



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

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

PROCÉDÉS DE PANNEAUX

SANDWICHS

PANNEAUX BÉTON ISOLÉS À PEAU EXTÉRIEURE LIBREMENT
DILATABLE

JUILLET 2014

NEUF

ÉDITO

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

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

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

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

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

Alain MAUGARD

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



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

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

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT- PROPOS

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

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

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

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

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

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

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



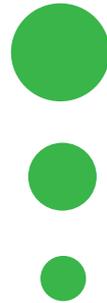
Sommaire

DOMAINE D'EMPLOI DU GUIDE, PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ	7
1 - Phase de réalisation de l'ouvrage / procédé et gestion des interfaces	10
2 - Performances attendues et évaluation technique	12
2.1. • Thermique	12
2.2. • Acoustique.....	12
2.3. • Stabilité.....	13
2.4. • Durabilité	13
2.5. • Sécurité incendie.....	14
3 - Conception, dimensionnement	15
3.1. • Aspects généraux.....	15
3.2. • Règles concernant le traitement d'étanchéité et la conception des joints.....	21
3.3. • Aspect thermique.....	31
3.4. • Aspect acoustique.....	40
3.5. • Aspect dimensionnement structural	46
3.6. • Aspects feu	71
3.7. • Choix des finitions.....	76
4 - Fabrication	78
4.1. • Description de la fabrication	79
4.2. • Contrôle des bétons.....	80
4.3. • Contrôle des armatures et des organes de fixation.....	80
4.4. • Contrôles qualité.....	81
4.5. • Caractéristiques dimensionnelles et tolérances.....	82
4.6. • Finitions et aspect	84
4.7. • Dispositions de ferrailage forfaitaire pour éviter les fissures en bord et en angle....	87
5 - Aspects de mise en œuvre	88
5.1. • Spécificités du chantier.....	88
5.2. • Choix des matériaux.....	91
5.3. • Manutention des panneaux	92
5.4. • Pose des panneaux.....	95
5.5. • Réparation des épaufrures et défauts d'aspects	109
5.6. • Réalisation des dispositifs d'étanchéité des joints.....	110
5.7. • Dispositions constructives de protection vis-à-vis d'une propagation de l'incendie entre locaux	111
5.8. • Aspects intégration des menuiseries	115
5.9. • Finitions	121
5.10. • Dispositions constructives au niveau des points singuliers	122

Réglementation, normes et autres documents de référence	131
Glossaire	137



DOMAINE D'EMPLOI DU GUIDE, PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ



Évolution des murs préfabriqués classiques en béton, le procédé de panneaux sandwichs lourds en béton combine performances techniques et thermiques en présentant tous les avantages d'une isolation thermique par l'extérieur (ITE).

De par leur conception, les panneaux sandwichs apportent une réponse efficace aux exigences de diminution des consommations d'énergie dans le domaine de la construction.

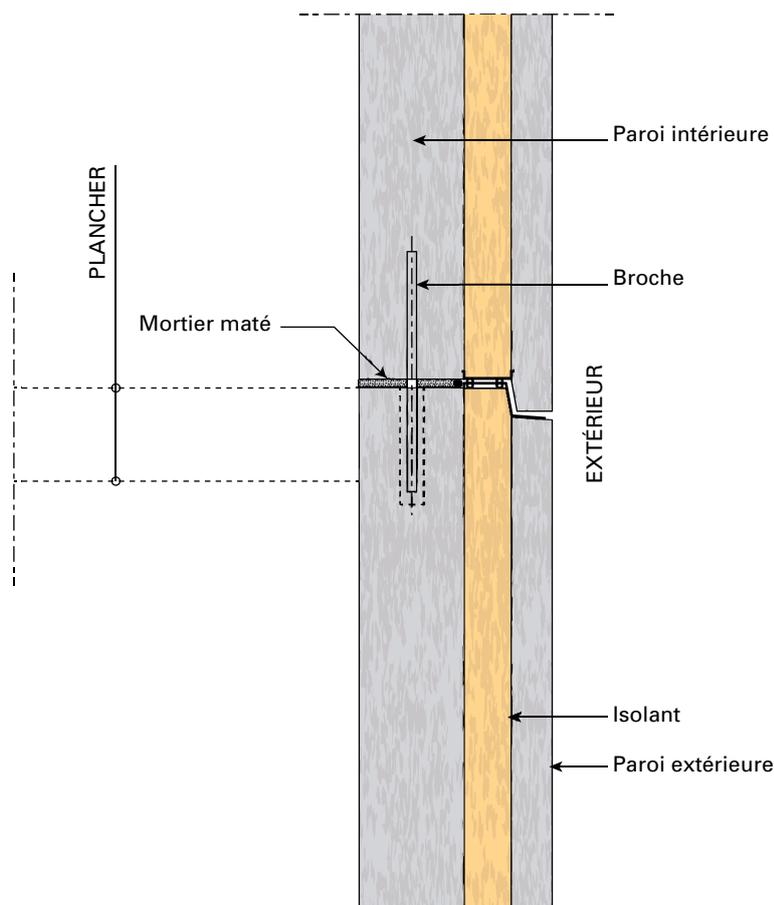
Les panneaux sandwichs lourds en béton (disponible en épaisseurs courantes de 20 à 50 cm) sont des éléments entièrement préfabriqués en usine associant plusieurs matériaux :

- une paroi intérieure (de l'ordre de 10 à 25 cm d'épaisseur) préfabriquée en béton armé ;
- une paroi extérieure mince (généralement de 7 cm d'épaisseur) préfabriquée en béton armé et maintenue à la paroi intérieure par un système de liaison ;
- un matériau isolant (de l'ordre de 4 à 20 cm d'épaisseur) entre ces deux parois qui permet notamment de limiter les ponts thermiques de liaison courants et d'éviter la formation de condensation superficielle.

Le panneau ainsi constitué a des dimensions maximales généralement de 12 mètres x 4 mètres.

Les panneaux sont ensuite assemblés sur site par clavetage ou par des fixations rapportées.

Ces panneaux peuvent être porteurs ou non porteurs.



▲ Figure 1 : Illustration par une coupe d'un mur constitué d'une superposition de panneaux sandwichs

La liaison des deux parois est assurée par des connecteurs ponctuels ou des épingles de liaison et, dans certains cas (zones sismiques, excentrement des charges, etc.), des compléments de fixations par des ancrages de distorsion sont nécessaires.

