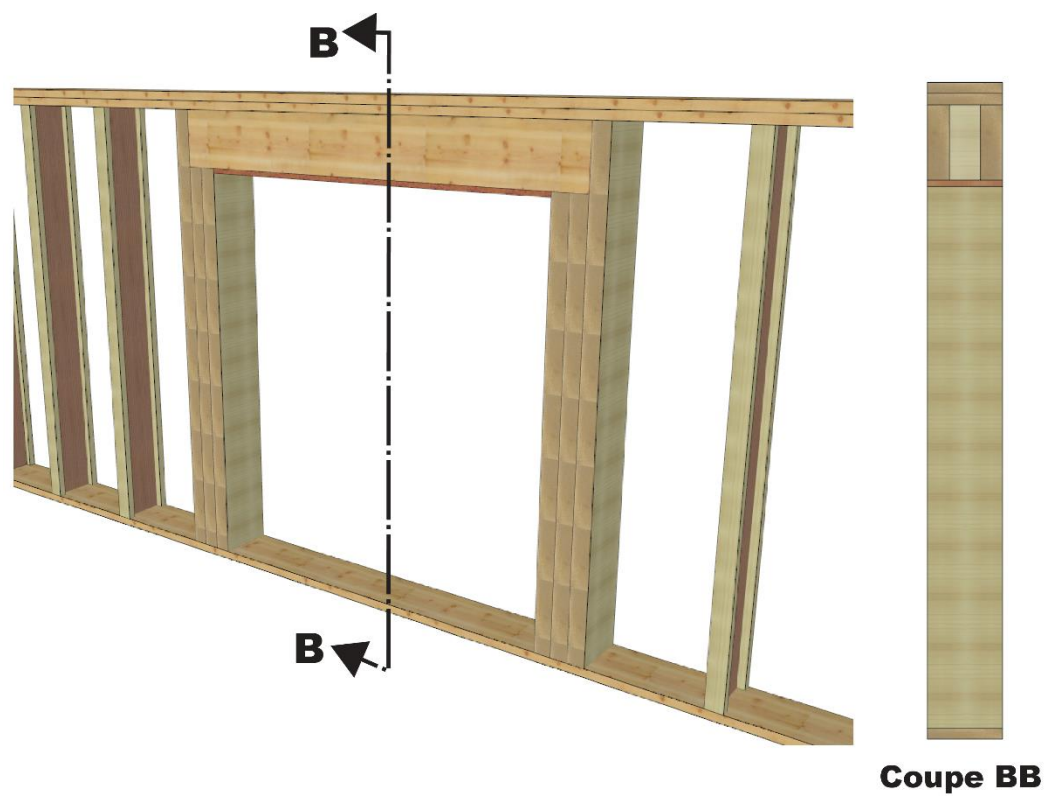


Figure 19 Chevêtre avec montants et linteaux section rectangulaire

ANCRAGES

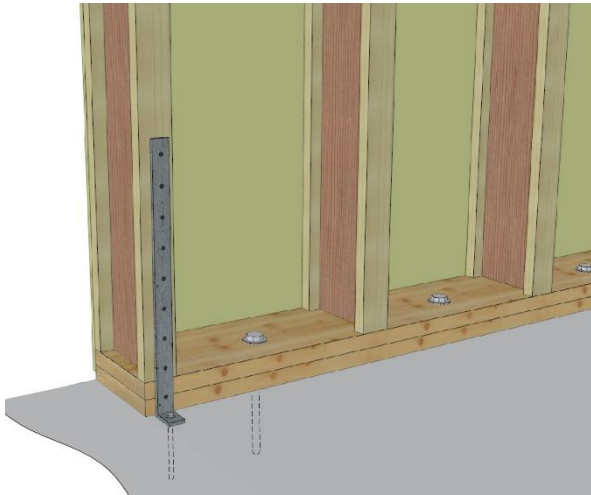


Figure 20 Ancrages sur dalle béton, mur ouvert

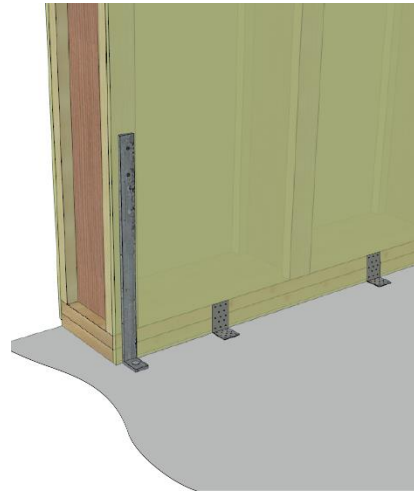


Figure 21 Ancrages sur dalle béton, mur fermé

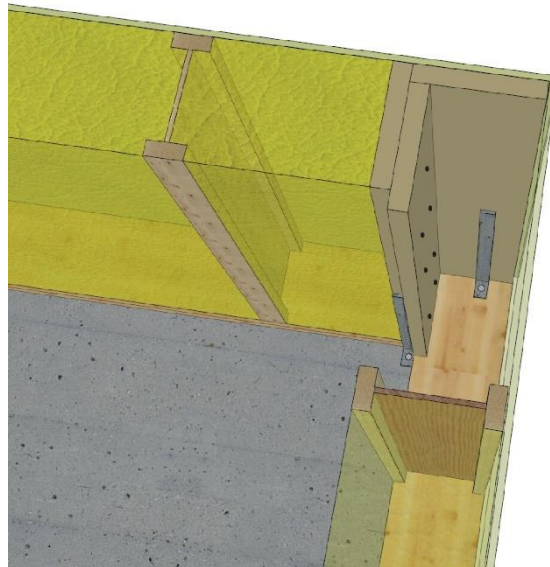


Figure 22 Ancrages sur dalle béton en jonction de murs

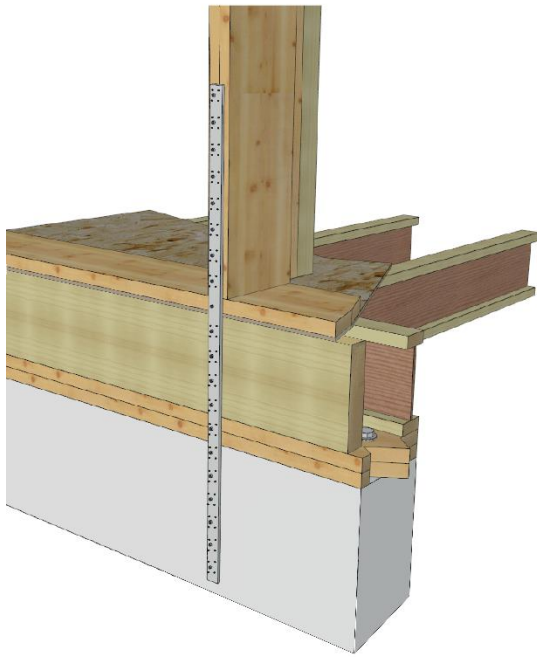


Figure 23 Ancrages sur soubassement avec dalle bois

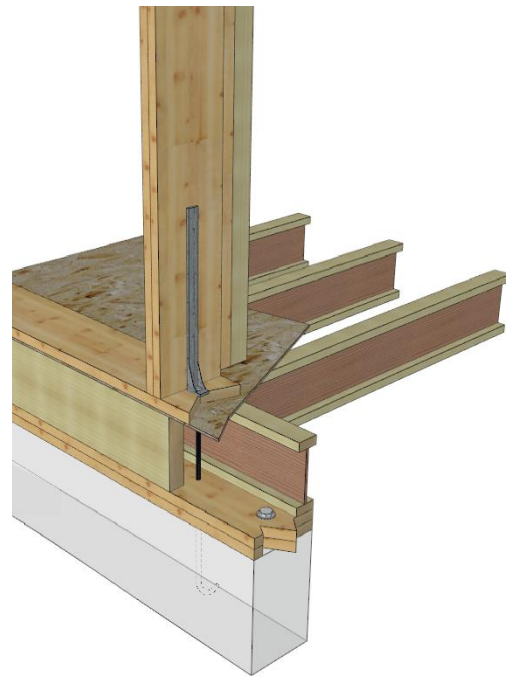


Figure 24 Ancrages sur soubassement avec dalle bois

2.8. DURABILITE

La durabilité des éléments en bois ou à base de bois constituant les parois doit répondre aux prescriptions du §6 du DTU 31.2.

Les éléments de structure constituant les parois (montants et traverses, linteaux) et les panneaux de contreventement sont à considérer en classe d'emploi 2 au sens de la norme NF EN 335.

La lisse basse disposée sur le soubassement en maçonnerie se situe :

- en classe d'emploi 3.2 lorsque la bande d'arase est perforée par les fixations traversantes d'ancrage ;
- en classe d'emploi 2 lorsque les fixations d'ancrage, déportées, ne traversent pas la bande d'arase.

Suivant le décret n°2006-591 du 23 mai 2006, précisé par l'arrêté du 27 juin 2006, modifié en 2014, les éléments en bois contribuant à la stabilité des bâtiments, non visitables et non échangeables, doivent être durables naturellement ou par traitement de préservation, vis-à-vis :

- des insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire français (départements situés en métropole et outre-mer) ;
- des termites dans les zones infestées pour lesquelles a été publié un arrêté préfectoral.

MATÉRIAUX

INTRODUCTION

Cette section à l'attention du concepteur comme du bureau d'études ou de l'entreprise présente les **éléments de choix des matériaux entrant dans la composition des parois verticales en poutres en I à base de bois** et notamment :

- les poutres en I (§3.1) ;
- les autres éléments d'ossature (bois massif, lamellé-collé, lamibois, ...) (§3.2);
- les panneaux pour voile de contreventement (§3.3);
- les organes d'assemblage (§3.4);
- et les matériaux complémentaires (isolants, étanchéité, calfeutrement, ...) (§3.5)

3.1. POUTRES EN I

GENERALITES

Les poutres en I visées par le présent document sont constituées de membrures en bois ou matériau à base de bois de section rectangulaire, d'une âme en bois massif ou en panneau à base de bois, ces composants étant assemblés entre eux par collage structural.

Conformément au Règlement Produits de Construction, en l'absence de norme européenne harmonisée couvrant ces produits, la déclaration de performances et le marquage CE de ces produits passe par une Evaluation Technique Européenne (ETE), délivrée sur la base d'un Document d'Evaluation Européen (DEE).

Le Guide d'Agrément Technique Européen ETAG 011 « Poutres et poteaux composites légers à base de bois » peut être utilisé comme DEE.

A défaut de marquage CE, les poutres en I doivent faire l'objet d'un Avis Technique selon les dispositions du CPT 3768 « Planchers et Toitures en poutres en I à base de bois ».

CONSTITUTION

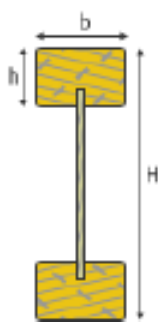
Les poutres en I visées ici sont assemblées par collage de l'âme en rainure dans les membrures.

Les membrures peuvent être :

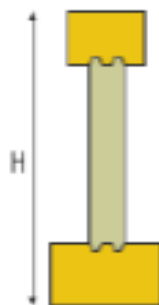
- en bois massif selon NF EN 14081,
- en bois massif abouté selon NF EN 15497,
- en bois lamellé-collé selon NF EN 14080,
- en lamibois (LVL) selon NF EN 14374.

L'âme peut être :

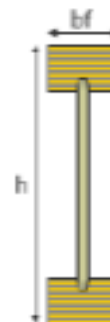
- en bois massif selon NF EN 14081,
- en bois massif abouté selon NF EN 15497,
- en panneau à base de bois (OSB, contreplaqué, panneaux de fibres, panneaux de particules, LVL) selon NF EN 13986.



POUTRE A MEMBRURES EN BOIS MASSIF ET AME
EN PANNEAU A BASE DE BOIS



POUTRE A MEMBRURES ET AME EN BOIS
MASSIF



POUTRE A MEMBRURES EN LVL ET AME EN
PANNEAU A BASE DE BOIS

Figure 25 Typologies de poutres en I à base de bois

PROPRIETES MECANQUES

Pour la justification de la résistance et stabilité conformément à l'Eurocode 5, les propriétés mécaniques principales associées aux dimensions de section standard ainsi que les paramètres sur les propriétés sont déclarées dans l'ETE du produit ou l'Avis Technique.

La méthode de détermination des propriétés mécaniques des poutres peut être détaillée dans l'ETE ou l'Avis Technique.

Propriétés de valeur caractéristique de la résistance :

- Moment résistant caractéristique, M_k
- Effort tranchant caractéristique, V_k
- Valeur caractéristique de la résistance sur appui, R_k
- Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, N_k , le cas échéant

Propriétés de rigidité :

- Rigidité en flexion, EI
- Rigidité en cisaillement, GA

Caractéristiques de la liaison âme / membrure :

- Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement, $f_{v, joint, k}$

Paramètres sur les propriétés :

- Facteurs de modification liés à l'humidité et à la durée de chargement :
 - Facteur de modification de la résistance, k_{mod}
 - Facteur de modification de la déformation, k_{def}
- Coefficient partiel sur les matériaux : γ_M

Les paramètres sur les propriétés peuvent faire l'objet d'une distinction entre l'âme et les membrures vérifiés séparément ou être définis spécifiquement pour la section composite globale.

L'ETE ou l'Avis Technique précise en outre les propriétés mécaniques des composants formant les membrures et l'âme.

3.2. AUTRES ELEMENTS D'OSSATURE

Les autres éléments d'ossature constitutifs des parois verticales porteuses doivent satisfaire aux exigences du DTU 31.2.

Les matériaux utilisables sont décrits ci-dessous.

BOIS MASSIFS STRUCTURAUX (BM)

Les bois massifs structuraux, issus du sciage des grumes, doivent être conformes à la norme NF EN 14081-1 qui distingue les bois classés visuellement et les bois classés par machine pour lesquels les exigences complémentaires des normes NF EN 14081-2 à 4 s'appliquent.

Le classement mécanique est à établir en référence aux classes définies dans la norme NF EN 338.

Le DTU 31.2 prescrit pour les éléments d'ossature en bois massif une classe mécanique minimale C18 pour les résineux et D18 pour les bois feuillus.

BOIS MASSIFS ABOUTES (BMA)

Les bois massifs aboutés, constitués d'éléments de bois massif assemblés bout à bout par entures multiples, doivent être conformes à la norme NF EN 15497.

La classe mécanique du bois massif abouté est celle du bois massif utilisé qui doit être classé selon la résistance conformément à NF EN 14081-1, en référence aux classes définies dans la norme NF EN 338.

BOIS MASSIFS RECONSTITUES (BMR)

Les bois massifs reconstitués, constitués par collage de lames (2 à 5 lames) de bois massif d'épaisseur supérieure à 45 mm, doivent être conformes à la norme NF EN 14080 et classés mécaniquement suivant cette norme.

Les caractéristiques mécaniques du bois massif reconstitué, à prendre en compte pour les calculs, sont généralement déclarées par référence aux classes de résistance du bois massif utilisé pour les lamelles, définies dans la norme NF EN 338.

Le DTU 31.2 prescrit pour les éléments d'ossature en BMR une classe mécanique minimale C18.

BOIS LAMELLE-COLLE (BLC)

Les éléments de bois lamellé-collé doivent être conformes à la norme NF EN 14080 et classés mécaniquement suivant cette norme.

Le DTU 31.2 prescrit pour les éléments d'ossature en BLC une classe mécanique minimale GL20.

LAMIBOIS (LVL)

Les éléments structuraux en lamibois (LVL), constitués de couches de placages de bois dont les fibres sont principalement orientées dans la même direction, doivent être conformes à la norme NF EN 14374.

On distingue la présence ou non de plis croisés par les désignations suivantes :

- LVL-P pour le lamibois structural sans plis croisés
- LVL-C pour le lamibois structural avec plis croisés

Les propriétés de résistance et rigidité et les valeurs de masse volumique, à prendre en compte pour les calculs, sont déclarées par le fabricant.

Elles peuvent être déclarées en référence aux classes de résistance des lamibois structuraux définies à partir de la valeur caractéristique de la résistance en flexion des placages de surface.

3.3. PANNEAUX POUR VOILE DE CONTREVENTEMENT

Conformément au DTU 31.2, les panneaux utilisables en voile travaillant sont :

- les panneaux OSB 3 ou OSB 4 ;
- les panneaux de particules de type P5 ou P7 ;
- les panneaux contreplaqués de type 636-3S ;
- les panneaux en lamibois (LVL).

L'emploi de panneaux de contreventement faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application peut également être envisagé.

PANNEAUX OSB

Les panneaux OSB (Oriented Strand Board), constitués de grandes lamelles orientées et liées entre elles par un collage organique, sont définis dans la norme NF EN 300.

Les panneaux pour usage intérieur ou extérieur protégé et destinés aux emplois travaillants doivent satisfaire aux exigences de type :

- OSB 3 : panneaux destinés aux emplois travaillants utilisés en classe de service 2 (milieu humide) ;
- OSB 4 : panneaux destinés aux emplois travaillants sous contrainte élevée en milieu humide (classe de service 2)

Les valeurs caractéristiques minimales à prendre en compte pour les calculs sont données dans la norme NF EN 12369-1.

PANNEAUX DE PARTICULES

Les panneaux de particules sont définis dans la norme NF EN 312.

Les panneaux pour usage intérieur et destinés aux emplois travaillants doivent satisfaire aux exigences de type :

- P5 : panneaux destinés aux emplois travaillants utilisés en classe de service 2 (milieu humide) ;
- P7 : panneaux destinés aux emplois travaillants sous contrainte élevée en milieu humide (classe de service 2).

Les valeurs caractéristiques minimales à prendre en compte pour les calculs sont données dans la norme NF EN 12369-1.

PANNEAUX CONTREPLAQUES

Les panneaux contreplaqués, composés d'un empilage croisé de plis de bois liés entre eux par un collage organique, sont définis dans les normes NF EN 313-1 et 2.

Les panneaux pour usage intérieur ou extérieur et destinés aux emplois travaillants doivent satisfaire aux exigences du type 3S de la norme NF EN 636.

Les propriétés de résistance et rigidité et les valeurs de masse volumique, à prendre en compte pour les calculs, sont déclarées par le fabricant. Elles peuvent être déduites des valeurs données dans la norme NF EN 12369-2. Elles dépendent de la composition du panneau (essence des placages, nombre de couches et épaisseur).

PANNEAUX EN LAMIBOIS (LVL)

Les panneaux en lamibois sont définis dans la norme NF EN 14279 ou la norme NF EN 14374

Les panneaux pour usage intérieur ou extérieur et destinés aux emplois travaillants doivent satisfaire aux exigences de type :

- LVL/2 S : panneaux pour usage intérieur ou extérieur protégé en classe de service 2 (milieu humide) destinés aux emplois travaillants
- LVL/3 S : panneaux pour usage extérieur en classe de service 3 (milieu extérieur ou milieu humide confiné) destinés aux emplois travaillants

Les valeurs caractéristiques des propriétés à prendre en compte pour les calculs sont déclarées par le fabricant. Elles dépendent de la composition du panneau.