La performance thermique des panneaux est conditionnée par l'épaisseur de l'isolant et par sa nature. Les gammes proposées par les fabricants sont compatibles avec les exigences de la réglementation thermique 2012 et avec celles des maisons passives.

Les impératifs de mise en œuvre sont similaires à ceux d'un mur préfabriqué classique lourd rentrant dans le champ du DTU 22.1 (levage, calage, stabilisation par étais, clavetage, etc.), avec cependant une obligation de maintenir la paroi extérieure librement dilatable, par l'intermédiaire de réalisation de joints entre panneaux. Cette particularité engendre des précautions de conception et de mise en œuvre propres aux panneaux sandwichs. Le traitement des joints exige davantage de méticulosité pour ne pas créer de pont thermique et altérer la performance de l'ensemble du système.

Les avantages en termes de performances thermiques :

- réduction des ponts thermiques de liaison ;
- traitement des points singuliers plus facile à maîtriser du fait de la préfabrication ;
- contribution au confort d'été dès lors que la masse de béton du voile intérieur n'est pas masquée par des éléments légers ;

- possibilité de mettre en œuvre des épaisseurs de l'isolant importantes (jusqu'à 20 cm) et large choix d'isolants compatibles ;
- ponts thermiques intégrés relativement faibles grâce au mode de fixation ponctuel du voile extérieur.

De nombreux aspects de finition adaptés aux façades architectoniques sont possibles avec des parements lissés, matricés, texturés, etc.

Note importante

Les procédés de panneaux sandwichs sont visés par les Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application s'y référant.

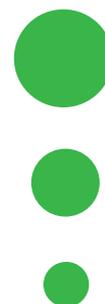
Le domaine d'emploi (typologie d'ouvrage, dispositions concernant la réglementation sismique, feu, et autres limitations) ainsi que les conditions d'utilisation du procédé, en termes de fabrication et de conception, sont indiqués dans les Avis Techniques.

De fait, les différentes dispositions décrites dans le présent guide ne prétendent en aucun cas se substituer ni prévaloir sur les exigences contenues dans les Avis Techniques.



Phase de réalisation de l'ouvrage / procédé et gestion des interfaces

1



Le (Tableau 1) décrit, dans l'ordre chronologique, les différentes phases de réalisation ainsi que les intervenants et les points critiques associés.

▲ **Tableau 1 :** Tableau synoptique des phases et des différents intervenants

Données : plans ARC	Concerne	Points critiques
Fonction porteuse ou non porteuse Proposition calepinage Proposition épaisseur Proposition parement (finition, maticage) Validation ARC (façade)	BESTR / BET / CT + ARC + Thermicien + Fabricant + Entreprise	Gabarit Emprise totale Fonction porteuse ou non porteuse
Étude des jonctions horizontales (structures et étanchéité) et verticales		Calepinage et étanchéité
Étude des points singuliers (poutres, refends intérieurs) Étude des inserts éventuels (goujons, douilles) aux jonctions Étude du levage Ouvertures - Balcons	BESTR Fabricant Entreprise y cis CET / CES CT	Menuiseries extérieures CET (gainés et boîtiers courants forts) CES (menuiseries) RICT
Fonds de plans STR	BESTR	
Validation ARC (nouvelle cotation) Validation surfaces utiles	MOE et MOUV	Validation MOUV
Parement Validation ARC pour prototype	Fabricant Entreprise	Prototype
Fabrication (prototype)	Fabricant Entreprise pour logistique et planification	Tenue des délais d'approvisionnement
Transport - Livraison - Stocks intermédiaires		
Réception contradictoire	Entreprise / Fabricant	Épaufrures / Panneaux refusés
Stockage et pose Levage	Entreprise	Étais tire-pousse Tolérances 3D / Sécurité ouvriers
Pose	Entreprise	
Clavetage des parois intérieures entre elles ou avec refends	Entreprise	Sécurité des ouvriers Vérification de l'étanchéité y compris au droit des menuiseries
Interfaces avec verticaux (murs) Interfaces avec horizontaux (planchers) Interfaces avec menuiseries	Entreprise CES	
Finitions	Entreprise / Fabricant / CT	Réception par ARC / RFCT

Les données correspondent aux différentes étapes de réalisation dans l'ordre chronologique ; concerne liste des acteurs concernés à chaque étape

MOUV : Maître d'ouvrage ; MOE : Maîtrise d'œuvre ; ARC : Architecte ; BESTR : BE structures de l'entreprise ; BET : Bureau d'études techniques de la MOE ; CET : Corps d'état techniques ; CES : Corps d'état secondaires ; CT : Contôleur technique.





Performances attendues et évaluation technique

2



2.1. • Thermique

Le maintien des performances thermiques suppose l'utilisation d'isolants dont les performances ne sont pas dégradées de manière significative par l'humidification possible au niveau des joints.

Les vérifications sont à effectuer, dans chaque cas d'utilisation, selon les Règles Th-U en vigueur.

À défaut d'une certification de type ACERMI sur les isolants, les performances thermiques des panneaux doivent être calculées en majorant de 15 % les valeurs déclarées de la conductivité thermique de ces isolants.

Un calcul des coefficients de transmission surfacique doit être réalisé en tenant compte de tous les ponts thermiques structurels (joints, fixations, etc.).

Pour les bâtiments industriels pour lesquels une isolation minimale est exigée par les règles Th-U (bâtiment chauffé dont la température en service dépasse +12 °C), les panneaux incorporant un isolant de faible épaisseur peuvent permettre de satisfaire à cette exigence. Pour des exigences plus élevées, il est nécessaire d'utiliser des isolants de forte épaisseur.

Les principes, ainsi que les performances typiques d'isolation, sont indiqués au paragraphe (cf. 3.3).

2.2. • Acoustique

La réglementation sur l'isolation phonique des bâtiments prévoit une exigence minimale d'isolation phonique de paroi.

Cinq catégories existent selon le niveau du bruit environnant :

▲ **Tableau 2** : Catégorie des bâtiments en fonction du niveau de bruit environnant

Catégorie	Niveau sonore environnant	Isolation minimale en façade
1	+ de 81 dB	45 dB
2	Entre 76 et 81 dB	42 dB
3	Entre 70 et 76 dB	38 dB
4	Entre 65 et 70 dB	35 dB
5	Entre 60 et 65 dB	30 dB

Les catégories sont définies en fonction de l'environnement sonore du futur bâtiment.

Compte-tenu de l'épaisseur de la paroi intérieure, comprise généralement entre 10 et 25 cm, ces exigences sont facilement atteignables.

Si l'isolation demandée est importante et les épaisseurs de parois de faible épaisseur, des mesures expérimentales peuvent être nécessaires.

Les dispositions doivent respecter les exigences sur la réglementation acoustique rappelées au paragraphe (cf. 3.4).

2.3. • Stabilité

Les panneaux peuvent être utilisés comme bardage. Dans ce cas, ils ne participent pas à la stabilité du bâtiment (contreventement, fonction porteuse, etc.).

Les panneaux peuvent également être conçus comme éléments porteurs. Dans ce cas, la stabilité est assurée uniquement par la paroi intérieure et la paroi extérieure sert d'habillage.

La stabilité propre du voile de béton extérieur librement dilatable des panneaux sandwichs peut être normalement assurée moyennant l'application des prescriptions techniques visant les dispositifs de liaison associés à ces panneaux.

Les principes de conception et dimensionnement sont indiqués au paragraphe (cf. 3.5) du présent document.

2.4. • Durabilité

La durabilité des performances des panneaux, en particulier pour les aspects d'étanchéité à l'air et à l'eau, est tributaire de la bonne réalisation des joints entre panneaux. La garniture extérieure des joints est constituée généralement d'un mastic élastomère à bas module présentant une bonne déformabilité. Une telle caractéristique est indispensable compte tenu de l'amplitude des variations dimensionnelles des joints verticaux entre panneaux et des joints entre menuiseries et béton extérieur par suite du choix du voile intérieur pour recevoir la fixation.



La durabilité des performances mécaniques est assurée essentiellement par une bonne conception et une bonne fabrication des éléments en béton armé, par respect des règles habituelles aux ouvrages en béton armé.

Au final, la durabilité d'ensemble des murs de façade de ce procédé peut être considérée comme équivalente à celle de murs traditionnels en béton. Elle requiert cependant des prescriptions particulières sur :

- l'exécution des travaux normaux d'entretien des façades en béton ;
- la réfection des garnitures de mastic extérieures.

Les principes de conception des joints sont donnés au paragraphe (cf. 3.2).

2.5. • Sécurité incendie

Le parement en béton bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu M0.

Du fait de la présence de l'isolant dans les panneaux, les règles simplifiées du DTU FB ou de l'Eurocode pour la détermination de la distribution de la température dans le béton ne peuvent pas s'appliquer. Une étude selon les règles générales de calcul est alors nécessaire.

Une étude au cas par cas est nécessaire pour :

- les systèmes de fixation des panneaux à la structure ;
- les organes de suspension de la paroi extérieure.

Les principes de dimensionnement sont donnés au paragraphe (cf. 3.7).

Conception, dimensionnement

3



3.1. • Aspects généraux

3.1.1. • Règle de qualité générale

On s'assurera que les efforts appliqués aux éléments et résultant des combinaisons d'action incluant le poids propre, les charges d'exploitation et les actions sur les structures sont inférieurs aux efforts qui entraînent l'apparition des états limites à considérer.

3.1.2. • Cohésion des éléments

Le système doit être tel que, sous l'action des diverses sollicitations considérées comme résultant d'un service normal, il ne puisse se produire de chute de fragments provenant d'ouvrages du gros œuvre ou d'ouvrages annexes et risquant d'être dangereux pour des personnes se trouvant à l'intérieur ou à l'extérieur.

Les sollicitations en cause sont principalement celles qui résultent :

- des déformations à plus ou moins long terme du gros œuvre ;
- des chocs mécaniques divers, tels que ceux qui peuvent normalement survenir au cours des opérations d'entretien (choc d'échafaudage volant, par exemple) ;
- des chocs thermiques dus au refroidissement brutal par une averse d'une paroi ayant précédemment subi un ensoleillement prolongé ;
- des variations des conditions d'humidité et de température (gel notamment).



3.1.3. • Résistance aux chocs

Dans le cas d'exposition des panneaux à des chocs (panneaux en rez-de-chaussée par exemple), il convient de vérifier le maintien des performances des panneaux durant la vie de l'ouvrage. La norme P08-302 (octobre 1990) « Murs extérieurs des bâtiments – Résistance aux chocs – Méthodes d'essais et critères » est applicable tant au niveau de la définition de la performance que des méthodes d'essais.

3.1.4. • Risques de condensation dans les parois extérieures

La quantité d'eau admissible à l'intérieur d'une paroi varie en fonction de la capacité d'absorption du ou des matériaux dans lesquels se produit la condensation et de la répartition de l'humidité dans la paroi.

Les parois extérieures doivent être organisées de telle sorte que :

- l'eau de construction excédentaire par rapport à celle de l'humidité d'équilibre puisse s'éliminer progressivement sans créer de désordres ;
- les phénomènes de diffusion de la vapeur d'eau ne puissent provoquer une accumulation inadmissible d'humidité de condensation dans l'isolant ou à la partie basse de l'ouvrage.

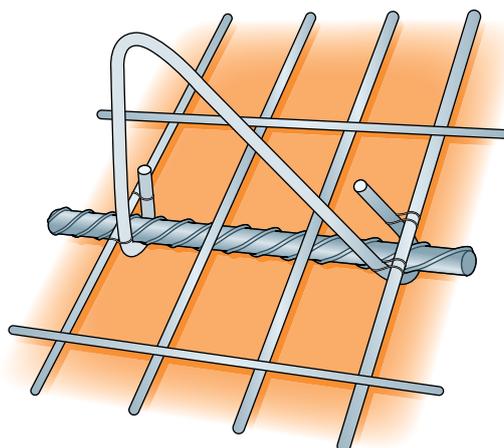
De plus, les matériaux risquant d'être humidifiés lors de la fabrication ou en service doivent être stables à l'eau, c'est-à-dire imputrescibles et résistants au gel.

3.1.5. • Choix des systèmes de levage

Le principe de levage des panneaux consiste à intégrer en fabrication deux points de levage.