3.4. ORGANES D'ASSEMBLAGE

ORGANES DE FIXATION

Les organes de fixation métalliques de type tige (pointes, agrafes, vis ou tire-fonds, boulons) doivent être marqués CE conformément à la norme NF EN 14592 ou suivant une Evaluation Technique Européenne pour les assemblages de structures en bois dimensionnés conformément à l'Eurocode 5.

▪ Pointes

Les pointes peuvent être à tige lisse ou profilée.

- Les pointes lisses ont une section transversale constante sur toute la longueur de la tige. Ce sont les pointes rondes, carrées ou cannelées.

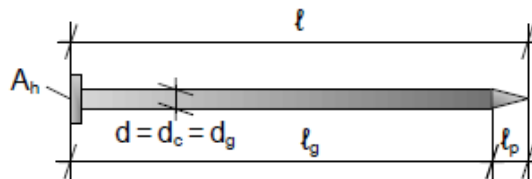


Figure 26 Pointe lisse

- Les pointes profilées ont une tige profilée ou déformée sur une partie de leur longueur (au moins 4,5 fois le diamètre). Ce sont les pointes crantées, annelées ou torsadées.

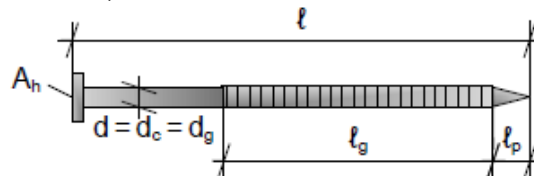


Figure 27 Pointe profilée

La norme NF EN 14592 spécifie les exigences géométriques suivantes :

- Le diamètre nominal des pointes, d , est compris entre 1,9 mm et 8 mm.
- L'aire de la tête, A_h , doit être supérieure ou égale à $2,5 d^2$, soit pour une tête circulaire, $d_h > 1,7 d$.
- La longueur de la pointe, l_p , doit être comprise entre $0,5 d$ et $2,5 d$.

▪ Vis

Les vis sont fabriquées :

- soit par usinage, avec un diamètre maximal du filetage égal à celui de la tige lisse correspondant au fil machine ;

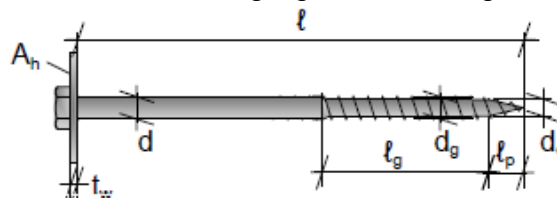


Figure 28 Vis à filetage usiné

- soit par déformation, avec un diamètre de tige lisse inférieur au diamètre de section maximale du fil.

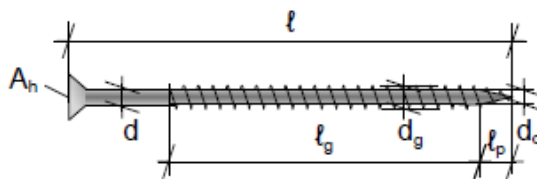


Figure 29 Vis à filetage roulé

La norme NF EN 14592 spécifie les exigences géométriques suivantes :

- Le diamètre nominal des vis (diamètre externe du filet), d , doit être compris entre 2,4 et 24 mm.
- Le diamètre interne du filetage, d_c , doit être compris entre 0,6 d et 0,9 d .
- La longueur filetée, l_g , doit être d'au moins $4d$.

▪ Agrafes

Les pointes des agrafes peuvent être de section circulaire à tige lisse ou profilée ou de section rectangulaire.

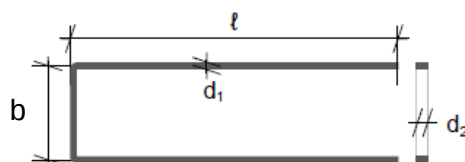


Figure 30 Agrafe

La norme NF EN 14592 spécifie les exigences géométriques suivantes :

- Pour les pointes de section rectangulaire, le diamètre des pointes, d , est pris égal à $\sqrt{d_1 \cdot d_2}$.
- La largeur de la tête, b , correspondant à la distance entre les pointes, doit être supérieure ou égale à 6 d .
- La longueur des pointes, l , doit être de 65 d maximum.

▪ Boulons

Les boulons ont généralement des têtes et des écrous de forme hexagonale. La partie filetée des boulons et écrous doit avoir une section transversale circulaire.

Les boulons ont un diamètre minimum de 6 mm.

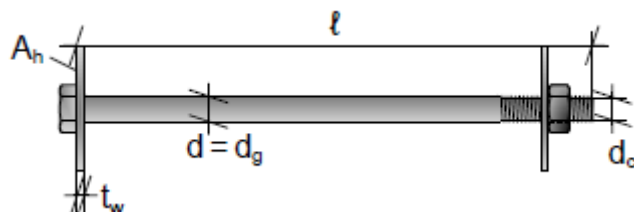


Figure 31 Boulon

CONNECTEURS

Les connecteurs tridimensionnels (boitiers, étriers, équerres) doivent être marqués CE suivant une Evaluation Technique Européenne basée sur un Document d'Evaluation Européenne.

Le Guide d'Agrément Technique Européen ETAG 015 « Connecteurs tridimensionnels de structures bois » peut être utilisé comme DEE.

ANCAGES

Les chevilles d'ancrage dans le béton doivent être marqués CE suivant une Evaluation Technique Européenne basée sur un Document d'Evaluation Européenne.

Le Document d'Evaluation Européenne EAD 330232-00-0601 remplace les parties 1 à 4 du Guide d'Agrément Technique Européen ETAG 001 pour les ancrages mécaniques.

Le Document d'Evaluation Européenne EAD 330499-00-0601 remplace la partie 5 du Guide d'Agrément Technique Européen ETAG 001 pour les ancrages par scellement chimique.

En zone sismique, les chevilles doivent être qualifiées dans les ETE suivant les catégories de performance C1 ou C2 déterminées suivant l'Annexe E de l'ETAG 001.

3.5. MATERIAUX COMPLEMENTAIRES

MATERIAUX ISOLANTS

- Isolants à base de laine minérale

Les isolants à base de laine minérale manufacturés sous forme de panneaux doivent être conformes à la norme NF EN 13162.

- Fibres de bois

Les produits isolants manufacturés en fibres de bois, fabriqués sous forme de panneaux et rouleaux doivent être conformes à la norme NF EN 13171.

- Ouate de cellulose

Les procédés isolants en ouate de cellulose doivent faire l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant favorablement la mise en œuvre entre montants de structure en bois.

- Autres fibres végétales

Les autres fibres végétales pouvant être utilisées en isolation des parois sont :

- lin,
- chanvre.

Les procédés isolants en lin et/ou chanvre doivent faire l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application visant favorablement la mise en œuvre entre montants de structure en bois.

Les isolants placés entre les montants d'ossature doivent être « semi-rigides » et satisfaire pour cela aux critères définis dans le DTU 31.2 P1-2.

MATERIAUX D'ETANCHEITE ET DE CALFEUTREMENT

Les matériaux utilisés pour réaliser la continuité des plans d'étanchéité à l'eau et à l'air des parois doivent répondre aux spécifications du DTU 31.2 P1-2.

JUSTIFICATIONS

INTRODUCTION

Cette partie est principalement destinée au bureau d'études ou au technicien de l'entreprise qui souhaite dimensionner des parois verticales en poutres en I à base de bois, et entre dans le détail du fonctionnement mécanique, des justifications et vérifications.

Après un **rappel du fonctionnement mécanique global de l'ouvrage et des principes de détermination des diverses actions (§4.1)** verticales et horizontales (permanentes, climatiques et sismique) sur les différents éléments principaux de la structure, et sa déclinaison sur un mur en poutres en I à base de bois, on identifie les **spécificités et points de vigilance relatifs au fonctionnement mécanique et à la vérification des montants en poutre en I à base de bois (§4.2)**.

Les principes de justification de ces vérifications spécifiques sont détaillés :

- **Vérifications des montants (§4.3)** tenant compte de la répartition dissymétrique de l'effort de compression en pied ;
- **Vérification des traverses basses en compression transversale (§4.4).**

On décline ensuite les vérifications et justifications des **diaphragmes de mur (§4.5)** et sous **sollicitation sismique (§4.6)**.

Cette partie traite également de manière détaillée des **vérifications et points de vigilance relatifs aux assemblages (§4.7), aux ancrages (§4.8) et aux ouvertures et chevêtres (§4.9)**, notamment pour ce qui est de la fixation du panneau de contreventement, de l'assemblage des montants doublés, de la fixation de la muraillère (technique du ballon-frame) ou encore des liaisons mur-plancher.

4.1. DETERMINATION DES ACTIONS

CHARGEMENT VERTICAL

Les charges verticales s'appliquant sur l'ossature des murs sont :

- LES CHARGES PERMANENTES DU MUR ET DES BANDES DE PLANCHERS ET TOITURE SUPPORTEES PAR LE MUR,

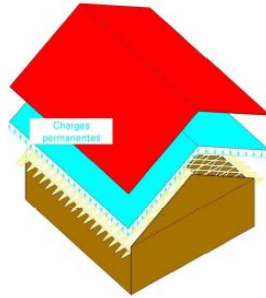


Figure 32 Charges permanentes

- LES CHARGES CLIMATIQUES SUR LA BANDE DE TOITURE SUPPORTEE PAR LE MUR :
 - charge de neige déterminée suivant NF EN 1991-1-3 + AN

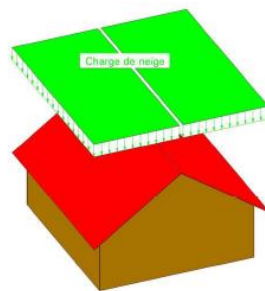


Figure 33 Charges de neige

- composantes verticales des charges de vent déterminées suivant NF EN 1991-1-4 + AN

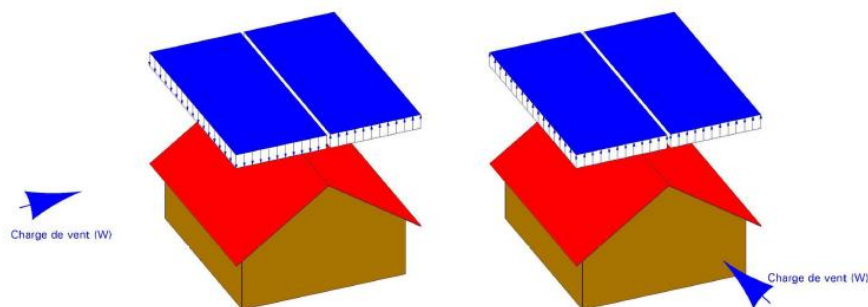


Figure 34 Charge de vent

- LES CHARGES D'EXPLOITATION SUR LES BANDES DE PLANCHERS SUPPORTEES PAR LE MUR DETERMINEES SUIVANT NF EN 1991-1-1 + AN

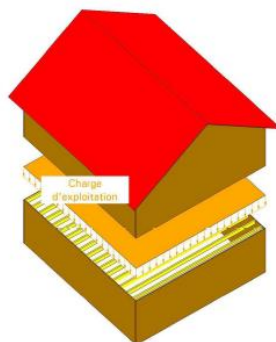


Figure 35 Charges d'exploitation

⇒ LES MONTANTS D'OSSATURE QUI REDESCENDENT LES EFFORTS TRANSMIS PAR LA TRAVERSE HAUTE SUR LA TRAVERSE BASSE SONT SOLLICITES EN COMPRESSION AXIALE.

- Le risque de flambement des montants comprimés est à considérer, compte tenu de leur élancement et des conditions de maintien latéral sur la hauteur.
- Dans le plan du mur, on considère généralement que le voile de contreventement assure la stabilisation latérale de la membrure sur laquelle il est coururé.

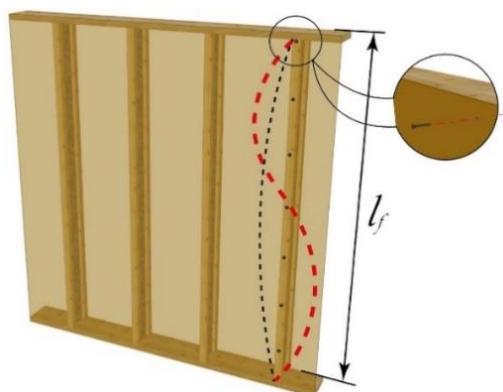


Figure 36 Stabilisation des membrures par panneau de contreventement

- Dans la plupart des cas, les charges verticales ne sont pas distribuées de manière symétrique sur l'épaisseur de la paroi, du fait notamment de l'excentricité du point d'application de charges issues des bandes de plancher ou de toiture. Cette excentricité induit alors un moment additionnel dans le montant.
 - Dans le cas où les planchers reposent sur les murs (construction de type plateforme), il est d'usage de considérer sur l'appui de rive une excentricité minimale du $1/6$ de l'épaisseur du mur pour la détermination du moment de flexion.



Figure 37 Montant soumis à chargement centré (gauche) ou chargement excentré (droite)

- Dans le cas de repos partiel ou de plancher sur muraille (construction de type balloon frame), l'excentricité réelle doit être prise en compte.

- ⇒ AU DROIT DES MONTANTS, AUSSI BIEN EN PARTIE HAUTE QU'EN PARTIE BASSE, LES TRAVERSES SONT SOLLICITEES EN COMPRESSION TRANSVERSALE.
- ⇒ AU DROIT DES OUVERTURES LES ELEMENTS HORIZONTAUX D'OSSATURE (LINTEAUX, RENFORTS, ...) QUI ASSURENT LE TRANSFERT DES CHARGES VERTICALES DE PART ET D'AUTRE DE L'OUVERTURE SONT SOLLICITES EN FLEXION ET EN CISAILEMENT.

CHARGEMENT HORIZONTAL PERPENDICULAIRE AUX PAROIS

Les charges horizontales s'appliquant perpendiculairement aux parois sont :

- LA CHARGE DE VENT SUR LES MURS EXTERIEURS DETERMINEE SUIVANT NF EN 1991-1-4 + AN

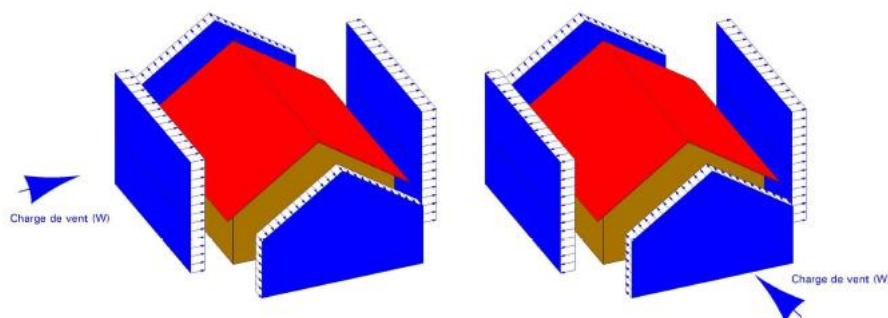


Figure 38 Charges de vent perpendiculaires aux murs

- LA CHARGE D'EXPLOITATION HORIZONTALE SUR LES MURS DE SEPARATION DETERMINEE SUIVANT NF EN 1991-1-1 + AN, LE CAS ECHEANT.

- ⇒ LES EFFORTS HORIZONTAUX PERPENDICULAIRES AUX PAROIS SOLLICITENT LES MONTANTS EN FLEXION.

COMBINAISON DE CHARGEMENT VERTICAL ET HORIZONTAL

La flexion des montants liée à l'excentricité de la charge verticale s'ajoute ou se soustrait à celle due à la charge horizontale de vent perpendiculaire à la paroi.

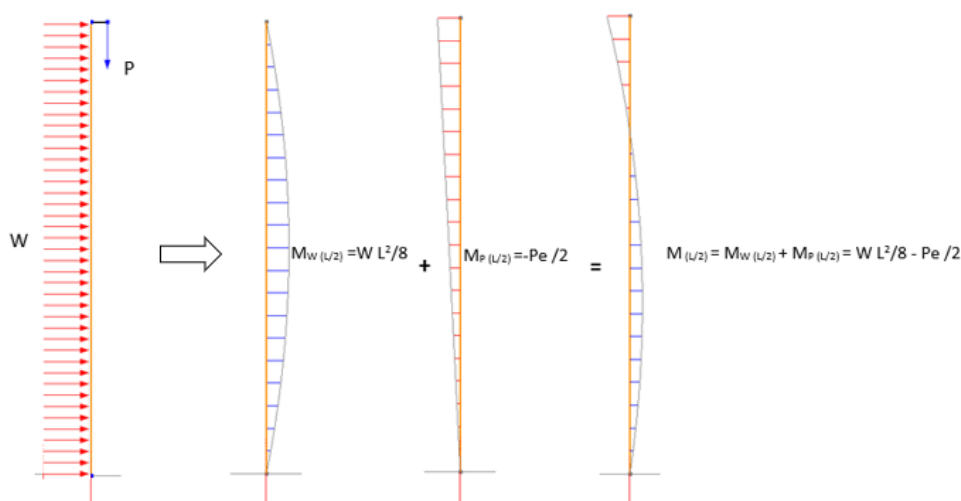


Figure 39 Flexion résultante due à la combinaison de charge verticale excentrée et de charge horizontale perpendiculaire à la paroi

- ⇒ UNE PRESSION NETTE DE VENT SUR LA PAROI S'EXERÇANT VERS L'INTERIEUR PROVOQUE UNE FLEXION DU MONTANT OPPOSEE A CELLE CAUSEE PAR UN EXCENTREMENT DE LA CHARGE VERTICALE COTE INTERIEUR.

ACTION HORIZONTALE DU VENT DANS LE PLAN DES PAROIS

Les efforts horizontaux dans le plan des parois agissant en tête de mur du niveau considéré sont obtenus en prenant en compte :

- les composantes horizontales des efforts de vent sur la toiture,
- les efforts de vent agissant sur les niveaux supérieurs
- la moitié des efforts exercés sur le niveau considéré

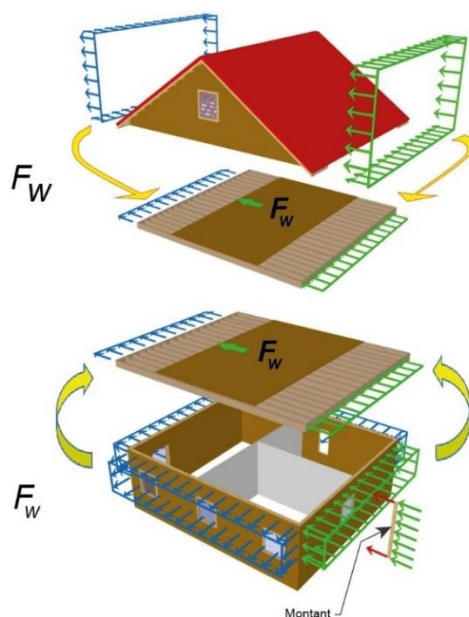


Figure 40 Cheminement des efforts de vent

Dans l'hypothèse de diaphragme rigide aux différents niveaux de plancher et de toiture, la structure a un comportement assimilable à celui d'une boîte fermée.