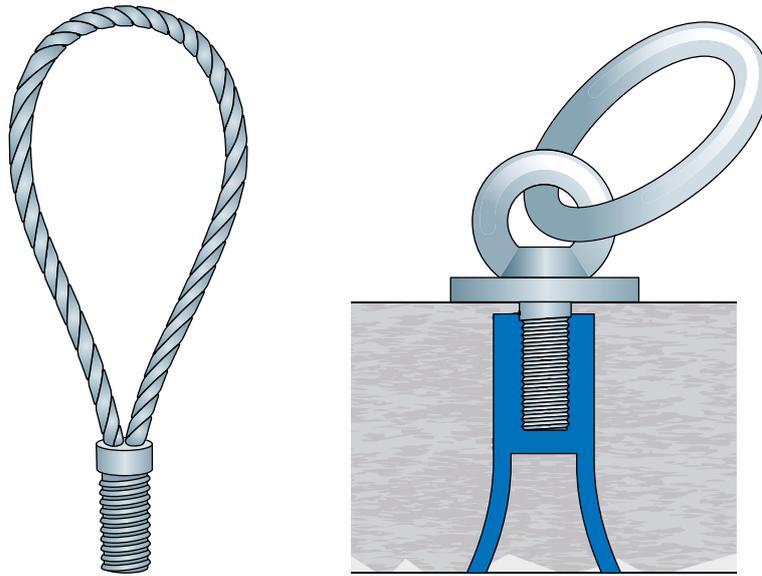
Les systèmes de levage les plus couramment rencontrés sont :

- les ancres, constituées d'une armature en acier doux, partiellement ancrée dans la peau intérieure ;



▲ Figure 2 : Ancre

- les douilles, ancrées dans la peau intérieure, dans lesquelles viennent s'insérer ensuite des boucles de levage.



▲ Figure 3 : Douille et boucle de levage

Les éléments sont ensuite levés par des élingues dont les principes d'utilisation sont précisés au paragraphe (cf. 5.3) suivant.

La performance des inserts de levage doit être déterminée en fonction :

- du poids de la pièce avec le poids mort ainsi que les éléments de coffrage et accessoires levés avec la pièce en usine ;
- de l'effort d'adhérence au coffrage ;
- de la charge dynamique de levage ;
- de l'angle d'élingage ;
- du nombre de points de levage.

Pour les procédés sous Avis Techniques, il existe un protocole d'essai sur la détermination des charges de levage, ou encore la « CMU » (capacité maximale d'utilisation).



Les panneaux sandwichs sont des éléments très lourds, dont la taille peut être limitée pour des raisons de manutention. Il est donc nécessaire d'apporter une attention particulière aux phases de manutention dès la phase de conception des panneaux.



3.1.6. • Règles permettant de justifier la durabilité de la peau extérieure et intérieure

3.1.6.1. • Entretien extérieur

L'entretien de l'aspect extérieur doit pouvoir être effectué dans des conditions de fréquence, de coût, de gêne pour l'occupant comparables à ce qu'elles sont pour des bâtiments traditionnels.

L'entretien de tous les éléments sensibles à la corrosion ou au vieillissement, tels que les bois et métaux, est à faire au titre de la durabilité.

3.1.6.2. • Entretien intérieur

Les revêtements intérieurs doivent pouvoir être rebouchés, poncés et peints suivant les règles courantes en cette matière. Les parois doivent présenter une résistance suffisante à l'usure provoquée par l'utilisation des appareils ménagers lorsqu'il n'est pas prévu de plinthes rapportées.

3.1.6.3. • Conservation des qualités

Les matériaux en œuvre sont soumis à l'action de divers facteurs qui peuvent entraîner progressivement une modification de leurs propriétés. Ces facteurs sont de plusieurs ordres : mécanique (contraintes permanentes, fatigue sous charges alternées ou rapidement variables, par exemple), chimique (oxydation principalement), physique (délavage, variations de la température et de l'hygrométrie de l'ambiance, notamment), etc.

3.1.6.4. • Règles relatives aux matériaux, éléments et ouvrages

Tous les matériaux, éléments, ouvrages, etc., non remplaçables au titre de l'entretien doivent être tels que l'on puisse estimer qu'ils conserveront durant une période de cinquante années au moins, sous réserve d'un entretien normal, des caractéristiques leur permettant de rester conformes aux règles précédemment énoncées.

On considère que des matériaux ou parties d'ouvrages sont remplaçables au titre de l'entretien lorsque leur altération ou leur absence, dans l'attente et pendant la durée des travaux, ne modifie en rien la sécurité de l'occupation. Durant cette même période, les conditions de confort peuvent être modifiées à condition que les délais normaux d'exécution des travaux soient courts et qu'il soit possible, dans l'attente de la remise en état de trouver une solution de remplacement simple et procurant un confort sensiblement équivalent.

En ce qui concerne le cas particulier des produits d'étanchéité, on pourra admettre qu'ils peuvent être entretenus s'ils sont facilement accessibles, soit de l'intérieur, soit plus généralement de l'extérieur, si leur logement peut être commodément nettoyé avant mise en place d'un matériau neuf.

3.1.6.5. • Matériaux

Les matériaux non remplaçables au titre de l'entretien doivent présenter une stabilité physico-chimique suffisante compte tenu de leur fonction et des réactions plus ou moins lentes qui peuvent se développer entre matériaux.

Matériaux minéraux

Les matériaux minéraux utilisés couramment dans le gros œuvre et pour lesquels la règle doit être considérée comme absolument impérative, puisqu'ils donnent aux éléments et à leurs jonctions leur résistance propre, ont une bonne stabilité physico-chimique et le respect des règles de bon usage particulières à ces matériaux suffit en général à leur assurer une durabilité suffisante.

Cependant, certains matériaux minéraux peuvent avoir des variations dimensionnelles importantes qui imposent de prendre des précautions particulières dans certains de leurs usages.

C'est parfois le cas de la terre cuite, qui, par reprise d'humidité, peut manifester, à plus ou moins long terme, des gonflements d'amplitude variable, susceptibles de provoquer, dans certains cas, des dégradations sinon la désorganisation des éléments.

Isolants légers

Les isolants légers doivent conserver leurs propriétés isolantes et continuer à remplir tout l'espace occupé initialement.

Parmi ces isolants, certaines laines minérales de faible densité sont assez sensibles aux vibrations et, disposées en couches verticales, tendent à s'effondrer lentement. Elles doivent donc être maintenues de telle sorte que ces couches verticales soient permanentes. Des matériaux plus stables, comme des laines minérales auxquelles un traitement a conféré une certaine rigidité ou des feutres minéraux, sont d'un emploi plus sûr.

Les mousses plastiques isolantes ont des propriétés très variables selon leur nature chimique, le procédé d'expansion, la densité, etc. Dans certains emplois, on peut être amené à prendre des précautions particulières pour tenir compte de la sensibilité aux solvants organiques et aux températures élevées que peuvent présenter certaines mousses plastiques.

Les isolants d'origine végétale ne peuvent être utilisés, sauf si des dispositions particulières sont prises pour leur assurer, soit des conditions de conservation sûres en ce qui concerne notamment l'humidité, soit une ventilation supprimant tout risque de destruction progressive par des micro-organismes.



Matériaux d'étanchéité

Le vieillissement des produits d'étanchéité est, dans l'ensemble, mal connu. Parmi ses causes principales figurent la migration ou l'évaporation des solvants et l'action directe des agents extérieurs contre laquelle il importe de protéger les produits qui ne peuvent être remplacés au titre de l'entretien.

3.1.6.6. • Protection des matériaux

Tous les matériaux qui ne peuvent être visités ou entretenus doivent, soit par leur nature, soit grâce aux dispositions prises pour les protéger, être insensibles aux phénomènes de corrosion et aux attaques de tous ordres, pendant toute la durée de l'ouvrage, dans les conditions normales d'usage.

Si la protection des aciers n'est pas assurée par du béton, ils doivent, compte tenu des conditions d'utilisation, se trouver à l'abri de la corrosion, soit par leur nature (aciers spéciaux), soit grâce à une protection superficielle dont la permanence et l'efficacité réelle doivent être justifiées. Cependant, pour certains aciers, par exemple des armatures prévues uniquement en vue de donner à certains éléments une résistance suffisante aux efforts de manutention, on peut admettre qu'ils puissent se corroder, à condition qu'il ne risque d'en résulter aucune altération des éléments : éclatement ou fissurations, taches de rouille, etc.

3.1.6.7. • Revêtements intérieurs et extérieurs

La résistance des revêtements intérieurs et extérieurs d'éléments préfabriqués lourds aux chocs divers consécutifs à l'usage normal des meubles et ustensiles ménagers, à l'entretien des parements extérieurs, à la projection de corps durs de petites dimensions, peut être vérifiée par un essai de « choc de corps dur ».

3.1.7. • Entretien et réparation

L'entretien des ouvrages ou parties d'ouvrages nécessitant un entretien doit pouvoir être effectué par des moyens usuels ou, si des moyens spéciaux sont nécessaires, ils doivent être définis. Cet entretien doit pouvoir s'effectuer sans que soit perturbée la vie des habitants ni que soit nécessaire une préparation onéreuse et compliquée.

Parmi les travaux d'entretien, ceux dont peut en partie dépendre la durabilité des ouvrages sont particulièrement importants. C'est ainsi que les traitements (peintures, enduits, imprégnation) qui favorisent la conservation des qualités des bétons non revêtus doivent être renouvelés.

Les ouvrages du gros œuvre ne doivent normalement pas donner lieu à d'autre intervention que celle de l'entretien.

Toutefois, si, par exception, une réparation était nécessaire, elle ne devrait pas exiger d'autres matériaux que ceux que l'on peut couramment trouver dans le commerce.

3.1.8. • Vérification de la compatibilité des tolérances dans les divers documents de référence

Par le respect d'un système de tolérances, tant à la fabrication qu'à la mise en œuvre, les caractéristiques de dimensions et de forme des éléments doivent être suffisamment constantes pour permettre aux ouvrages de remplir convenablement leurs fonctions.

Les tolérances de fabrication et de pose qui doivent être compatibles interviennent directement dans la conception des joints d'étanchéité, particulièrement pour les joints verticaux.

Les tolérances qui jouent un rôle important à ce point de vue sont celles de longueur, d'équerrage et d'alignement.

À titre d'ordre de grandeur, on peut admettre pour le cas courant des joints à chambre de décompression :

- écart ponctuel en élévation d'un élément : ± 1 cm ;
- écart sur la distance entre les organes du joint et le parement extérieur : $\pm 0,5$ cm ;
- écart d'alignement des arêtes voisines de deux éléments adjacents : 0,5 cm, mesuré perpendiculairement au plan des parements extérieurs.

Le respect des tolérances intervient encore dans :

- les caractéristiques thermiques conditionnées par l'épaisseur des matériaux ;
- les isolants, par la largeur des liaisons traversant les isolants légers ;
- la protection des armatures contre la corrosion.

3.2. • Règles concernant le traitement d'étanchéité et la conception des joints

Les exigences d'étanchéité dépendent de la destination des ouvrages réalisés avec les panneaux sandwichs. Si des dispositions d'étanchéité « à un étage » peuvent être suffisantes pour des locaux industriels dans lesquels un certain niveau d'infiltration peut être accepté, des dispositions « à deux étages » sont nécessaires pour tous les locaux ayant un niveau d'exigence d'étanchéité à l'eau et à l'air élevé. Dans la mesure où ce guide est principalement rédigé pour des ouvrages avec une exigence thermique élevée, le contenu de ce chapitre est donc consacré aux locaux ayant une exigence d'étanchéité élevée.



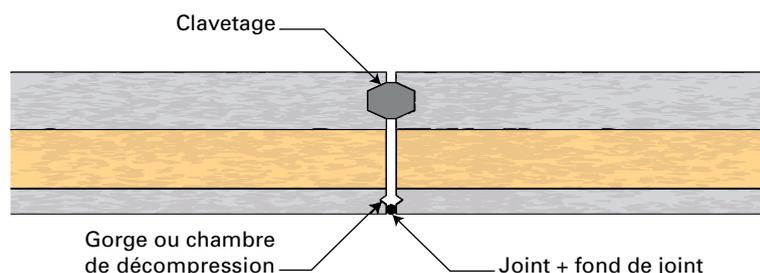
3.2.1. • Étanchéité à l'air des murs extérieurs

Les murs extérieurs ne doivent pas permettre le passage, entre l'intérieur et l'extérieur, de quantités d'air qui remettraient en cause le respect des limites de perméabilité à l'air prévues dans la réglementation.

En partie courante, il n'est pas nécessaire de fixer une limite de perméabilité, tous les matériaux utilisés pour la construction de murs extérieurs assurant, s'ils sont continus, une imperméabilité suffisante.

Pour les joints entre éléments, à titre d'exemple, on admet que l'étanchéité à l'air est suffisante, si les joints sont obturés sur toute leur longueur par un noyau de blocage ou un potelet de béton coulés dans une feuillure ou dans des cannelures ménagées sur les tranches des éléments et s'il n'y a pas de risque d'ouverture de la fissure qui apparaît fréquemment à la surface de contact entre éléments et potelet ou noyau.