La distribution des efforts dans les murs de contreventement se fait proportionnellement à la rigidité des murs.

Les efforts engendrés par le moment de torsion due à l'excentricité entre le point d'application de la résultante des efforts (centre de gravité) et le centre de raideur sont à prendre en compte.

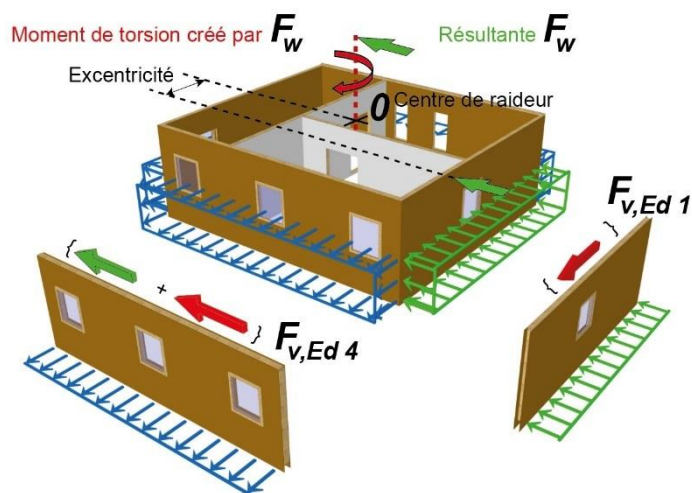


Figure 41 Distribution des efforts horizontaux de vent dans les murs

ACTION SISMIQUE HORIZONTALE DANS LE PLAN DES PAROIS

L'action sismique est déterminée conformément à la NF EN 1998-1-1 + AN, à partir des paramètres suivants :

- l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de type rocheux, caractérisant le mouvement du sol soumis à des ondes sismiques, en fonction de la zone de sismicité dans laquelle se trouve le bâtiment, définie suivant un découpage communal ;
- le coefficient d'importance du bâtiment, qui vient moduler l'accélération de référence, en fonction de la catégorie d'importance du bâtiment (catégorie II pour les maisons individuelles et petits bâtiments) ;
- le paramètre de sol, traduisant le phénomène d'amplification du mouvement du sol par rapport à un sol de type rocheux, en fonction de la classe de sol, suivant sa constitution géologique, à déterminer par une étude de sol.

L'exigence réglementaire dépend de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment. Les ouvrages visés dans le présent document appartiennent à la catégorie d'importance II. Il n'y a aucune exigence pour les bâtiments de catégorie II situés en zones 1 et 2.

Zones de sismicité	Classes de catégories d'importance des bâtiments			
	I	II	III	IV
1	/	/	/	/
2	/	/	X	X
3	/	X	X	X
4	/	X	X	X
/	Sans justification particulière			
X	Justification obligatoire			

Tableau 1 Exigence réglementaire en fonction de la zone sismique et de la catégorie d'importance des bâtiments

L'action sismique se traduit par des efforts horizontaux au niveau des diaphragmes (planchers et toitures) qui doivent être repris par les murs de contreventement.

Comme pour le vent, la distribution des efforts dans les murs de contreventement dépend de leur raideur et de leur position par rapport au centre de raideur.

4.2. SPECIFICITES LIEES AUX MONTANTS POUTRES EN I

FLAMBEMENT DES MONTANTS

Les montants poutres en I comprimés sont susceptibles de flamber suivant les directions parallèles et perpendiculaires à la paroi.

- Dans la direction perpendiculaire au mur, la capacité résistante au flambement du montant suivant l'axe fort dépend de l'inertie et de l'élancement « efficaces » de la poutre en I.
- Dans le plan du mur, la capacité résistante au flambement du montant en I est liée à la contribution du voile de contreventement pouvant être présent sur une seule face ou sur deux faces.

On considère généralement que le voile de contreventement assure la stabilisation latérale de la membrure sur laquelle il est couturé.

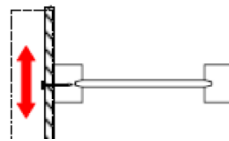


Figure 42 Stabilisation de la membrure côté panneau de contreventement

- ✓ Dans le cas des murs fermés avec voile de contreventement des deux côtés ou avec la membrure côté ouvert entretoisée, le montant en I est susceptible de flamber par flexion dans son plan sur la hauteur du mur ou par flexion hors plan entre points de stabilisation latérale.

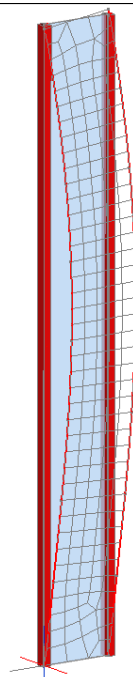


Figure 43 Flambement par flexion dans le plan du montant

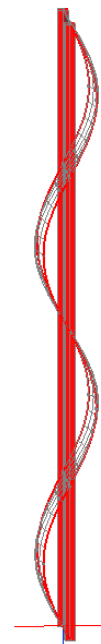


Figure 44 Flambement par flexion hors plan du montant entre points de stabilisation latérale

- ✓ Dans le cas courant des murs avec voile de contreventement d'un seul côté, avec membrure côté ouvert non entretoisée, le montant en I est susceptible de flamber par torsion-flexion.

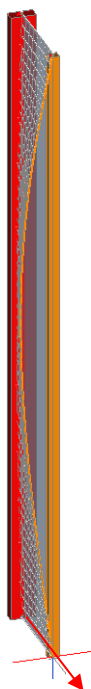


Figure 45 Flambement par torsion-flexion de la poutre en I

L'analyse d'un tel comportement, observé expérimentalement, ne peut être définie rigoureusement à l'aide de méthodes analytiques et nécessite de s'appuyer sur des modélisations aux éléments finis. Deux méthodes alternatives « simplifiées » de justification de la stabilité en prenant en compte la contribution du voile, établies à partir de résultats expérimentaux, sont ainsi proposées dans ce guide :

- Méthode A : vérification du flambement par torsion-flexion d'une poutre en I fictive équivalente mono-symétrique (plan de symétrie perpendiculaire au plan du mur uniquement) avec une membrure de plus grandes dimensions transversales côté panneau.
- Méthode B : vérification du flambement en combinant la capacité résistante au flambement du montant poutre en I et la contribution du voile de contreventement considéré comme un poteau fictif.

Dans ces deux méthodes, les justifications de stabilité sont établies en considérant le montant en I comme un tout.

Une justification de stabilité menée en considérant uniquement le risque de flambement par flexion de la membrure considérée seule, apparaît très sécuritaire et pas représentative du comportement observé lors des essais.

REPARTITION DISSYMETRIQUE DE L'EFFORT DE COMPRESSION EN PIED

La répartition de l'effort de compression entre les membrures est dissymétrique dans le cas fréquent où l'effort vertical est excentré.

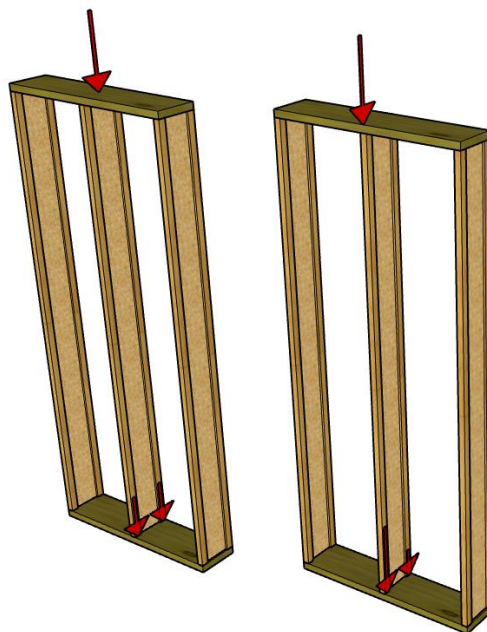


Figure 46 Répartition symétrique de l'effort de compression sous chargement centré (à gauche) et répartition dissymétrique sous chargement excentré (à droite)

L'effort de compression différent dans chaque membrure conduit à une distribution non uniforme de la compression perpendiculaire dans la traverse basse.

Cependant, dans le cas des murs avec voile de contreventement du côté non chargé uniquement, celui-ci tend à redistribuer les efforts équitablement entre les membrures en soulageant la membrure libre.



Figure 47 Redistribution de l'effort par le voile de contreventement

COMPRESSION TRANSVERSALE DE LA TRAVERSE BASSE

Par rapport à un montant massif, la contrainte de compression exercée sur la traverse basse est accrue par le fait que l'effort descendant ne s'applique que sur une surface de contact réduite.

Cela peut rendre la vérification de contrainte en compression transversale de la traverse basse dimensionnante.

4.3. VERIFICATION DES MONTANTS

Les montants poutres en I peuvent être sollicités :

- En compression axiale seule, pour les parois uniquement soumises à un effort normal centré.
- En compression et flexion :
 - Pour les parois soumises à un effort de compression N avec une excentricité e par rapport à l'axe du montant, ce qui correspond à la combinaison :
 - d'un effort normal N centré,
 - d'un moment fléchissant $M=N.e$
 - Pour les parois également soumises à l'action du vent agissant perpendiculairement à la paroi.
- En traction axiale, au niveau de l'ancrage du montant au vent d'une paroi soumise à un effort de contreventement dont l'effet de déstabilisation est supérieur à l'effet de stabilisation des charges descendantes.

SECTION COMPOSITE

Les propriétés mécaniques des poutres composites peuvent être déduites de celles des composants en fonction de la géométrie de la section et des caractéristiques de la connexion.

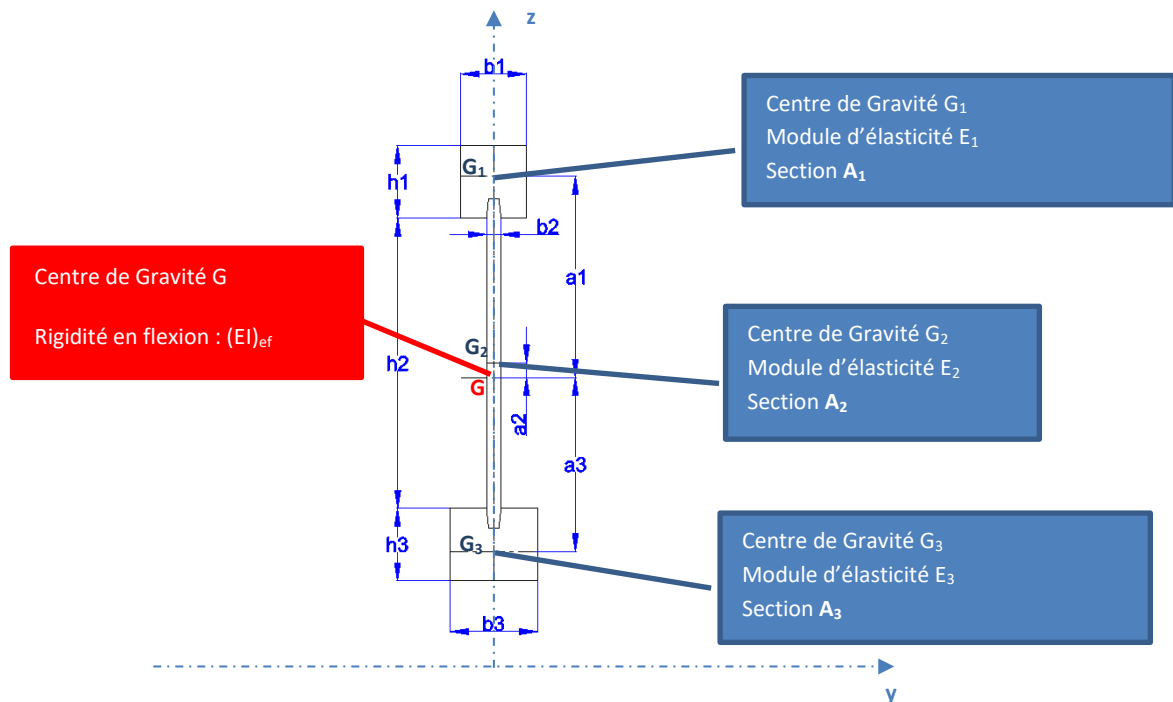


Figure 48 Propriétés géométriques d'une section transversale de poutre composite en I

La position du centre de gravité G de la section composite est liée à celle des différentes parties par la relation suivante :

$$z_G = \frac{\sum E_i A_i z_{G_i}}{\sum E_i A_i}$$

Suivant l'Annexe B de NF EN 1995-1-1 (EC5), la rigidité efficace en flexion de la section composite assemblée par collage est déterminée par la relation suivante :

$$(EI)_{ef} = \sum (E_i I_i + E_i A_i a_i^2)$$

Avec :

E_i : valeur moyenne du module d'élasticité longitudinal dans la partie individuelle i (membrures, âme), repérée de 1 à 3 de haut en bas

A_i : aire de la partie i ,

I_i : Moment d'inertie de la partie i ,

a_i , distance entre le centre de gravité de la partie i et le centre de gravité de la section composite

CONTRAINTES INDUITES PAR UN EFFORT NORMAL CENTRE

Sous un effort centré axial (N) agissant sur le montant, les contraintes normales se répartissent dans les parties de la section composite au prorata des raideurs axiales :

$$\sigma_i(N) = \frac{E_i N}{\sum E_i A_i}$$

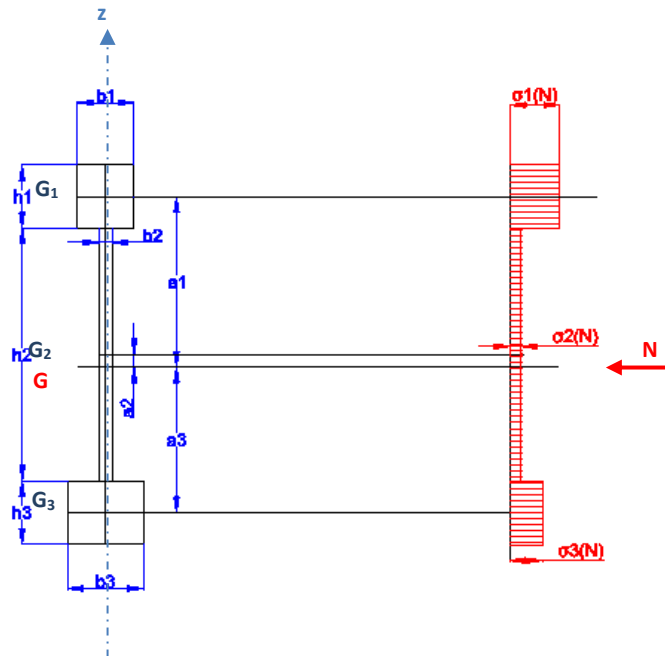


Figure 49 Distribution des contraintes normales sous effort de compression centré

CONTRAINTES INDUITES PAR UN MOMENT DE FLEXION

Sous un moment de flexion (M),

- la contrainte normale moyenne, au centre de gravité de chaque partie dans chaque membrure est :

$$\sigma_i(M) = \frac{E_i a_i M}{(EI)_{ef}}$$

- la contrainte de flexion dans les membrures est :

$$\sigma_{mi(z)} = \frac{E_i M (z - z_{Gi})}{(EI)_{ef}}$$

- la contrainte maximale de flexion sur la fibre extrême de chaque membrure est :

$$\sigma_{c \text{ ou } t, i, max}(M) = \sigma_i(M) + \sigma_{m, i (z = \frac{h_i}{2})} = \frac{E_i M |a_i + 0,5 h_i|}{(EI)_{ef}}$$

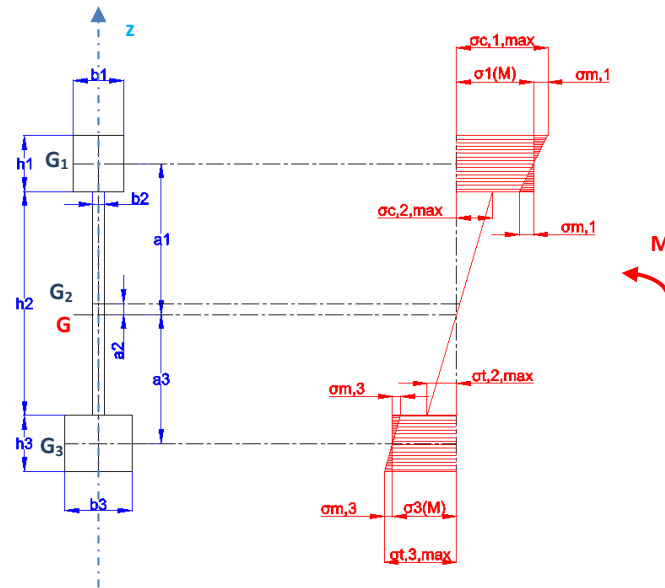


Figure 50 Distribution des contraintes normales sous moment de flexion

CONTRAINTES INDUITES PAR LA COMBINAISON D'UN EFFORT NORMAL ET D'UN MOMENT DE FLEXION

Dans le cas d'une combinaison de flexion (**M**) et d'effort normal (**N**),

- la contrainte normale moyenne au centre de la gravité de chaque membrure est :

$$\sigma_i = \sigma_i(M) + \sigma_i(N)$$

- la contrainte normale maximale sur la fibre extrême de chaque membrure est donnée par :

$$\sigma_{i,max} = \sigma_i(N) + \sigma_i(M) + \sigma_{m,i}$$

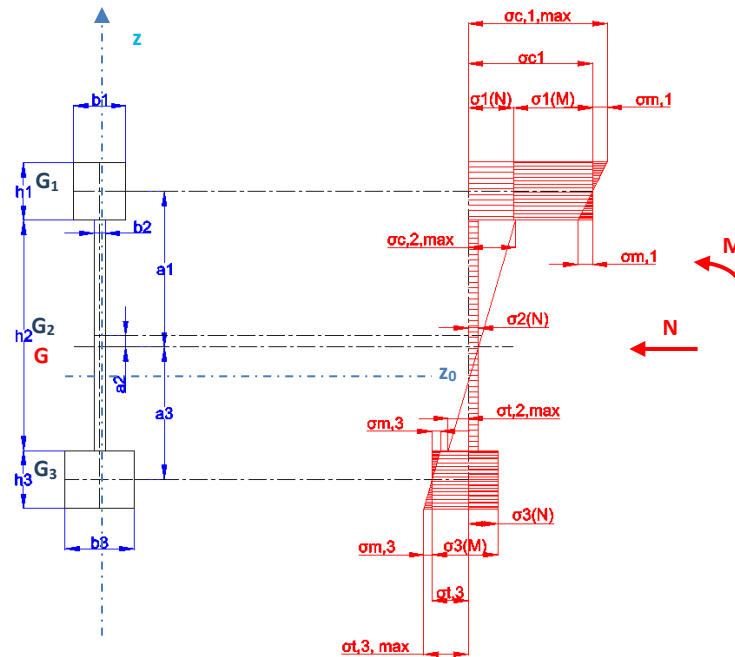


Figure 51 Distribution des contraintes normales sous combinaison d'effort normal et de moment de flexion

- la position de l'axe neutre est obtenue par la relation :

$$z_0 = z_G - \frac{N}{M} \times \frac{(EI)_{ef}}{\sum E_i A_i}$$

CONTRAINTES INDUITES PAR L'EFFORT TRANCHANT

Contraintes de cisaillement dues à l'effort tranchant (**V**)

- La contrainte de cisaillement dans le plan de la section à la position z est :

$$\tau(z) = \frac{(ES)_{ef}(z)}{b(z)(EI)_{ef}} \times V$$

où S est le moment statique de la section au-delà du plan de cisaillement considéré par rapport à l'axe d'inertie G_y de la section composée.

- la contrainte de cisaillement est maximale dans l'âme à la fibre neutre pour $z_0=z_G$:

$$\tau_{2,max} = \frac{E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 \left(\frac{h_2}{2} + a_2\right)^2}{b_2 (EI)_{ef}} \times V$$

- les contraintes de cisaillement aux interfaces âme/membrures sont :

$$\tau_{1/2} = \frac{E_1 A_1 a_1}{b_{ci} (EI)_{ef}} \times V$$

$$\tau_{2/3} = \frac{E_3 A_3 a_3}{b_{ci} (EI)_{ef}} \times V$$

avec b_{ci} : largeur développée du joint de collage âme/membrure

VERIFICATION DU FLAMBEMENT

Cas des montants avec stabilisation latérale des deux membrures :

La résistance des membrures soumises à de la compression axiale peut être justifiée vis-à-vis du risque de flambement, conformément au § 6.3.2 EC5, en vérifiant la relation suivante :

$$\sigma_{f,c,i,d} \leq k_{c,f} f_{c,0,d,i}$$

avec :

$f_{c,0,d,i}$, valeur de calcul de la résistance en compression axiale de la partie i , déduite de la valeur caractéristique de résistance en compression axiale $f_{c,0,k,i}$ par la relation suivante :

$$f_{c,0,d,i} = f_{c,0,k,i} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$k_{c,f}$: facteur d'instabilité, déterminé suivant §6.3.2 EC5 à partir du rapport d'élancement efficace λ_{ef} , comme détaillé ci-après :

- Suivant l'axe fort (instabilité hors plan de la paroi), le calcul du rapport d'élancement λ_{ef} de la poutre en I, basé sur la méthode de calcul des poteaux reconstitués de l'Annexe C de l'EC5, est donné par :

$$\lambda_{ef,y} = l_y \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}} = l_y \sqrt{\frac{\sum E_i A_i}{(EI)_{ef}}}$$

avec :

l_y : longueur de flambement hors plan du montant

A_{tot} : aire totale de la section en compression

I_{ef} : moment d'inertie efficace obtenu par :

$$I_{ef} = \frac{(EI)_{ef}}{A_{tot}}$$

$$E_{mean} = \frac{\sum E_i A_i}{A_{tot}}$$

- Suivant l'axe faible (instabilité dans le plan de la paroi), le rapport d'élancement considéré de manière conservatrice, conformément au §9.1.2 de l'EC5, est celui de la membrure seule :

$$\lambda_{ef,z} = l_z \sqrt{\frac{A_f}{I_{fz}}} = \frac{l}{b_f} \sqrt{12}$$

l_z : longueur de flambement de la membrure dans le plan de la paroi, correspondant à l'espacement entre organes de fixation de la couture membrure/panneau (inférieure ou égale à 300mm)

A_f : aire de la membrure

b_f : largeur de la membrure

I_{fz} : moment d'inertie de la membrure suivant l'axe faible

Dans le cas d'une membrure maintenue latéralement par le voile de contreventement, la longueur de flambement l_z correspond à l'espacement entre les fixations.

Dans le cas d'une membrure, côté ouvert, la longueur de flambement l_z correspond à l'espacement entre les dispositifs de stabilisation latérale.

- Dans chaque direction, le rapport d'élancement relatif est déterminé à partir du rapport d'élancement efficace λ_{ef} en fonction des propriétés mécaniques de la section par la relation :

$$\lambda_{rel,y ou z} = \frac{\lambda_{ef,y ou z}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$f_{c,0,k}$: contrainte caractéristique de compression axiale

$E_{0,05}$: valeur caractéristique à 5% d'exclusion du module d'élasticité

- Le facteur d'instabilité k_c dans chaque direction s'obtient par les relations suivantes :

$$k_{c,y ou z} = \frac{1}{k_{y ou z} + \sqrt{k_{y ou z}^2 - \lambda_{rel,y ou z}^2}}$$

$$k_{y ou z} = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y ou z} - 0,3) + \lambda_{rel,y ou z}^2)$$

β_c : facteur relatif à l'imperfection de rectitude, pouvant être pris égal à 0,1 pour les membrures des poutres en I.

Dans une direction donnée, aucun risque d'instabilité n'est à considérer si l'élancement relatif est inférieur ou égal à 0,3. Dans ce cas, k_c est pris égal à 1.

Dans le plan de la paroi, compte tenu d'un rapport d'environ 330 entre les valeurs caractéristiques de module d'élasticité et de résistance en compression pour du bois massif, un élancement relatif limité à 0,3 est obtenu pour une longueur l_z entre points de maintien latéral inférieure à $5b_f$ (b_f étant la largeur de la membrure).

Cas des montants stabilisés d'un seul côté par le voile de contreventement :

La vérification au flambement des montants poutres en I dont une seule membrure est stabilisée par une voile de contreventement peut être menée suivant deux méthodes alternatives, dénommées A et B.

▫ **Méthode A :**

Cette méthode s'applique à des montants poutres en I dont les dimensions de section transversales respectent les conditions suivantes :

- largeur minimale des membrures : $b_f \geq 45 \text{ mm}$
- hauteur maximale de poutre en I : $h \leq 450 \text{ mm}$

La résistance au flambement du montant poutre en I stabilisé d'un seul côté est prise égale à celle d'une poutre en I mono-symétrique de même composition mais avec une membrure fictive côté panneau qui présente les dimensions de section transversale suivantes :

- h'_f , hauteur de la membrure fictive, prise égale à
 $h'_f = h_f + h_p$

h_f : épaisseur de la membrure côté panneau

h_p : épaisseur du panneau de contreventement

- b'_f , largeur de la membrure fictive, prise de manière forfaitaire égale à 110 mm.

Suivant la NF EN 1993-1-3, l'effort critique élastique de flambement par torsion-flexion, noté $N_{cr,TF}$, d'un montant de section mono-symétrique par rapport à l'axe z et de longueur de flambement identique en flexion et torsion, est déterminé par la relation suivante :

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}\right)^2 + 4 \left(\frac{z_0}{i_0}\right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right]$$

Avec

$N_{cr,z}$, effort normal critique élastique de flambement par flexion par rapport à l'axe z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l_f^2}$$

$N_{cr,T}$, effort critique de flambement par torsion, déterminé par la relation suivante :

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_c^2} (GI_{tor}) + \frac{\pi^2 EI_w}{l_f^2}$$

où :

GI_{tor} est la rigidité en torsion de la section, déterminé pour une section composite en I par la relation suivante :

$$(GI_{tor}) = \sum_{i=1}^3 G_i I_{tor,i}$$

G_i est le module de cisaillement de la partie considérée

$I_{tor,i}$, moment d'inertie de torsion de la partie considérée, déterminé pour une section rectangulaire par la relation suivante :

$$I_{tor} = \frac{b^3 h}{3} \left(1 - 0,63 \frac{b}{h}\right), \text{ avec } b > h$$

I_w est le moment d'inertie sectoriel (constante de gauchissement), déterminé pour une section composite en I par la relation suivante :

$$I_w = \frac{I_{z1} \cdot (a_1 + a_3)^2}{1 + \frac{E_1 I_{z1}}{E_3 I_{z3}}}$$

l_f est la longueur de flambement par torsion et par flexion

i_c déterminé par la relation suivante :

$$i_c^2 = i_y^2 + i_z^2 + z_c^2$$

i_y ou i_z est le rayon de giration par rapport à l'axe y ou z

z_c est la distance entre le centre de cisaillement et le centre de gravité de la section transversale,

$$z_c = \frac{(a_1 + a_3) E_1 I_1}{E_1 I_1 + E_3 I_3} - a_3$$

β , obtenu par la relation suivante :

$$\beta = 1 - \left(\frac{z_c}{i_c}\right)^2$$

Pour une justification suivant l'Eurocode 5, on peut alors déterminer le facteur d'instabilité $k_{c,TF}$ à partir de l'élancement relatif lié aux propriétés du matériau :

$$\lambda_{rel,TF} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k,f}}{\sigma_{cr,TF}}}$$

Avec

$f_{c,0,k,f}$, valeur caractéristique de la résistance en compression axiale des membrures

$\sigma_{cr,TF}$, contrainte critique en compression vis-à-vis du flambement par torsion-flexion

$$\sigma_{cr,TF} = \frac{N_{cr,TF}}{A_{eq}}$$

$$A_{eq} = \frac{\sum E_i A_i}{E_{0,05,f}}$$

$E_{0,05,f}$, valeur caractéristique à 5% d'exclusion du module d'élasticité des membrures

Comme précédemment, suivant le §6.3.2 de la NF EN 1995-1, le facteur d'instabilité $k_{c,TF}$ s'obtient par les relations suivantes :

$$k_{c,TF} = \frac{1}{k_{TF} + \sqrt{k_{TF}^2 - \lambda_{rel,TF}}}$$

$$k_{TF} = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,TF} - 0,3) + \lambda_{rel,TF}^2)$$

β_c : facteur relatif à l'imperfection de rectitude, pouvant être pris égal à 0,1 pour les poutres en I.

La résistance du montant poutre en I avec membrure fictive côté panneau, soumis à de la compression axiale éventuellement combinée à de la flexion, peut alors être justifiée vis-à-vis du risque de flambement en torsion-flexion en vérifiant la relation suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{k_{c,TF} N_{c,Rd}^*} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

avec

N_{Ed} , valeur de calcul de l'effort de compression axiale

$N_{c,Rd}^*$, valeur de calcul de la résistance en compression axiale sans risque de flambement de la poutre en I

$$N_{c,Rd}^* = N_{c,Rk}^* \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$N_{c,Rk}^*$, Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, de la poutre en I

$$N_{c,Rk}^* = f_{c,0,k} \frac{\sum E_i A_i}{E_{m,f}}$$

M_{Ed} , valeur de calcul du moment de flexion, y compris le moment dû à une excentricité éventuelle de l'effort normal

M_{Rd} , moment résistant de calcul, de la poutre en I

$$M_{R,d} = M_{R,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

M_{Rk} , moment résistant caractéristique, de la poutre en I :

$$M_{Rk} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{m,f}} \cdot \min \begin{cases} f_{m,k} / 0,5h \\ f_{c,0,k} / a_1 \\ f_{t,0,k} / a_1 \end{cases}$$

□ Méthode B :

La résistance du montant poutre en I soumis à de la compression axiale éventuellement combinée à de la flexion, en tenant compte de la contribution du voile de contreventement, peut être justifiée vis-à-vis du risque de flambement en vérifiant la relation suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,TOT}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Avec

N_{Ed} , valeur de calcul de l'effort de compression axiale

$N_{Rd,TOT}$, résistance de calcul à la compression du montant en tenant compte du voile de contreventement :

$$N_{Rd,tot} = N_{Rd,j} + C_e C_p N_{Rd,p}$$

$N_{Rd,j}$, résistance de calcul à la compression du montant seul (sans voile) avec risque de flambement par flexion latérale :

$$N_{Rd,j} = k_{c,f} N_{Rk,j}^* \frac{k_{mod,j}}{\gamma_{M,j}}$$

$k_{c,f}$, facteur d'instabilité de flambement en flexion latérale de la poutre en I :

$$k_{c,f} = \min (k_{cy}; k_{cz})$$

$N_{Rk,j}^*$, Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, de la poutre en I

$k_{mod,j}$, facteur de modification de la résistance de la poutre en I

$\gamma_{M,j}$, coefficient partiel sur les matériaux de la poutre en I

$N_{Rd,p}$, résistance de calcul à la compression du voile de contreventement :

$$N_{Rd,p} = k_{c,z,p} N_{Rk,p}^* \frac{k_{mod,p}}{\gamma_{M,p}}$$

$k_{c,z,p}$, facteur d'instabilité de flambement du panneau dans son plan :

$N_{Rk,p}^*$, Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, du panneau

$$N_{Rk,p}^* = f_{c,0,k,p} t_p b_{ef,p}$$

$f_{c,0,k,p}$, valeur caractéristique de la résistance en compression axiale des membrures

t_p , épaisseur du panneau de contreventement

$b_{ef,p}$, largeur efficace en compression du panneau de contreventement, égale à l'entraxe entre montants sans excéder 600 mm

$k_{mod,p}$, facteur de modification de la résistance du panneau de contreventement

$\gamma_{M,p}$, coefficient partiel sur les matériaux du panneau de contreventement

C_e , coefficient tenant compte de la position de la charge verticale par rapport au voile de contreventement :

$$C_e = 0,8 - 0,6 \left(0,5 + k_e \frac{e_0}{H - h_f} \right)$$

k_e , facteur tenant compte de la position du voile de contreventement ,

$k_e=1$ pour voile côté extérieur

$k_e=-1$ pour voile côté intérieur

e_0 , excentricité de la charge verticale en tête de montant

H , hauteur de section transversale de la poutre en I

h_f , hauteur de section transversale de la membrure

C_p , coefficient d'ajustement de la contribution du voile à la capacité résistante du poteau fictif

$$C_p = \left(1 - \frac{e_0}{H - h_f}\right) \left(0,45 - 0,05 \frac{H - 200}{100}\right)$$

M_{Ed} , valeur de calcul du moment de flexion, y compris le moment dû à une excentricité éventuelle de l'effort normal

M_{Rd} , moment résistant de calcul, de la poutre en I

$$M_{R,d} = M_{R,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

M_{Rk} , moment résistant caractéristique, de la poutre en I :

$$M_{Rk} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{m,f}} \cdot \min \begin{cases} f_{m,k} / 0,5h \\ f_{c,0,k} / a_1 \\ f_{t,0,k} / a_1 \end{cases}$$

SYNTHESE DES VERIFICATIONS

La résistance des membrures d'une poutre composite soumise à de la flexion composée est justifiée, conformément au § 9.1.1 de l'EN 1995-1-1, en vérifiant les relations suivantes :

⇒ Sur la fibre extrême :

$$\sigma_{c \text{ ou } t, i, max, d} < f_{m, d}$$

$$f_{m, d} = f_{m, k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{m, k}$: valeur caractéristique de la résistance en flexion des membrures

⇒ Au centre de gravité de la membrure comprimée :

$$\sigma_{c, i, d} \leq k_{c, f} f_{c, 0, d, i}$$

$k_{c, f}$: facteur d'instabilité de flambement en flexion latérale,

Dans le cas où le montant en I est stabilisé des deux côtés, $k_{c, f} = \min(k_{cy}; k_{cz})$.

Dans le cas où une seule membrure est stabilisée, $k_{c, f} = 1,0$

$$f_{c, 0, d} = f_{c, 0, k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{c, 0, k}$: valeur caractéristique de la résistance en compression axiale de la membrure

⇒ Au centre de gravité de la membrure tendue :

$$\sigma_{t,i,d} \leq f_{t,0,d,i}$$

$$f_{t,0,d} = f_{t,0,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{t,0,k}$: valeur caractéristique de la résistance en traction axiale de la membrure

Dans l'âme, les contraintes normales doivent satisfaire les relations suivantes :

⇒ Sur la fibre extrême comprimée :

$$\sigma_{c,2,max,d} \leq f_{c,0,d,2}$$

$$f_{c,0,d,2} = f_{c,0,k,2} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{c,0,k,2}$: valeur caractéristique de la résistance en compression dans le plan de l'âme

⇒ Sur la fibre extrême tendue :

$$\sigma_{t,2,max,d} \leq f_{t,0,d,2}$$

$$f_{t,0,d,2} = f_{t,k,2} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{t,k,2}$: valeur caractéristique de la résistance en traction dans le plan de l'âme

La résistance des joints de collage âme / membrure doit satisfaire la relation suivante :

$$\tau_{1/2,d} \text{ et } \tau_{2/3,d} \leq f_{v,joint,d}$$

$$f_{v,joint,d} = f_{v,joint,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$$

$f_{v,joint,k}$: valeur caractéristique de la résistance au cisaillement du joint âme-membrure

Ces différentes vérifications peuvent être facilitées par l'utilisation des propriétés de résistances caractéristiques et de rigidité de la poutre en I déclarées par le fabricant dans l'ETE ou l'Avis Technique :

- Moment résistant caractéristique, M_k
- Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, N_k
- Effort tranchant caractéristique, V_k

Ainsi la vérification d'un montant poutre en I sous combinaison de flexion et d'effort de compression avec risque de flambement peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{k_c N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

avec

N_{Ed} : valeur de calcul de l'effort de compression axiale

k_c : facteur d'instabilité de flambement :

- Dans le cas où le montant en I est stabilisé des deux côtés, $k_c = k_{c,f}$
 $k_{c,f}$: facteur d'instabilité de flambement en flexion latérale du montant poutre en I,
 $k_{c,f} = \min(k_{cy}; k_{cz})$

k_{cy} et k_{cz} , facteurs d'instabilité vis-à-vis du risque de flambement en flexion, suivant l'axe fort et l'axe faible respectivement

- Dans le cas où une seule membrure est stabilisée, $k_c = k_{c,TF}$,
 $k_{c,TF}$: facteur d'instabilité de flambement en torsion-flexion du montant poutre en I avec membrure fictive côté panneau, suivant la méthode A

$N_{c,Rd}^*$, valeur de calcul de la résistance en compression axiale, sans risque de flambement, de la poutre en I

$$N_{c,Rd}^* = N_{c,Rk}^* \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$N_{c,Rk}^*$, Valeur caractéristique de la résistance à la compression axiale, sans risque de flambement, de la poutre en I

$$N_{c,Rk}^* = f_{c,0,k} \frac{\sum E_i A_i}{E_{m,f}}$$

M_{Ed} : valeur de calcul du moment de flexion

M_{Rd} , moment résistant de calcul, de la poutre en I

$$M_{Rd} = M_{Rk} \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

M_{Rk} , moment résistant caractéristique, de la poutre en I :

$$M_{Rk} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{m,f}} \cdot \min \begin{cases} f_{m,k} / 0,5h \\ k_{c,f} f_{c,0,k} / a_1 \\ f_{t,0,k} / a_1 \end{cases}$$

$k_{c,f}$: facteur d'instabilité de flambement en flexion latérale :

- Dans le cas où le montant en I est stabilisé des deux côtés, $k_{c,f} = \min(k_{cy}; k_{cz})$

k_{cy} et k_{cz} , facteurs d'instabilité vis-à-vis du risque de flambement en flexion, suivant l'axe fort et l'axe faible respectivement

- Dans le cas où une seule membrure est stabilisée, $k_{c,f} = 1,0$.