On notera que des défauts d'étanchéité à l'air, même de peu de gravité, peuvent avoir des répercussions importantes sur l'étanchéité à l'eau.



▲ Figure 4 : Exemple de liaison entre panneaux où le clavetage assure le rôle d'étanchéité à l'air du joint vertical

3.2.2. • Étanchéité à l'eau

Compte tenu des conditions climatiques et des variations dimensionnelles des éléments, il faut qu'il existe, dans l'épaisseur du mur, une limite au-delà de laquelle toute pénétration de l'eau dans le corps des éléments ou dans les joints soit impossible.

Cela implique :

- que des coupures soient ménagées dans les surfaces ou volumes pouvant donner lieu à pénétration par capillarité ;
- que les hauteurs des ressauts dans les voies de pénétration non capillaires où l'eau pourrait s'accumuler soient supérieures aux pressions pouvant régner dans ces voies ;
- que, grâce aux formes et dispositions adoptées, les eaux ayant pénétré jusqu'à la limite ci-dessus par ruissellement interne dans les joints soient rejetées vers l'extérieur ;

- que la pénétration directe de la pluie ou de la neige dans les joints soit arrêtée par une barrière convenablement disposée par rapport à l'ensemble du dispositif d'étanchéité ;
- que la projection ou la pénétration de l'eau, par suite d'éventuels phénomènes de pompage ou d'entraînement par l'air, soit impossible au-delà de la limite ci-dessus.

Pour certaines parties d'ouvrage mises à l'abri du ruissellement, l'étanchéité peut être obtenue grâce à des dispositions simplifiées, si l'ouvrage n'est pas particulièrement exposé à la pluie ni au vent.

D'une façon générale, les problèmes d'étanchéité aux joints se résolvent plus ou moins simplement selon la position des joints par rapport au nu de la façade et selon la présence éventuelle d'accidents ménagés sur celle-ci. On note, à ce sujet, le rôle favorable que jouent les accidents horizontaux (saillies, larmiers, etc.) rejetant l'eau de pluie en avant des points les plus sensibles et les accidents verticaux (rainures, cannelures, etc. ménagées sur la surface extérieure des murs ou ressauts à proximité des joints verticaux) permettant de réduire très fortement le ruissellement oblique.

Le choix de la profondeur limite de pénétration de l'eau dans un joint doit tenir compte de différents facteurs et notamment de la constitution des panneaux, du risque de porosité du béton au voisinage des arêtes, du risque de fissuration de nervures périphériques éventuelles ceinturant l'isolant, etc.

On examine ci-après un certain nombre de dispositions de joints respectant les prescriptions de la norme DTU NF DTU 44.1 P1-1 (août 2012) « Travaux de bâtiment – Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics » qui, sans couvrir toutes les possibilités, permettent d'illustrer rapidement différents principes d'étanchéité.

3.2.2.1. • Joints verticaux

Ils répondent aux conditions suivantes :

- la capillarité est coupée grâce à l'élargissement formé par une « chambre ou gorge de décompression » qui doit être préservée de tout remplissage lors de la mise en place des matériaux du joint ;
- les phénomènes de pompage qui peuvent apparaître pour des orifices d'une certaine importance recouverts par un film d'eau et mettant en communication deux milieux entre lesquels existe une différence de pression, sont évités par la chambre qui doit être mise en communication avec l'atmosphère extérieure, en des points suffisamment rapprochés pour que l'équilibre des pressions puisse s'établir assez rapidement à tous les niveaux. On peut considérer que le vide fonctionne de façon satisfaisante si les points de communication avec l'extérieur

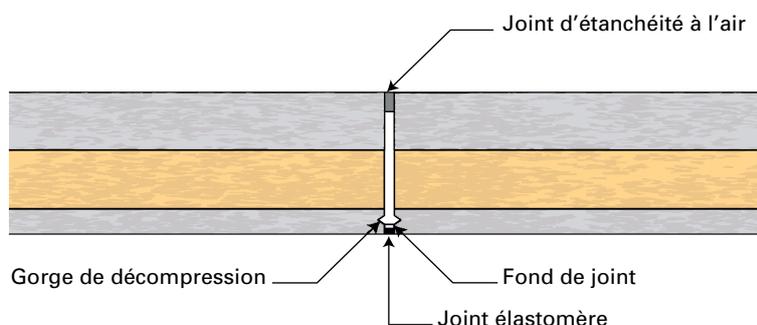


ne sont pas distants de plus de trois hauteurs d'étages. Dans les bâtiments peu élevés (jusqu'à 5 niveaux), on peut admettre que le vide ne soit mis en communication avec l'extérieur qu'au niveau du soubassement, à condition toutefois que le croisement des joints ne puisse donner lieu à aucune pénétration d'eau dans l'éventualité d'un débit relativement important du vide vertical ;

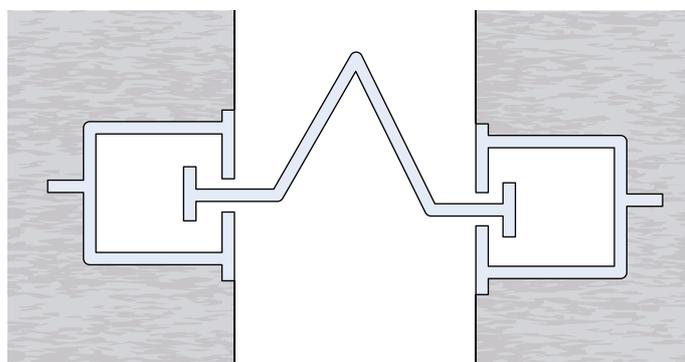
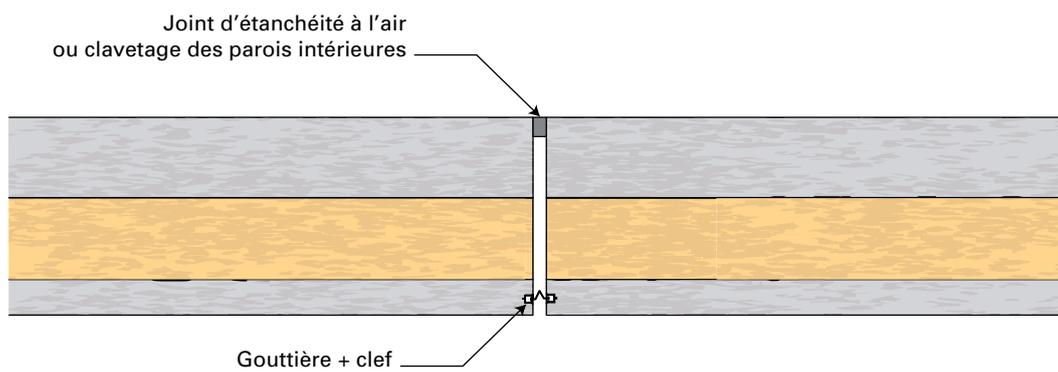
- l'entrée directe de la pluie dans le vide est empêchée par un dispositif du type fausse languette ou remplissage évitant un débit excessif dans ce vide ;
- l'eau qui a pu pénétrer jusqu'au niveau du vide est drainée par celui-ci et doit être évacuée vers l'extérieur. Les points de communication du vide avec l'extérieur jouent fréquemment ce rôle d'orifice d'évacuation des eaux drainées.