4.4. VERIFICATION DES TRAVERSES EN COMPRESSION TRANSVERSALE

REPARTITION DES CONTRAINTES ET EFFORTS DE COMPRESSION EN PIED DE MONTANT

La compression transversale dans la traverse dépend de la répartition des contraintes normales dans la section du montant poutre en I.

Lorsque la section composite est entièrement comprimée ($N \gg M$), l'effort de compression agissant sur la semelle peut être décomposé en un effort de compression N_i , dans chaque partie :

$$N_i = \sigma_{ci} \times A_{c,i}$$

avec,

$\sigma_{c,i}$, contrainte de compression moyenne dans chaque partie, i :

$$\sigma_{ci} = \frac{E_i N}{\sum E_i A_i}$$

$A_{c,i}$, aire de contact en compression perpendiculaire au droit de chaque partie du montant poutre en I.

Chaque partie étant entièrement comprimée : $A_{ci} = A_i = h_i b_i$

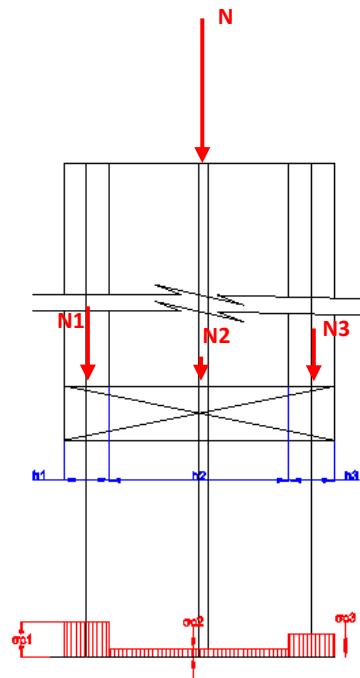


Figure 52 Distribution des contraintes normales dans la traverse entièrement comprimée sous montant poutre en I soumis à un effort de compression centré

Lorsque la section composite est partiellement comprimée, l'effort de compression peut être décomposé jusqu'à la fibre neutre ($\sigma=0$ à z_0) :

- en un effort dans chaque partie entièrement comprimée :

$$N_i = \sigma_{ci} \times h_i \times b_i$$

avec, $\sigma_{c,i}$, contrainte de compression moyenne dans chaque partie entièrement comprimée :

$$\sigma_{ci} = \left(\frac{E_i N}{\sum E_i A_i} + \frac{E_i a_i M}{(EI)_{ef}} \right)$$

- et un effort dans la partie partiellement comprimée :

$$N_i = \sigma_{c,i} \times A_{c,i}$$

avec, $\sigma_{c,i}$, contrainte de compression moyenne dans la partie partiellement comprimée :

$$\sigma_{c,i} = 0,5 \times \sigma_{c,max,i} = 0,5 \times \frac{E_i M |a_i + 0,5 h_i|}{(EI)_{ef}}$$

$A_{c,i}$, aire de contact en compression perpendiculaire au droit de la partie partiellement comprimée :

$$A_{c,i} = (z_{i,max} - z_0) \times b_i$$

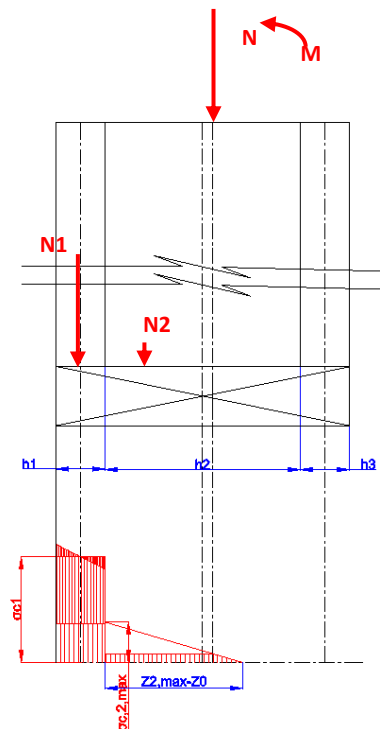


Figure 53 Distribution des contraintes normales dans la traverse partiellement comprimée sous montant poutre en I soumise à une combinaison d'effort de compression et de moment de flexion significatif

Lorsque le voile de contreventement est présent uniquement du côté opposé à la membrure chargée, une redistribution de l'effort entre les deux membrures peut être prise en compte et considérer que la section est entièrement comprimée.

Pour les poutres en I à âme mince en panneau à base de bois, il est sécuritaire de considérer que l'effort de compression passe uniquement par les membrures.

VERIFICATION

On vérifie au droit de chaque partie comprimée que les valeurs de calcul des contraintes satisfont à l'équation suivante :

$$\sigma_{c,90,d,i} \leq k_p k_{c,90,i} f_{c,90,d}$$

$\sigma_{c,90,d,i}$ est la valeur de calcul de la contrainte de compression perpendiculaire au fil, dans chaque partie comprimée :

$$\sigma_{c,90,i} = \frac{N_{c,90,d,i}}{A_{c,i}}$$

$N_{c,90,d,i}$, valeur de calcul de l'effort de compression perpendiculaire au droit de chaque partie du montant poutre en I

$A_{c,i}$, aire de contact en compression perpendiculaire au droit de chaque partie du montant poutre en I, en fonction de la distribution des contraintes :

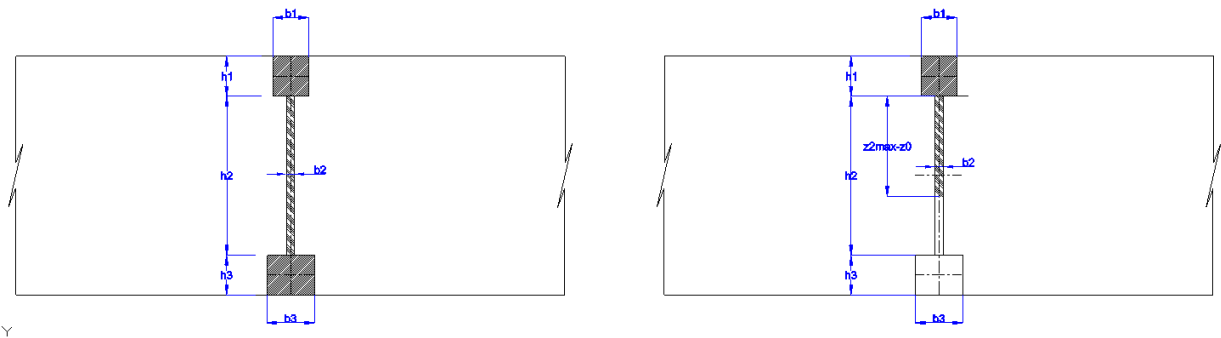


Figure 54 Aire de contact en compression perpendiculaire de la traverse entièrement comprimée (à gauche) ou partiellement comprimée (à droite)

$k_{c,90,i}$, facteur de diffusion de la charge au droit de chaque partie :

$$k_{c,90,i} = \min \left(\sqrt{\frac{l_{ef,i}}{l_{c,i}}}; 4,0 \right)$$

Avec

$l_{ef,i}$, longueur efficace de diffusion de la contrainte de compression perpendiculaire, en considérant une diffusion à 45° :

$l_{ef,i} = b_i + 2h_t$, au droit d'un montant intermédiaire

$l_{ef,i} = b_i + h_t$, au droit d'un montant d'extrémité ou d'un montant doublé

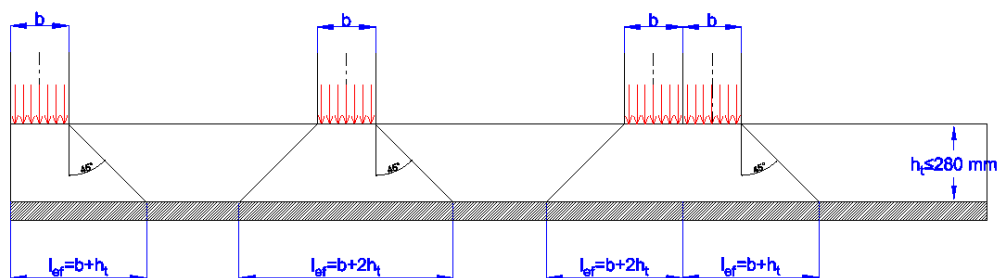


Figure 55 Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire de la traverse au droit de chaque montant

h_t , hauteur de la traverse

$l_{c,i}$, longueur de contact de la charge pour chaque partie : $l_{ci}=b_i$

k_p , coefficient tenant compte du comportement du matériau et du niveau de déformation perpendiculaire considéré :

$k_p=1,4$ pour le bois massif et bois lamellé-collé, pour une déformation sur la hauteur de 2,5%

$k_p=1,3$ pour le LVL à plat, pour une déformation sur la hauteur de 2,5%

$f_{c,90,d}$, valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire de la traverse :

$$f_{c,90,d} = f_{c,90,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,k}$, valeur caractéristique de la résistance en compression perpendiculaire de la traverse

k_{mod} , facteur de modification de la résistance de la traverse

γ_M , coefficient partiel sur les matériaux de la traverse

4.5. DIMENSIONNEMENT DES DIAPHRAGMES DE MUR

RESISTANCE AU CONTREVENTEMENT

L'effort de contreventement agissant en tête de mur composé de plusieurs parties travaillantes ou diaphragmes, reliées par des lisses haute et basse continues, se répartit dans chaque partie travaillante proportionnellement à la raideur.

Dans le cas courant d'une constitution de paroi identique de toutes les parties travaillantes d'un système de mur, l'effort se répartit dans chaque diaphragme proportionnellement à la longueur.

La justification de la résistance au contreventement d'un diaphragme de mur est menée conformément à la méthode A de l'Eurocode 5.

- On vérifie que l'effort de calcul de contreventement agissant en tête d'un diaphragme de mur $F_{v,Ed}$ est inférieure à la résistance $F_{v,Rd}$.
 - La résistance au contreventement d'un diaphragme de mur composé de plusieurs panneaux est la somme des résistances individuelles de chaque panneau :

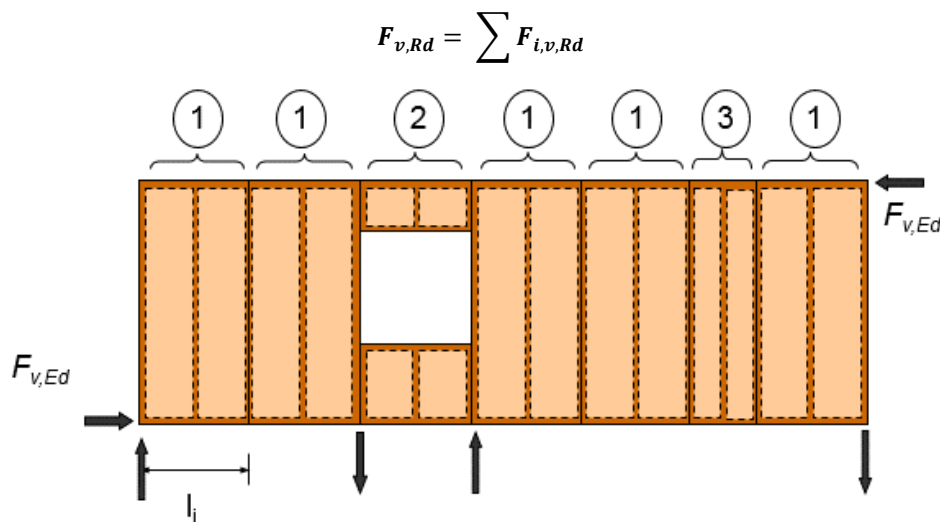


Figure 56 Efforts agissant sur un mur composé de plusieurs panneaux

- Les parties de murs contenant des ouvertures de portes ou de fenêtres et les parties de murs de longueur inférieure au quart de leur hauteur ne reprennent pas d'effort.
- Dans chaque diaphragme de mur, rigidement ancré à la base, on considère que l'effort horizontal agissant en tête de mur, $F_{v,Ed}$, se répartit de manière uniforme le long de la couture en bord de panneau.

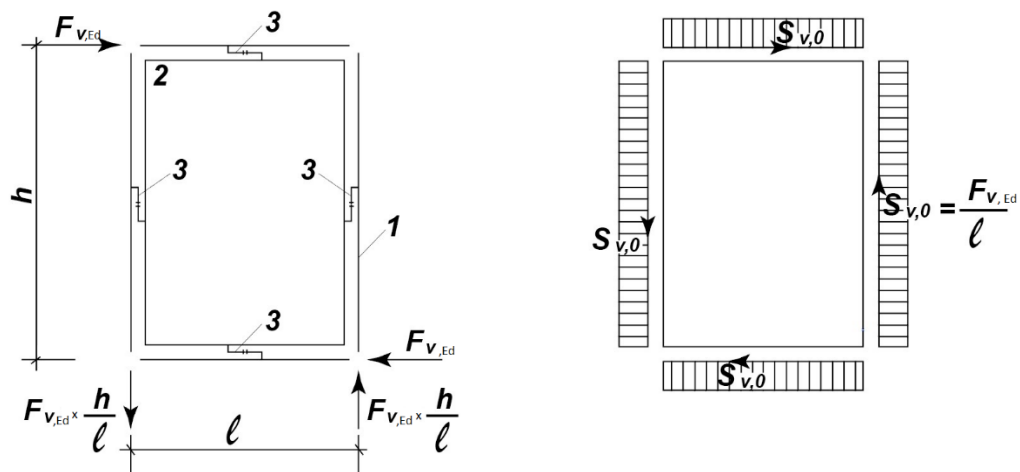


Figure 57 Répartition des efforts dans un diaphragme de mur

- La résistance au contreventement d'un panneau de mur de longueur $l_i \geq h/4$ est :

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd}}{s} \cdot l_i \cdot c_i$$

avec :

l_i : longueur du panneau,

$F_{f,Rd}$: résistance de calcul au cisaillement de l'organe de fixation du panneau sur l'ossature

La résistance au cisaillement de l'organe de fixation sur l'ossature, déterminée conformément au §8 de l'EC5, peut être augmentée par un facteur de 1,2.

s : entraxe constant entre organes de fixations

c_i : coefficient d'élancement du panneau,

$$c_i = \frac{2 \cdot l_i}{h}$$

$$\begin{cases} c_i = 1, & \text{pour } l_i > \frac{h}{2} \\ c_i = \frac{2 \cdot l_i}{h}, & \text{pour } \frac{h}{4} \leq l_i \leq \frac{h}{2} \end{cases}$$

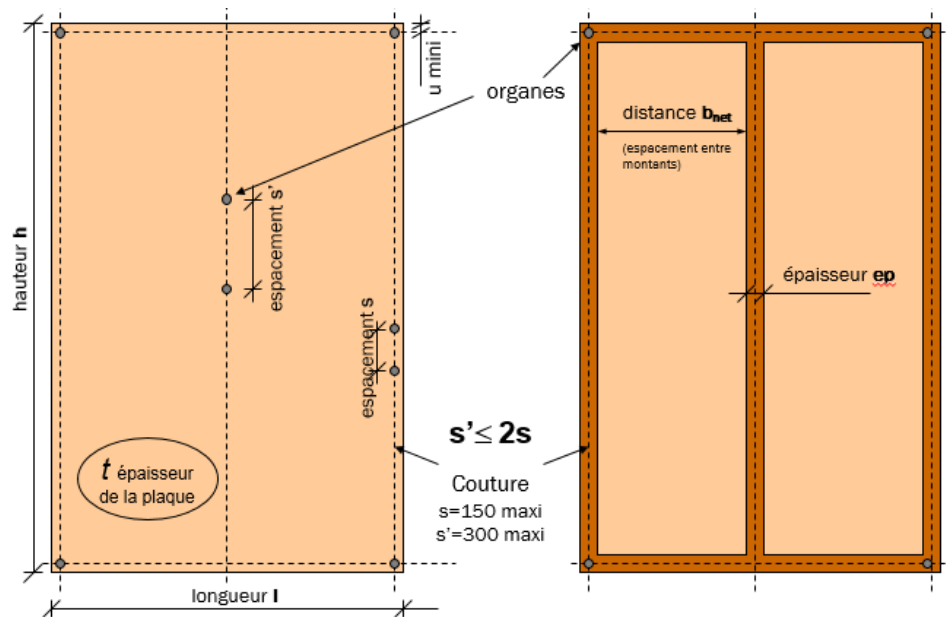


Figure 58 Panneau de contreventement

- Lorsqu'un voile travaillant est présent sur les deux faces de l'ossature du diaphragme, la contribution de chaque voile à la résistance au contreventement du diaphragme est prise en compte de la manière suivante :

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,face1} + k F_{v,Rd,face2}$$

avec

$F_{v,Rd, face 1}$: résistance au contreventement de la face 1, la plus résistante ($F_{v,Rd, face 1} \geq F_{v,Rd, face 2}$)

$F_{v,Rd, face 2}$: résistance au contreventement de la face 2, la moins résistante ($F_{v,Rd, face 1} \geq F_{v,Rd, face 2}$)

k : coefficient de contribution à la résistance au contreventement de la face la plus faible, à prendre en compte selon tableau suivant

Cas	k
Voiles travaillants et organes de fixation de même type et de même dimension	1
Voiles travaillants différents mais fixations de même module de glissement (k_{ser})	0,75
Autres cas	0,5

Tableau 2 Valeurs du coefficient k de contribution à la résistance au contreventement de la face la plus faible en fonction des caractéristiques de chaque face d'un panneau de contreventement avec voile travaillant de chaque côté

- Le flambement dans le plan du voile de contreventement est négligé si l'épaisseur du voile, t , respecte la condition suivante :

$$t \geq 100 b_{net}$$

avec

b_{net} : espacement net entre montants

- Les efforts normaux en pied des montants d'extrémité d'un diaphragme de mur rigidement ancrés pour s'opposer au soulèvement par rotation sont :

$$F_{i,t,Ed} = F_{i,c,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed}}{l_i} \cdot h$$

avec :

$F_{i,v,Ed}$: effort de contreventement agissant sur le panneau

$F_{i,t,Ed}$: effort de traction en pied du montant « au vent »

$F_{i,c,Ed}$: effort de compression en pied du montant « sous le vent »

DEPLACEMENTS EN TETE DE MUR

L'Eurocode 5 ne fournit pas de méthode de calcul du déplacement horizontal en tête d'un diaphragme de mur soumis à un effort de contreventement.

La raideur théorique en contreventement $K_{ser,p}$, d'un panneau peut être déterminée suivant la méthode de calcul décrite dans le guide AQCEM - Ossature bois, qui donne la relation suivante :

$$K_{ser,p} = \left(\frac{2}{\frac{K_{ser,f}}{s} \left(b_p + \frac{h}{3} \right) + \frac{K_{ser,f}}{s'} \frac{h}{6}} + \frac{2h^2}{\frac{K_{ser,f}}{s} b_p^2 \left(h + \frac{b_p}{3} \right)} \right)^{-1}$$

où

b_p : largeur du panneau

h : hauteur du diaphragme (ou distance entre les traverses haute et basse)

s : espacement des fixations du voile travaillant en périphérie

s' : espacement des fixations du voile travaillant sur le montant intermédiaire

$K_{ser,f}$: module de glissement de la fixation déterminée conformément au § 7.1 de l'EC5,

Organes de fixation panneau/ossature	Module de glissement $K_{ser,f}$ (N/mm)
Pointes (sans avant-trous), vis	$\sqrt{\rho_{m1} \cdot \rho_{m2}}^{1,5} d^{0,8} / 30$
Agrafes	$\sqrt{\rho_{m1} \cdot \rho_{m2}}^{1,5} d^{0,8} / 40$

Tableau 3 Valeurs de module de glissement d'assemblage k_{ser} en fonction de l'organe de fixation

d : diamètre de l'organe en mm

ρ_{m1} : masse volumique moyenne du panneau de contreventement

ρ_{m2} : masse volumique moyenne du bois d'ossature

Pour déterminer le déplacement total en tête de diaphragme de mur, u , les glissements des ancrages du diaphragme doivent également être prise en compte :

$$u = u_p + u_{Anc}$$

où

u_p : déplacement lié à la raideur en contreventement du panneau, $u_p = 1/K_{ser,p}$

u_{Anc} : déplacement lié aux glissements d'ancrages.

Suivant le §9.2.5.3 de l'Eurocode5, le déplacement horizontal en tête de mur doit être inférieur ou égal à $h/500$.

4.6. VERIFICATION EN ZONE SISMIQUE

PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT

Conformément au §8 de l'EC8 + NA, les panneaux de murs ossature bois avec voile de contreventement fixé sur l'ossature à l'aide de pointes, agrafes ou vis, peuvent être dimensionnés suivant le principe de comportement de structure dissipatif.

La capacité des murs ossature bois à résister aux actions sismiques au-delà de leur domaine élastique par plastification des assemblages voile de contreventement/ossature, est prise en compte dans un modèle élastique par l'application d'un coefficient de comportement q pouvant être pris au maximum égal à 3.

Suivant le §8.3 de l'EC8, la classe de ductilité H (élevée) permettant de prendre une valeur de coefficient de comportement $q=3$ peut être retenue sans autres justifications à condition de respecter les dispositions suivantes :

- Diamètre maximum des organes de fixation : 3,1 mm
- Epaisseur minimale du panneau : 4 d

Le comportement dissipatif des murs est considéré vérifié en utilisant en voile de contreventement les types de panneaux suivants :

- panneaux de particules ayant une masse volumique d'au moins 650 kg/m³ ;
- panneaux de contreplaqué d'au moins 9 mm d'épaisseur ;
- panneaux de particules ou de fibres d'au moins 12 mm d'épaisseur*.
- les panneaux OSB d'au moins 12 mm d'épaisseur *.

*ces solutions, moins restrictives que celles figurant dans l'EC8, sont reconnues comme satisfaisantes.

Si ces règles de moyen ne sont pas respectées, la justification du comportement dissipatif nécessite une évaluation spécifique du niveau de ductilité du mur de contreventement.

Pour permettre la dissipation d'énergie par plastification des organes d'assemblage voile de contreventement /ossature, on applique le principe de dimensionnement en capacité. Cela consiste à hiérarchiser les résistances en s'assurant que la plastification du voile de contreventement puisse être atteinte sans endommagement prématuré des différents éléments assemblés et des assemblages devant assurer la bonne transmission des efforts dans le voile, en particulier :

- les ancrages des diaphragmes de mur destinés à reprendre et transmettre aux ouvrages sous-jacents les efforts tranchants à la base et les efforts de soulèvement ;
 - les assemblages de liaison murs/planchers ;
 - les éléments d'ossature eux-mêmes.
- Ainsi les ancrages doivent être dimensionnés en « sur-résistance » par rapport au voile de contreventement en vérifiant la relation :

$$\gamma_{Rd} \cdot F_{Ad,Anc} \cdot \Omega \leq F_{Rd,Anc}$$

où

γ_{Rd} : coefficient de sur-résistance, pris égal à 1,3 pour les MOB en classe de ductilité H

$F_{Ad,anc}$: effort de calcul dans l'ancrage dû à l'action sismique

$F_{Rd,anc}$: résistance de calcul de l'ancrage

$$\Omega = \frac{F_{v,Rd}}{F_{v,Ad}} \leq q$$

$F_{i,v,Rd}$: résistance au contreventement du voile

$F_{v,Ad}$: effort de contreventement dans le voile dû à l'action sismique

- Les assemblages des liaisons murs/plancher et les éléments d'ossature doivent être dimensionnés en « sur-résistance » en vérifiant la relation :

$$\gamma_{Rd} \cdot F_{Ad} \leq F_{Rd}$$

où

γ_{Rd} : coefficient de sur-résistance, pris égal à 1,3 pour les MOB en classe de ductilité H

F_{Ad} : effort de calcul dans l'élément ou l'assemblage dû à l'action sismique

F_{Rd} : résistance de calcul de l'élément ou l'assemblage

4.7. ASSEMBLAGES

PRINCIPES DE CALCUL DE RESISTANCE DES ASSEMBLAGES DE TYPE TIGE EN CISAILEMENT

Les principes de calcul de la résistance au cisaillement d'un assemblage bois/bois, bois/panneau et bois/métal définis dans le §8 de l'EC5 sont récapitulés ci-dessous.

Notations

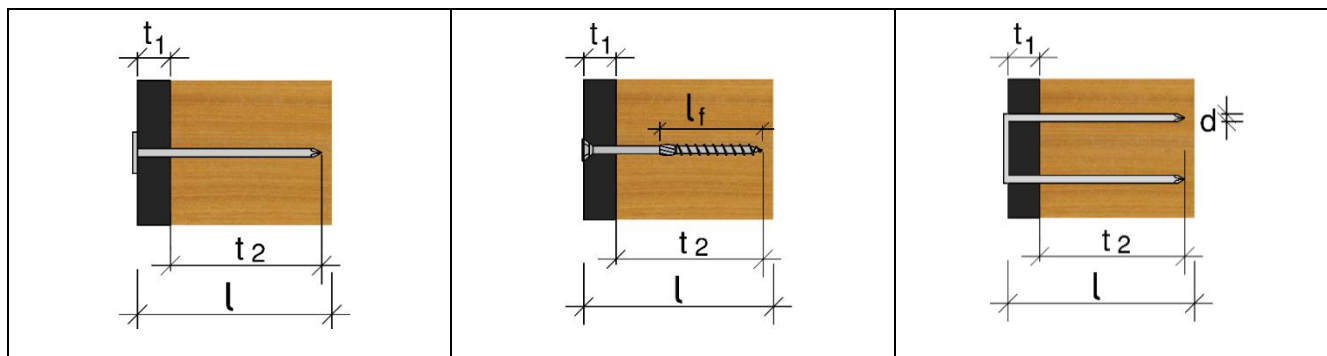


Figure 59 Assemblage en simple cisaillement par pointe lisse (gauche), vis (milieu) ou agrafe (droite)

t_1 : épaisseur de l'élément du côté de la tête (en mm)

t_2 : longueur de pénétration de l'organe dans l'élément de structure à assembler, côté pointe (en mm)

l : longueur de l'organe d'assemblage

l_{ef} : longueur de pénétration de la partie filetée (en mm)

t_{pen} : longueur de pénétration de l'organe ou de la partie non lisse de l'organe dans l'élément de structure à assembler du côté de la pointe (en mm)

d : diamètre nominal de l'organe

d_h : diamètre de la tête de l'organe (en mm),

$d_h > 1,7 d$ pour les pointes en assemblage bois/bois

$d_h \geq 2 d$ pour les pointes en assemblage panneau/bois

d_h peut être pris égal à $d.b/2$ pour les agrafes

- Valeur caractéristique de la résistance par organe d'un assemblage bois/bois ou bois/panneau en simple cisaillement ($F_{v,R,k}$)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \quad (a) \\ \frac{f_{h,2,k} t_2 d}{1 + \beta} \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$

Equation(s) EC5 (8.6)

avec

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$$

$f_{h,1,k}$: Portance locale dans l'élément 1, côté tête (en N/mm²)

$f_{h,2,k}$: Portance locale dans l'élément 2, côté pointe (en N/mm²)

$M_{y,Rk}$: Moment d'écoulement plastique (en N.mm)

$F_{ax,Rk}$: Capacité valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement de l'organe (en N)

Dans les équations (c),(d),(e),(f) ci-dessus, le premier terme est la capacité résistante en cisaillement, appelée partie de Johansen. Le second terme $F_{ax,Rk}/4$ correspond à la résistance supplémentaire apportée par l'effet corde. Cette contribution est plafonnée aux pourcentages suivant de la partie de Johansen :

- Pointes lisses de section circulaire : 15%
- Pointes lisses de section carrée ou cannelée : 25%
- Pointes profilées (crantées, annelées) : 50%
- Vis : 100%

Pour les agrafes, la valeur caractéristique de la résistance en cisaillement par agrafe correspond à celles de deux pointes de diamètre égal à celui des pointes de l'agrafe, à condition que l'angle θ entre la tête de l'agrafe et le fil du bois soit supérieur à 30°.

Si l'angle θ est inférieur ou égal à 30°, la valeur caractéristique de la résistance en cisaillement ainsi calculée est multipliée par 0,7.

- Valeur caractéristique de la résistance par organe d'un assemblage bois/métal en simple cisaillement ($F_{v,Rk}$)
 - Plaque métallique mince (épaisseur $\leq 0,5d$)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \quad (a) \\ 1,15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (b) \end{array} \right.$$

Equation(s) EC5 (8.9)

- Plaque métallique épaisse (épaisseur $\geq d$)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \quad (c) \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} t_1^2 d}} - 1 + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right] \quad (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \end{array} \right.$$

Equation(s) EC5 (8.10)

▪ Portance locale

Portance locale dans les panneaux (à condition que $d_h \geq 2d$)

	$f_{h,k}$
Contreplaqué	$0,11 \rho_k d^{-0,3}$
OSB, Panneaux de Particules	$65 d^{-0,7} t_1^{0,1}$
Panneaux de fibres	$30 d^{-0,3} t_1^{0,6}$

Equation(s) EC5, (8.20) et (8.22)

Portance locale dans le bois ou LVL :

- pour des organes de diamètre $d \leq 8\text{mm}$

		$f_{h,k} \text{ (N/mm}^2\text{)}$
sans pré-perçage	Bois LVL avec fixation sur la face	$0,082 \rho_k d^{-0,3}$
avec pré-perçage		$0,082 (1-0,01d) \rho_k$

Equation(s) EC5, (8.15) et (8.16)

LVL-C avec fixation sur le chant*	Valeur déclarée par le fabricant
-----------------------------------	----------------------------------

avec

 ρ_k : masse volumique caractéristique du bois ou matériau à base bois (en kg/m^3)

- Pour les organes de diamètre $d > 8 \text{ mm}$ (boulons), la portance locale dépend de l'angle α entre l'effort et le fil du bois :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 (1 - 0,01d) \rho_k}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

avec k_{90} , donné dans le tableau suivant:

	k_{90}
Bois résineux	$1,35 + 0,015 d$
LVL	$1,30 + 0,15 d$
Bois feuillus	$0,90 + 0,015 d$

▪ Moment d'écoulement plastique ($M_{y,Rk}$)

		$M_{y,Rk} \text{ (N/mm)}$
Pointes de section circulaire, vis	$0,3 f_{u,k} d^{2,6}$	ou valeur déclarée par le fabricant
Pointes de section carrée	$0,45 f_{u,k} d^{2,6}$	

Agrafes	150 d ³	
---------	--------------------	--

Equation(s) EC5 (8.14) et (8.29)

avec

$f_{u,k}$: résistance à la traction du fil d'acier (en N/mm²)

- Capacité résistante caractéristique à l'arrachement de l'organe ($F_{ax,Rk}$)

Pour les pointes :

	pointes lisses	pointes non lisses	
$F_{ax,Rk} = \min$	$f_{ax,k} d t_{pen}$		Résistance à l'arrachement côté pointe
	$f_{ax,k} d t_1 + f_{head,k} d_h^2$	$f_{head,k} d_h^2$	Résistance à la traversée de tête

Equation(s) EC5 (8.23) et (8.24)

avec :

$f_{ax,k}$: paramètre de valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement (en N/mm²)

Paramètre de valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement $f_{ax,k}$ (N/mm ²)			
Pointes lisses		Pointes non lisses	
$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2$, Equation EC5 (8.25) ou valeur déclarée par le fabricant		valeur déclarée par le fabricant, avec $f_{ax,k} \geq 4,5$ N/mm ²	
si $t_2 \geq 12d$	$f_{ax,k}$	si $t_2 \geq 8d$	$f_{ax,k}$
si $8d \leq t_2 < 12d$	$f_{ax,k} \cdot (t_2/4d-2)$	si $t_2 < 8d$	$f_{ax,k} \cdot (t_2/2d-3)$

$f_{head,k}$: valeur caractéristique de la résistance à la traversée de la tête

$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2$, Equation EC5 (8.26).

ou valeur déclarée par le fabricant.

Pour les vis :

$F_{ax,Rk} = \min$	$f_{ax,k} d l_{ef} k_{ax} \cdot (\rho_k/\rho_a)^{0,8}$	Résistance à l'arrachement côté pointe
	$f_{head,k} d_h^2 \cdot (\rho_k/\rho_a)^{0,8}$	Résistance à la traversée de tête
	$f_{tens,k}$	Résistance à la traction de la vis

Equation(s) EC5 (8.40)

avec :

$f_{ax,k}$: paramètre de valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement (en N/mm²), déclarée par le fabricant suivant EN 14592, associée à la masse volumique ρ_a

k_{ax} : coefficient qui dépend de l'angle α entre l'axe de la vis et le fil du bois, avec $\alpha \geq 30^\circ$,

- calculée par la relation suivante : $k_{ax} = 1/(1,2\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)$,
- ou déclarée par le fabricant dans son ETE ou ATE

$k_{ax}=1$, dans le cas général des assemblages où les vis sont insérées perpendiculairement aux pièces de bois ($\alpha = 90^\circ$).

d_h : diamètre de la tête (en mm)

$f_{head,k}$: valeur caractéristique de la résistance à la traversée de tête (en N/mm²), déclarée par le fabricant suivant EN 14592 ou ETE ou ATE, associée à la masse volumique ρ_a

$f_{tens,k}$: capacité de traction caractéristique de la vis (en N),
déclarée par le fabricant suivant EN 14592 ou ETE ou ATE, associée à la masse volumique ρ_a

■ Effet de nombre

Suivant le fil du bois, la capacité résistante d'une file d'organes est déterminée à partir du nombre efficace d'organes par la relation suivante :

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad \text{Equation EC5 (8.1)}$$

avec

$F_{v,Rk}$: valeur caractéristique de la résistance en cisaillement par organe parallèle au fil

n_{ef} : nombre efficace en cisaillement à prendre en compte dans une file suivant le fil du bois, déterminé en fonction du nombre d'organes dans la file suivant la relation :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad \text{Equation EC5 (8.17)}$$

avec

n : nombre d'organes dans une file parallèle au fil du bois

k_{ef} : coefficient donné en fonction de l'espace entre organes a_1 , dans le tableau ci-dessous,

a_1	k_{ef}
14 d	1
10 d	0,85
7 d	0,7
4 d*	0,5

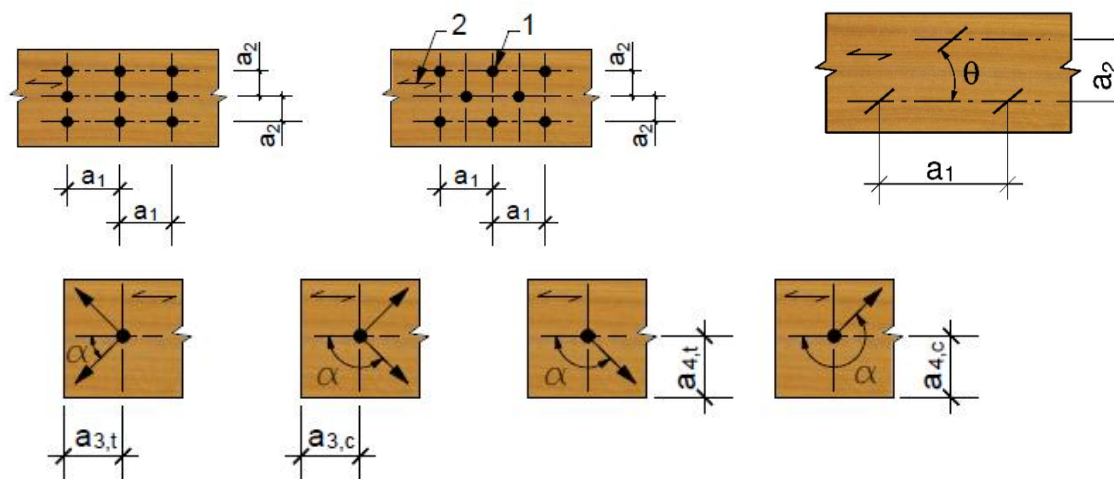
*avec avant-trou

DISTANCES AUX BORDS ET ESPACEMENTS ENTRE ORGANES

■ Notations

- 1 Organe d'assemblage
- 2 Direction du fil du bois

θ : angle entre la tête de l'agrafe et le fil du bois



α : angle entre la direction de l'effort et le fil du bois

Figure 60 Espacements entre organes et distances aux bords

$a_{3,t}$: distance d'extrémité chargée

$a_{4,t}$: distance de rive chargée

$a_{3,c}$: distance d'extrémité non chargée

$a_{4,c}$: distance de rive non chargée

- Les valeurs minimales d'espacement entre organes et distances aux bords définies par l'EC5-§8.3 en considérant une direction d'effort parallèle ($\alpha=0^\circ$) ou perpendiculaire ($\alpha=90^\circ$) au fil du bois, sont présentés dans les tableaux suivants. :

Espacements et distances		Pointes, vis, sans avant-trou		Pointes, vis, avec avant-trou	Agrafes		Boulons
		bois de masse volumique $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ et lamibois avec fixation sur face	bois de masse volumique $420 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$ et lamibois avec fixation sur chant		$\theta \geq 30^\circ$	$\theta < 30^\circ$	
a_1	$\alpha=0^\circ$	10 d, si $d < 5 \text{ mm}$ 12 d, si $d \geq 5 \text{ mm}$	15 d	5 d	15 d	20 d	5 d
	$\alpha=90^\circ$	5 d	7 d	4 d	10 d	15 d	4 d
a_2	$\alpha=0^\circ$	5d	7d	3 d	15 d		4 d
	$\alpha=90^\circ$			4 d			
$a_{3,t}$		15 d	20 d	12 d	20 d		max (7d ; 80mm)
$a_{3,c}$		10 d	15 d	7d	15 d		4 d
$a_{4,t}$		7 d, si $d < 5 \text{ mm}$ 10 d, si $d \geq 5 \text{ mm}$	9 d, si $d < 5 \text{ mm}$ 12 d, si $d \geq 5 \text{ mm}$	5 d, si $d < 5 \text{ mm}$ 7 d, si $d \geq 5 \text{ mm}$	20 d		4 d
$a_{4,c}$		5 d	7 d	3 d	10 d		3 d

Tableau 4 Valeurs minimales d'espacement entre organes et distances aux bords

Pour certaines vis auto-perceuses, il est possible d'appliquer les espacements et distances minimaux pour pointes et vis avec avant-trou sans nécessité de pré-percer. Ces dispositions sont données dans l'ETE du fabricant.