Dans d'autres types de joints, moins répandus, la capillarité et le pompage sont empêchés par une ouverture du joint, le drainage étant assuré par un système de cannelures obliques ramenant l'eau vers l'avant.

Pour ces types de joints, où la forme des tranches d'éléments joue un rôle essentiel, il est important que la qualité du moulage permette d'obtenir des cannelures et accidents divers d'une grande netteté. Le bon fonctionnement du vide, comme canal de drainage notamment, dépend pour une grande part de l'état de surface et de la présence d'arêtes franches.

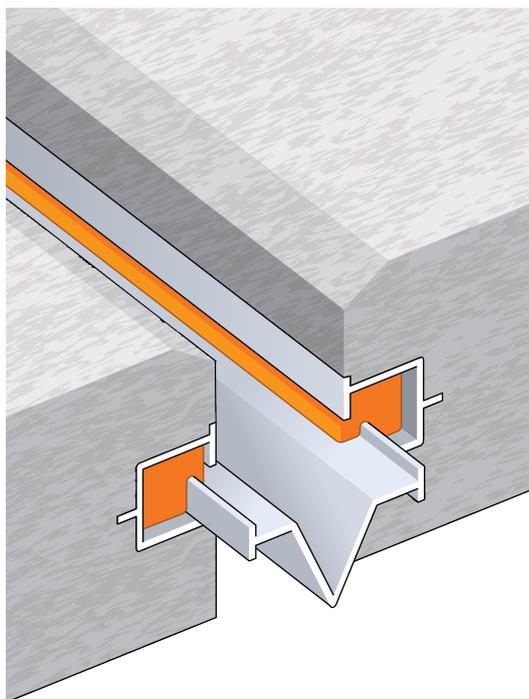


▲ Figure 5 : Traitement du joint de la paroi extérieure par mise en œuvre d'un joint dit de « première catégorie » et gorge de décompression

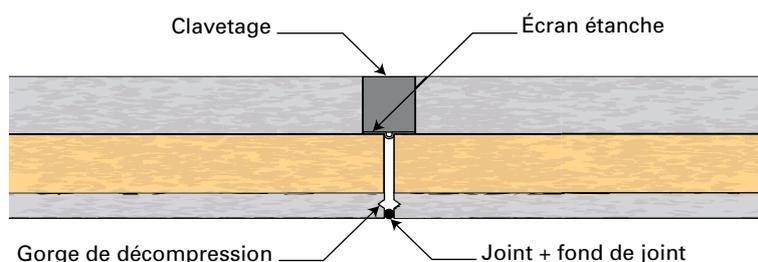


Principe d'un joint type P71CN

▲ Figure 6 : Traitement du joint de la paroi extérieure par mise en œuvre d'un joint dit mécanique de type « gouttière »



▲ Figure 7 : Joint mécanique mis en œuvre entre deux panneaux



▲ Figure 8 : Joints à écran étanche

Un complément d'étanchéité peut être réalisé par la mise en œuvre d'un écran étanche au niveau de la paroi intérieure et avant clavetage des panneaux. La bande étanche franchit le joint et se raccorde de part et d'autre aux éléments voisins, soit par pénétration dans le matériau des éléments, soit par collage sur une surface plus ou moins parallèle aux parements des éléments et ménagée en feuillure dans leurs tranches. L'écran étanche doit pouvoir suivre les variations dimensionnelles du joint, soit par sa plasticité, soit par sa disposition en soufflet. Son raccordement aux éléments doit être lui-même étanche, soit grâce à la forme de la partie de la bande pénétrant dans les éléments, soit par adhérence sur une largeur suffisante dans le cas de l'écran collé. Compte tenu de l'impossibilité de remplacement de l'écran, des dispositions de protection contre les agents de vieillissement doivent être prises de telle sorte que les règles de durabilité soient satisfaites.

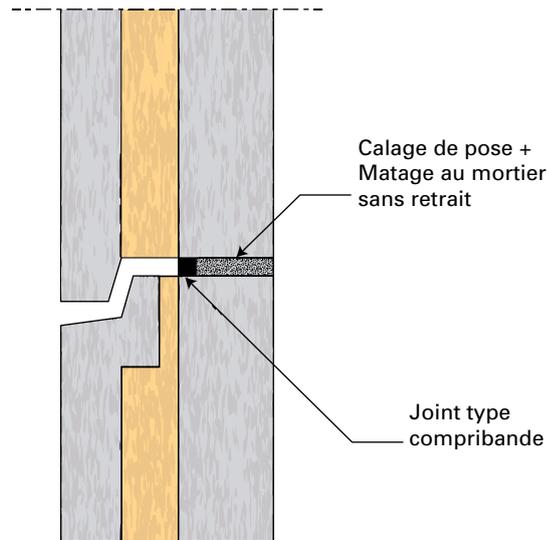
3.2.2.2. • Joints horizontaux

Les joints horizontaux dans lesquels la forme joue un rôle prépondérant comportent un rejingot et la retombée complémentaire.

Un dispositif doit être prévu qui empêche le mortier du joint d'assise horizontal de tomber dans le vide, lors de la mise en place de l'élément supérieur (pose à bain de mortier) ou lors du bourrage du mortier.

Si le joint reste ouvert, le problème de l'égalisation des pressions entre le vide et l'extérieur ne se pose pas. La hauteur du rejingot et de la retombée et leurs formes doivent être telles que le joint d'assise ne puisse en aucun cas être atteint par l'eau pouvant cheminer ou rejaillir dans le joint.