Dans le cas des assemblages bois/panneaux les valeurs minimales d'espacements entre organes a_1 et a_2 données dans le tableau précédent sont à multiplier par 0,85.

Les distances aux bords restent inchangées à l'exception des panneaux de contreplaqué où celles-ci peuvent être prises égales à 7d pour les rives chargées et 3d pour les rives non chargées.

Dans le cas des assemblages bois/métal, les valeurs minimales d'espacements entre organes a_1 et a_2 données dans le tableau précédent sont à multiplier par 0,7.

FIXATION DU PANNEAU DE CONTREVENTEMENT A L'OSSATURE

La résistance de la fixation du panneau de contreventement à l'ossature est établie conformément au §8 de l'EC5, suivant les principes décrits précédemment pour un assemblage simple cisaillement bois/panneau.

Comme indiqué au §4.5, on considère que l'effort à reprendre par les fixations de la couture est uniforme et agit parallèlement aux rives du panneau de contreventement, dans le sens du fil du bois des éléments d'ossature.

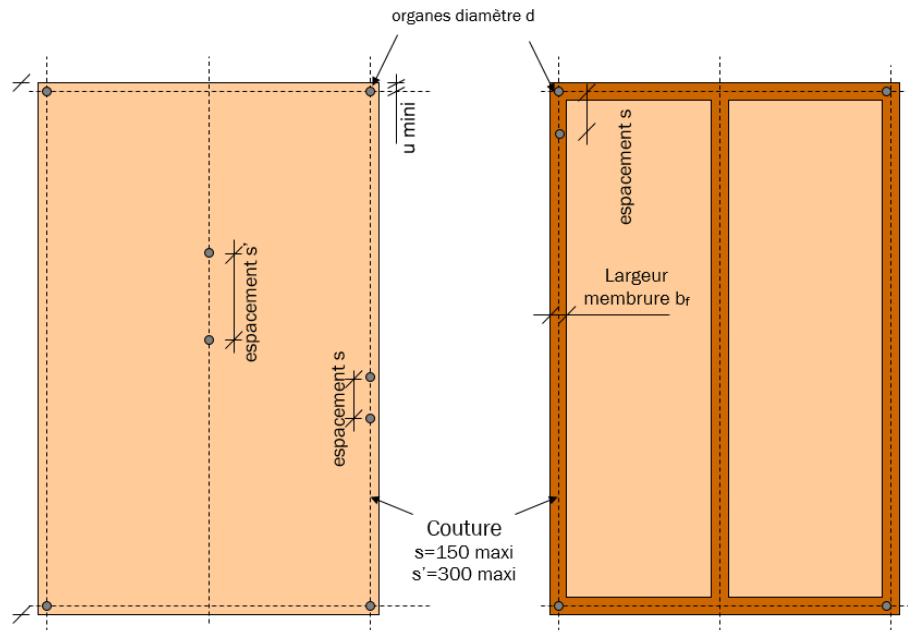


Figure 61 Fixations de couture d'un panneau de contreventement sur l'ossature

▪ Dispositions minimales :

L'espacement minimal entre organes de fixation, $s_{\min}$, permettant de ne pas tenir compte de l'effet de nombre est 14 d.

Le DTU 31.2 prescrit :

- un espacement maximal des fixations sur la périphérie, $s_{\max}$ de 150 mm.
- un espacement maximal des fixations sur le montant intermédiaire, s' , limité à $2s$.
- une distance minimale aux rives, $u_{\min}$, supérieure ou égale à 10 mm quel que soit le type de fixation et le diamètre de l'organe ;
- une profondeur minimale de pénétration de l'organe du côté de la pointe, $t_{2\min}$, quel que soit le diamètre de l'organe :

$t_{2\min} = 35$ mm pour les pointes et les agrafes

$t_{2\min} = 25$ mm pour les vis

▪ Exemples de valeurs de valeur caractéristique de la résistance

Des exemples de valeurs de valeur caractéristique de la résistance au cisaillement de fixation panneau/bois, sont donnés dans le tableau suivant :

Epaisseur panneau	OSB, Panneau Particules sur C18 ancrage mini $t_2 \geq 35$ mm Valeur caractéristique de la résistance en cisaillement fixation $F_{v,Rk}$ (daN)					
	Pointes lisses				Agrafes	
t_1 (mm)	d=2,1 mm	d=2,5 mm	d=2,8 mm	d=3,1 mm	d=1,5 mm	d=1,8 mm
9	41	49	56	62	57	71
12	48	56	62	68	58	79
Epaisseur panneau	Contreplaqué sur C18 ancrage mini $t_2 \geq 35$ mm Valeur caractéristique de la résistance en cisaillement fixation $F_{v,Rk}$ (daN)					
	Pointes lisses				Agrafes	
t_1 (mm)	d=2,1 mm	d=2,5 mm	d=2,8 mm	d=3,1 mm	d=1,5 mm	d=1,8 mm
9	41	50	58	65	56	69
12	48	57	65	72	56	78
Epaisseur panneau	OSB, Panneau Particules sur C24 ancrage mini $t_2 \geq 35$ mm Valeur caractéristique de la résistance en cisaillement fixation $F_{v,Rk}$ (daN)					
	Pointes lisses				Agrafes	
t_1 (mm)	d=2,1 mm	d=2,5 mm	d=2,8 mm	d=3,1 mm	d=1,5 mm	d=1,8 mm
9	42	51	58	64	60	74
12	50	58	65	71	60	82
Epaisseur panneau	Contreplaqué sur C24 ancrage mini $t_2 \geq 35$ mm Valeur caractéristique de la résistance en cisaillement fixation $F_{v,Rk}$ (daN)					
	Pointes lisses				Agrafes	
t_1 (mm)	d=2,1 mm	d=2,5 mm	d=2,8 mm	d=3,1 mm	d=1,5 mm	d=1,8 mm
9	42	52	60	68	59	72
12	49	59	67	75	59	82

Tableau 5 Exemples de valeurs de valeur caractéristique de la résistance au cisaillement de fixation panneau/bois

ASSEMBLAGES ENTRE MONTANTS

Lorsque les diaphragmes de mur sont constitués de plusieurs panneaux assemblés sur site, l'assemblage entre montants doit permettre de transférer l'effort de cisaillement entre les panneaux.

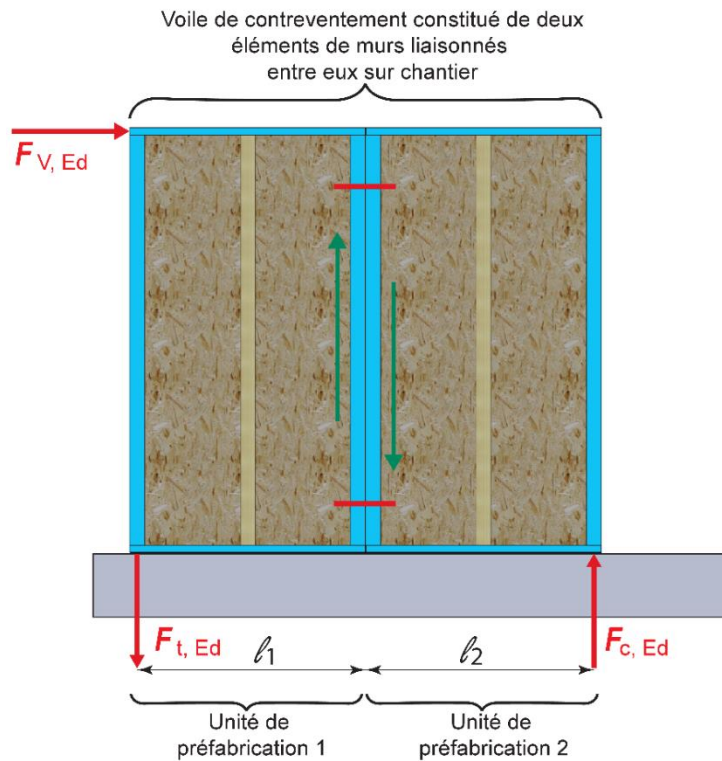


Figure 62 Assemblage de montants pour reprise de l'effort de cisaillement entre deux éléments de murs

L'assemblage doit être justifié pour reprendre un effort de cisaillement égal à l'effort de traction en pied de montant d'extrémité du panneau sous l'effort de contreventement, $F_{t, Ed} = F_{V, Ed} \cdot h / l$

L'assemblage entre montants poutres en I contigus peut s'effectuer :

- par fixation au droit des âmes, par l'intermédiaire de blocs de calage ;
- par fixation directe à travers les membrures, à l'aide de vis ou de pointes.



Figure 63 Assemblage par l'intermédiaire de blocs de calage entre montants

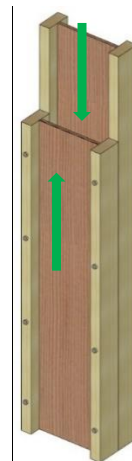


Figure 64 Assemblage direct par fixations au droit des membrures

Le dimensionnement des organes de fixation est établi conformément au §8 de l'EC5.

- Dans le cas d'une liaison au droit des âmes par l'intermédiaire de bloc de calage, les organes de fixation peuvent travailler en double cisaillement ou en simple cisaillement avec recouvrement.
- Dans le cas d'une liaison directe au droit des membrures, les organes de fixation travaillent en simple cisaillement.

La distance minimale aux rives non chargées devant être supérieure ou égale à $a_{4,c}$, le diamètre des organes est limité par la hauteur des membrures h_f , afin de respecter : $a_{4,c} \geq h_f/2$.

Des exemples de valeurs correspondantes en fonction du type de fixation, sont données dans le tableau suivant :

	Pointes, vis, sans avant-trou		Pointes, vis, avec avant-trou
	$\rho k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 < \rho k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
$a_{4,c}$	5 d	7 d	3 d
$d_{\max}$	$h_f/10$	$h_f/14$	$h_f/6$
pour $h_f=36 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	3,6	2,6	6,0
pour $h_f=45 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	4,5	3,2	7,5
pour $h_f=60 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	6,0	4,3	10

Tableau 6 Exemples de valeurs maximales de diamètre de fixation en fonction de la hauteur de la membrure

FIXATION DE LA MURAILLÈRE EN BALLOON-FRAME

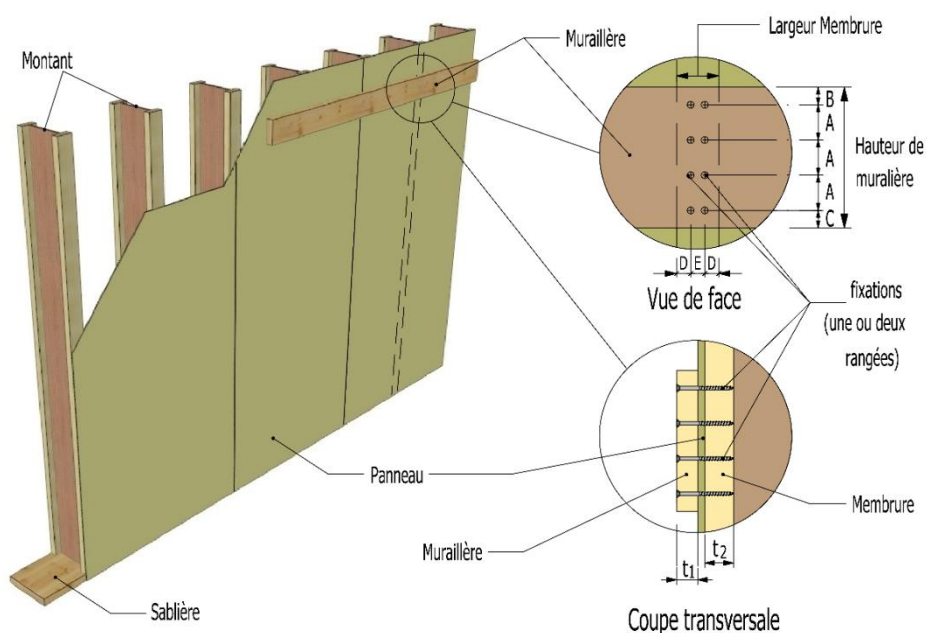


Figure 65

▪ Dispositions minimales :

L'assemblage étant soumis à un effort de cisaillement de direction verticale, les espacements et distances minimales à respecter, telles qu'illustrés sur la figure ci-dessus et le diamètre maximal correspondant, sont donnés dans le tableau suivant, en fonction du type de fixation :

	Pointes, vis, sans avant-trou		Pointes, vis, avec avant-trou
	$\rho \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 < \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
A	10 d, si $d < 5 \text{ mm}$ 12 d, si $d \geq 5 \text{ mm}$	15 d	5 d
B	15 d	20 d	12 d
C	10 d	15 d	7 d
D	5 d	7 d	3 d
E	5 d	7 d	4 d
$d_{\max}$	$b_f/15$	$b_f/21$	$b_f/10$
pour $b_f=45 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	3,0	2,1	4,5
pour $b_f=60 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	4,0	2,9	6,0
pour $b_f=90 \text{ mm}$, $d_{\max}(\text{mm})$	6,0	4,3	9,0

Tableau 7 Exemples de valeurs maximales de diamètre de fixation en fonction de la largeur de la membrane

TRANSMISSION DES EFFORTS DE LIAISON PLANCHER/MUR

Si le plancher a une fonction diaphragme, la liaison entre le plancher et les murs périphériques doit permettre de transférer les efforts horizontaux. Le long de chaque mur, la résistance en cisaillement des fixations doit être au moins égale à celle du mur en contreventement :

$$\frac{F_{v,Rd,fix}}{s} \leq \frac{F_{Rd,mur}}{l}$$

avec

$F_{v,Rd,fix}$: résistance de calcul en cisaillement par organe de fixation

s : espacement entre fixations

$F_{v,Rd,mur}$: résistance de calcul en contreventement du mur

l : longueur du mur

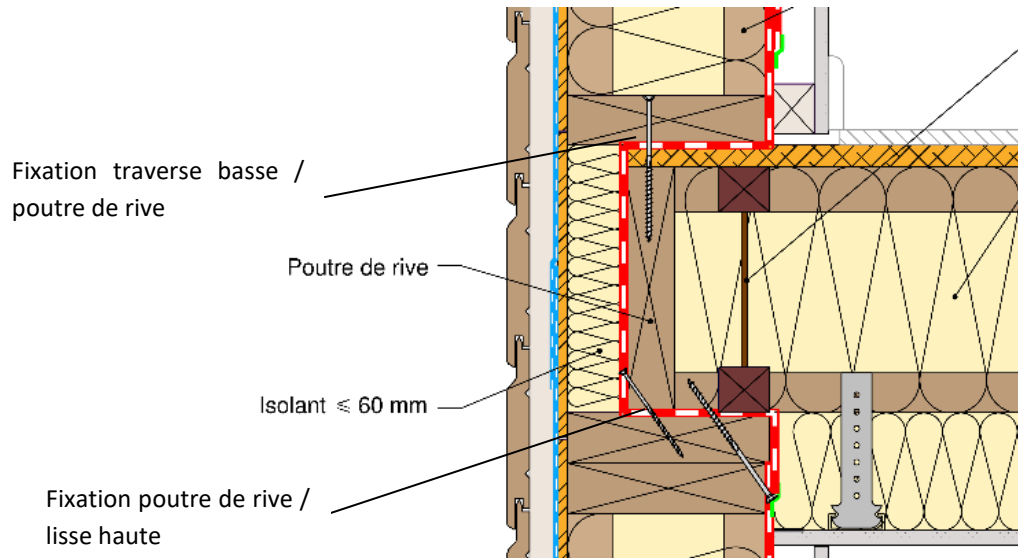


Figure 66 Exemple de détail de liaison mur/plancher avec fixations pour assurer la transmission des efforts de contreventement

4.8. ANCRAGES

- Résistance au soulèvement

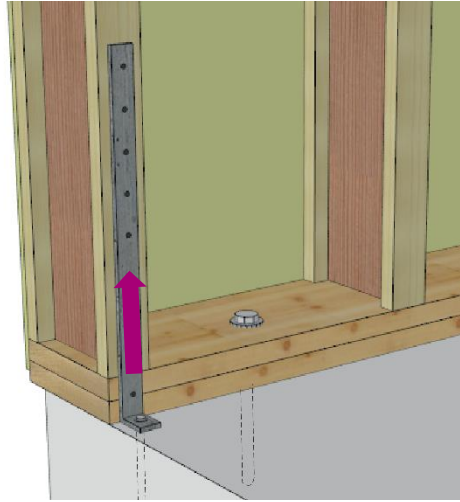


Figure 67 Ancrage du montant d'extrémité de diaphragme par équerre anti-soulèvement

Un ancrage destiné à s'opposer au soulèvement du montant doit être disposé à chaque extrémité de diaphragme de mur.

La justification de la résistance à la traction de l'ancrage, $F_{t,R,d,Anc}$, peut être établie en vérifiant la relation suivante :

$$F_{t,Ed} - F_{c,Ed,Stab} \leq F_{t,Rd,Ancrage}$$

avec :

$F_{t,Ed}$: effort de traction dans l'ancrage du montant « au vent » dû à l'effort de contreventement

$F_{c,Ed,Stab}$: effort de compression dans le montant « au vent » dû aux charges stabilisatrices

L'assemblage de l'équerre sur le montant est à justifier conformément au §8 de l'EC5, suivant les principes décrits au §4.7, pour un assemblage simple cisaillement bois/métal.

La résistance à l'arrachement dans le béton est à mener conformément à l'ETE du dispositif d'ancrage.

- Reprise des efforts horizontaux

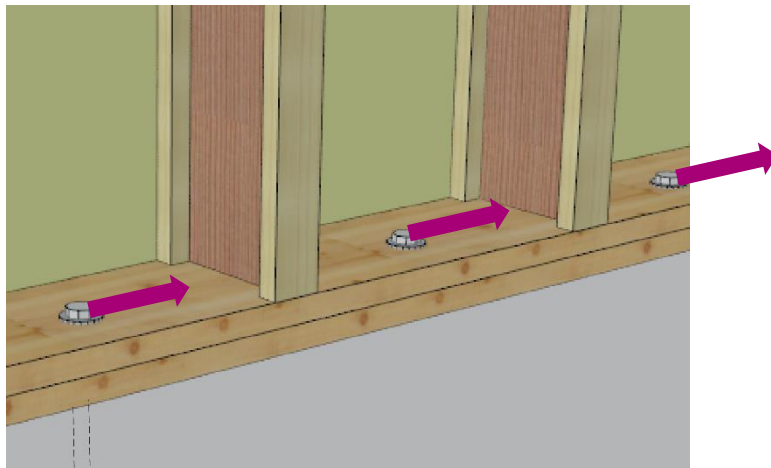


Figure 68 Ancrages en pied de mur pour transférer l'effort de contreventement à l'ouvrage sous-jacent

La résistance des ancrages régulièrement espacés en pied de mur et destinés à reprendre l'effort effort tranchant à la base du mur et à le transmettre aux ouvrages sous-jacents, doit être vérifiée par la relation suivante :

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd,Ancrage,tot}$$

Avec

$F_{v,Ed}$: effort de calcul de contreventement agissant en tête de mur,

$F_{v,Rd,Ancrage,tot}$: résistance totale en cisaillement des ancrages, correspondant à la somme des résistances de chaque ancrage.

La résistance au cisaillement dans le bois est à justifier conformément au §8 de l'EC5, suivant les principes décrits au §4.7, pour un assemblage simple cisaillement bois/bois ou double cisaillement.

La résistance au cisaillement dans le béton est à mener conformément à l'ETE du dispositif d'ancrage.

4.9. OUVERTURES ET CHEVETRES

PRINCIPE DES CHEVETRES

Les chevêtres doivent être conçus de manière à transférer les charges qui s'appliquent au-dessus des baies sans aucun report sur les menuiseries.

Les montants d'appui de linteau sont dimensionnés pour reprendre les réactions verticales d'appui du linteau.

Les charges horizontales de vent perpendiculaires au mur sont transmises aux montants latéraux continus.

Dans le cas de montants poutres en I, les justifications sont menées comme décrit au § 4.3 pour les montants eux-mêmes et au § 4.4 pour la traverse basse sous les montants. La compression transversale de la traverse de linteau et de la traverse d'appui le cas échéant doit également être vérifiée.

En fonction de la largeur d'ouverture, il peut être nécessaire de doubler ou tripler les montants. L'utilisation de montants de section rectangulaire est à privilégier.

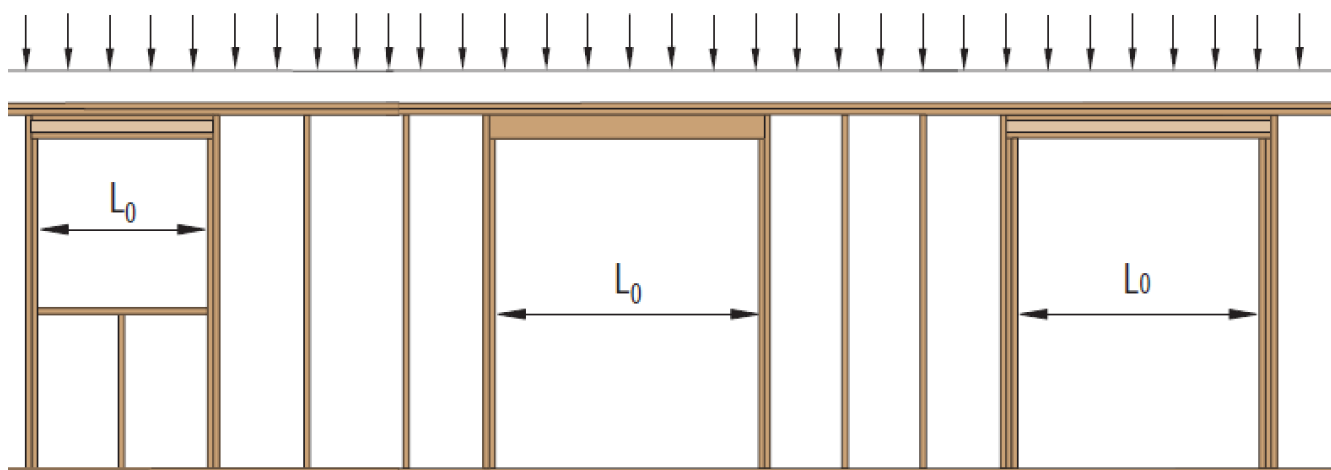


Figure 69 Chevêtres de mur

LINTEAUX

Le dimensionnement des linteaux doit être effectué conformément à l'Eurocode 5, vis-à-vis des charges verticales et des charges horizontales de vent le cas échéant.

Conformément au DTU 31.2, la flèche finale doit être inférieure au 1/500 de la portée, sans dépasser 10 mm.

Dans le cas de linteaux réalisés en poutres en I, les vérifications pourront être établies à partir des propriétés de résistances caractéristiques et de rigidité de la poutre en I déclarées par le fabricant dans l'ETE ou l'Avis Technique :

- Pour les justifications de résistance ELU :
 - Moment résistant caractéristique, $M_k \geq M_d \gamma_M / k_{mod}$
avec M_d : valeur de calcul du moment de flexion maximal dans le linteau
 - Effort tranchant caractéristique, $V_k \geq V_d \gamma_M / k_{mod}$
avec V_d : valeur de calcul de l'effort tranchant maximal dans le linteau

- Valeur caractéristique de la résistance sur appui, $R_k \geq R_d \gamma_M / k_{mod}$
pour une longueur d'appui supérieure ou égale à la longueur d'appui minimale associée à la valeur caractéristique de la résistance R_k
avec V_d : valeur de calcul de la réaction maximale d'appui

▪ Pour la vérification de la flèche ELS :

La flèche du linteau reposant sur deux appuis et soumis à une charge uniformément répartie, prenant en compte la déformation due au moment fléchissant et la déformation due à l'effort tranchant est déterminée par l'expression :

$$u = u_{,m} + u_{,v} = \frac{5 q L^4}{384 EI} + \frac{q L^2}{8 GA}$$

avec

EI , rigidité en flexion

GA , rigidité en cisaillement

L : portée du linteau

q : charge uniformément répartie

La flèche instantanée est calculée sous la combinaison d'actions caractéristique.

La flèche due au fluage est calculée sous la combinaison d'actions quasi-permanente, en affectant aux rigidités en flexion et en cisaillement le facteur de déformation k_{def} correspondant, défini dans l'ETE ou l'AT.

FABRICATION, MISE EN OEUVRE

INTRODUCTION

Cette dernière partie, à destination principalement de l'entreprise, mais aussi du bureau d'études, présente les principaux éléments relatifs à la fabrication des parois (notamment dans le cadre de la préfabrication) et à leur mise en œuvre sur chantier.

5.1. FABRICATION DES PAROIS

ASSEMBLAGE DE L'OSSATURE

L'assemblage entre montants et traverses de l'ossature est assuré par deux organes d'assemblages de type pointes non lisses (crantées, torsadées ou annelées) ou vis. Un organe est disposé au droit de chaque membrure de poutre en I.

Le diamètre de l'organe est limité par la nécessité de respecter les règles de distances minimales aux bords prescrites par l'EC5, rappelées au §4.7 :

- $\min(h_f/2 ; b_f/2) \geq 5d$, soit $d \leq \min(h_f/10 ; b_f/10)$, pour pointes et vis sans pré-perçage
- $\min(h_f/2 ; b_f/2) \geq 3d$, soit $d \leq h_f/6$ pour pointes et vis avec pré-perçage

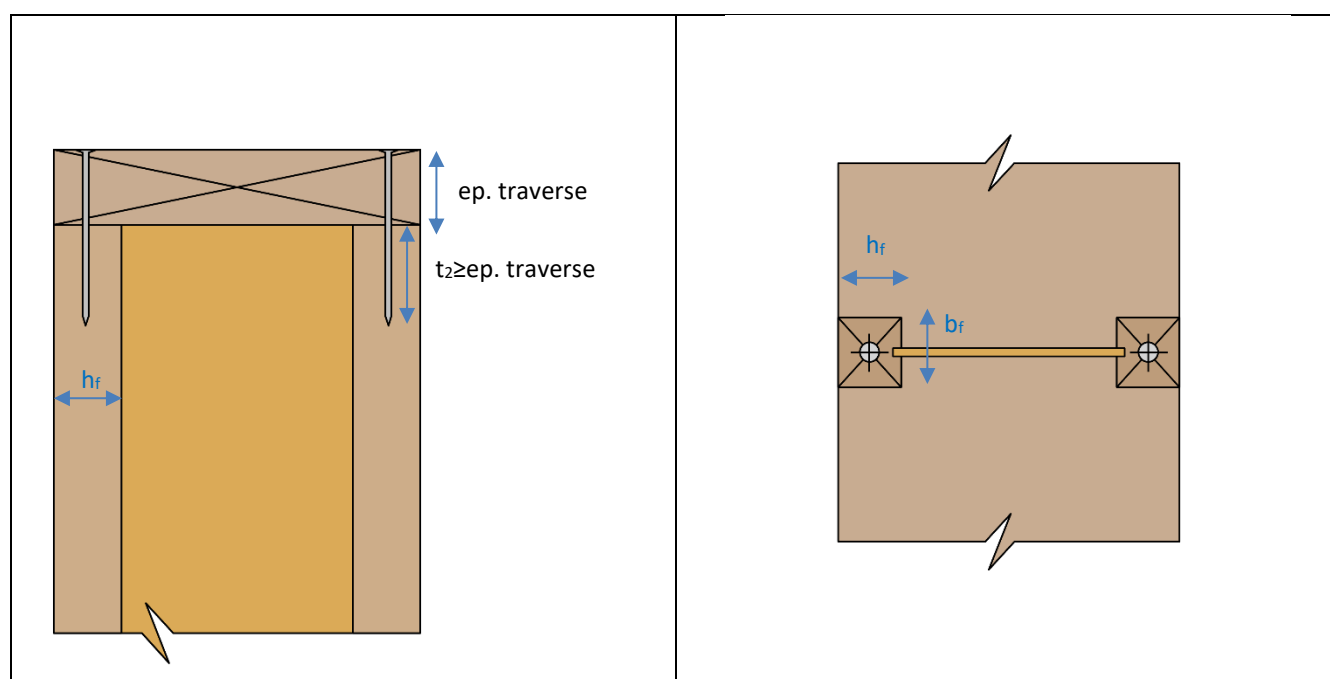


Figure 70 Assemblage de traverse sur montant poutre en I

La longueur de pénétration de l'organe dans le montant est au minimum égale à l'épaisseur de la traverse (soit une longueur totale d'organe égale au minimum du double de l'épaisseur de la traverse).

FIXATION DU VOILE DE CONTREVENTEMENT

La fixation du voile de contreventement sur l'ossature est assurée par des pointes, agrafes ou vis.

Le DTU 31.2 prescrit :

- une profondeur minimale de pénétration de l'organe dans l'ossature de :
 - 35 mm pour les pointes et agrafes
 - 25 mm pour les vis

- un espacement maximal entre les organes de fixation de 150 mm sur la périphérie et de 300 mm sur les montants intermédiaires,
- une distance minimale des fixations aux bords des panneaux de 10 mm,
- un jeu minimal fonctionnel de 4 mm entre panneaux.

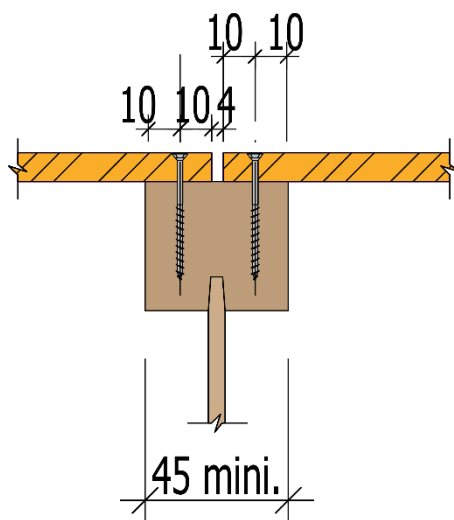


Figure 71 Fixation de deux panneaux adjacents de contreventement sur membrure de montant poutre en I

Cela implique une largeur minimale des membrures des montants poutres en I de 45 mm pour permettre la fixation de deux panneaux adjacents sur le même montant.

A noter que ces exigences du DTU, indépendantes de la nature et du diamètre de l'organe de fixation, peuvent conduire dans certains cas à déroger aux exigences de distances minimales aux bords définies au §8 de l'EC5. On considère cependant que cela ne remet pas en cause les valeurs de résistances en cisaillement de la fixation, calculées conformément à l'EC5, telles que présenté au §4.7.

CHEVETRES

Les chevêtres des éléments de murs comportant une baie (porte ou fenêtre) doivent intégrer au minimum :

- un montant latéral continu de chaque côté,
- une traverse de linteau,
- une traverse d'appui (cas d'une fenêtre),
- des montants latéraux de renfort sous les traverses de linteau et d'appui,
- un linteau.

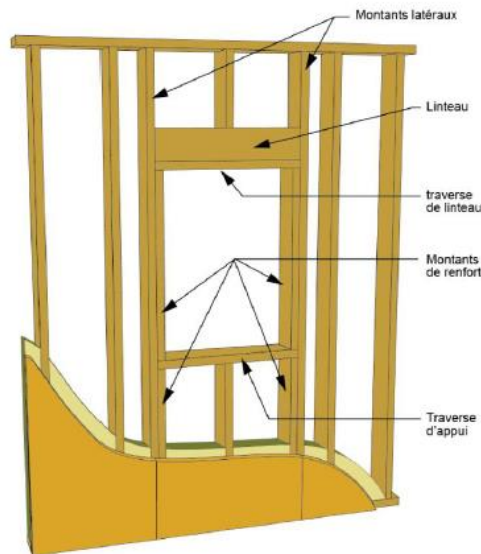


Figure 72 Exemple de schéma de principe de chevêtre de fenêtre dans mur ossature bois

L'utilisation des poutres en I n'est pas recommandée en montant latéral de chevêtre. On privilégiera des éléments de section rectangulaire.

L'emploi de montants de chevêtres en poutres en I est cependant envisageable, en particulier dans le cas de chevêtre de petites dimensions s'inscrivant dans l'espace courant entre montants. Cela implique alors de rapporter des éléments de section rectangulaire pour combler l'espace entre les membrures afin de permettre le calfeutrement de la menuiserie.

5.2. MISE EN OEUVRE

GENERALITES

De manière générale, la mise en œuvre des murs à ossature bois sur chantier doit être réalisée suivant les prescriptions du DTU 31.2.

Quelques adaptations, liées à certaines particularités des parois avec montants poutres en I peuvent cependant être envisagées, telles qu'évoquées ci-après.

LISSE BASSE

Suivant le DTU 31.2, la largeur de la lisse doit être au moins égale à celle des bois de l'ossature constituant les éléments de structure de mur.

Dans le cas des parois avec montants poutres en I de forte épaisseur, pouvant être supérieure aux largeurs maximales disponibles d'éléments en bois massif, il est envisageable de disposer deux éléments juxtaposés. Il convient alors dans ce cas de s'assurer du bon ancrage de chaque élément dans le soubassement par une disposition adaptée des fixations.

CHAINAGE

De manière générale, et conformément au DTU 31.2, la traverse haute du mur est doublée d'une lisse de chaînage qui vient en recouvrement assurer la continuité du chaînage et donc la transmission et reprises des efforts de contreventement dans le plan du mur et aux angles saillants.

Il est envisageable, moyennant de porter une attention particulière aux points suivants, de s'affranchir de la lisse de chaînage et de ne conserver qu'une traverse haute. Il convient alors de s'assurer que :

- la traverse haute soit d'un seul tenant sur toute la longueur du mur (ceci sous-entend dans la majorité des cas l'utilisation de pièces en lamibois) ;
- en tout point du mur supportant un plancher et/ou un autre mur, les solives et/ou montants ainsi supportés soient exactement à l'aplomb des montants du mur inférieur (l'appui d'une solive ou d'un montant supérieur entre deux montants inférieurs sur la seule traverse haute est à proscrire) ;
- la continuité du chaînage au droit des angles saillants est assurée par le biais d'un détail spécifique tel p.ex. que l'ajout de plats métalliques coulés ou vissés sur les traverses hautes des murs adjacents, et dimensionnés en conséquence.
- Cette configuration nécessite dans tous les cas une conception minutieuse pour assurer par d'autres moyens les fonctions remplies usuellement par la lisse de chaînage.

CONCEPTION DES PAROIS VERTICALES EN POUTRE EN I A BASE DE BOIS CONFORMEMENT AUX EUROCODES

Ce guide s'adresse aussi bien aux maîtres d'ouvrage ou architectes qui souhaitent découvrir les avantages et particularités de l'utilisation de poutres en I à base de bois pour la réalisation de parois verticales, qu'aux bureaux d'études et constructeurs amenés à concevoir et mettre en œuvre ce type de paroi.

C'est avec le souci de répondre aux attentes des uns comme des autres que ce guide a été conçu et organisé.

Après une introduction aux atouts de cette technique, et un rappel du domaine d'application couvert, ce guide présente en premier lieu de manière synthétique le principe constructif et les principes généraux de conception qui permettront au maître d'ouvrage ou à l'architecte de s'orienter vers le choix de cette solution.

Pour en savoir plus, notamment sur les dispositions relatives aux matériaux, les méthodes de dimensionnement et de justification, ainsi que les éléments relatifs à la fabrication et la mise en œuvre de ce type de parois, le concepteur et le constructeur pourront ensuite se pencher sur la seconde partie du guide.

De manière générale, le guide traite principalement des exigences de sécurité, d'aptitude au service, de résistance au feu et durabilité des structures bois. Il n'entre pas dans le détail des justifications de « l'enveloppe » (acoustique, thermique, transfert de vapeur, étanchéité à l'eau ou à l'air...).

La partie relative au dimensionnement et justifications s'appuie notamment sur les résultats de l'étude expérimentale sur le comportement des parois à montants poutres en I soumis à de la compression avec un effort normal excentré qui a permis de proposer des méthodes de justification adaptées.

Les éléments présentés dans les pages qui suivent sont basés sur la réglementation et les normes en vigueur à la date de publication de ce guide. Les schémas et informations ont valeur d'exemple et n'exonèrent pas le lecteur de sa responsabilité et de l'exercice de ses devoirs professionnels.

AUTEURS :



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Allée de Boutaut
33000 BORDEAUX
Tel +33 (0)5 56 43 63 00
Fax +33 (0)5 56 43 64 80
construction@fcba.fr
www.fcba.fr



31 allée de l'Economie
67370 Wiwersheim
Tel +33 (0) 821 20 20 04
contact.FR@c4ci.eu
www.c4ci.fr

FINANCEMENT :