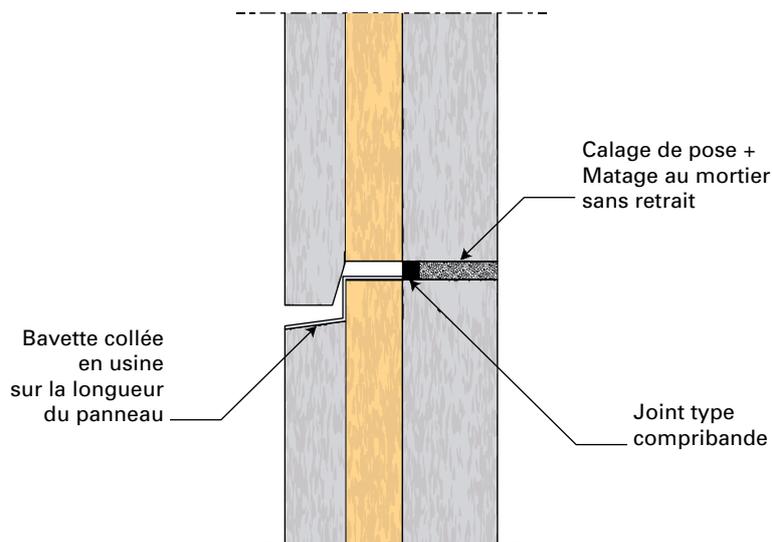
Si le joint est fermé dans sa partie avant par un cordon adhésif ou un remplissage partiel de mortier, le vide ainsi délimité entre retombée et rejingot joue le rôle de rupture de capillarité et de vide d'équilibre des pressions ; il est mis en communication avec l'extérieur par les mêmes orifices que le vide vertical qu'il recoupe. La hauteur du rejingot doit être suffisante (5 cm environ) pour éviter tout risque de remplissage du vide par le matériau mis en place dans la partie avant du joint. Les dimensions du rejingot sont indiquées dans le DTU 22.1.



Solution 1 : Emboîtement sur rejingot béton

▲ Figure 9 : Solution 1 : emboîtement sur rejingot béton

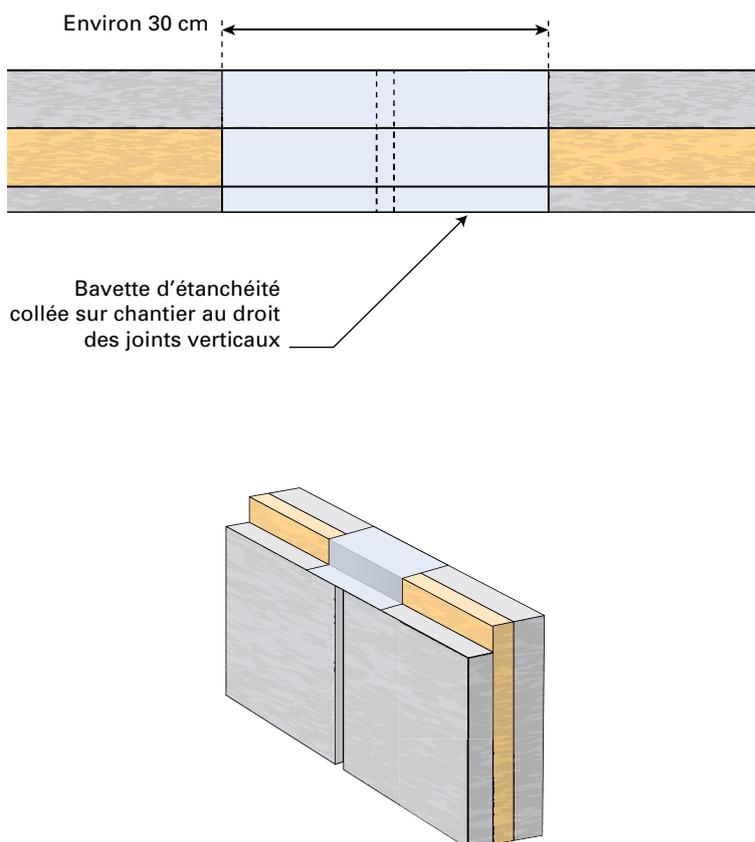
Dans cette solution, le panneau est constitué de deux types d'isolant : un en partie courante, le second plus performant au niveau du rejingot pour palier la faible épaisseur de l'isolant à cet endroit.



Solution 2 : Emboîtement avec rejingot reconstitué sur isolant

▲ Figure 10 : Solution 2 : emboîtement avec rejingot reconstitué sur isolant

Dans les deux cas précédents, la continuité du traitement horizontal est assurée entre panneaux par la mise en œuvre d'une bavette de rejet d'eau.



▲ Figure 11 : Bavette de rejet d'eau

Le calfeutrement du joint horizontal n'est pas nécessaire. Dans l'hypothèse où ce calfeutrement est exécuté, une ouverture doit être aménagée au croisement des joints (verticaux et horizontaux) pour permettre aux eaux infiltrées de s'évacuer.

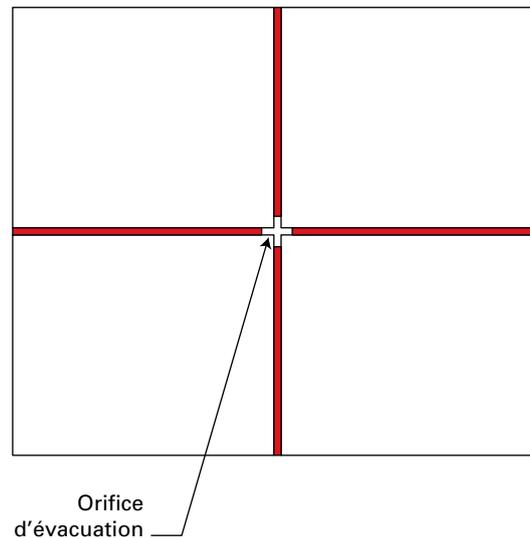
3.2.2.3. • Croisement des joints

Aux croisements des joints horizontaux et verticaux les conditions suivantes doivent être respectées, lorsque le joint horizontal est constitué d'un rejingot.

Pour un joint vertical à écran étanche et feuillure interne : si le plan des plages d'application de l'écran se trouve en avant du plan vertical de l'arête haute du rejingot, ce dernier est interrompu sur toute la largeur de la feuillure et sa continuité doit être rétablie, grâce à une bande étanche collée au sommet des éléments adjacents, de part et d'autre du joint vertical. L'écran vertical de l'étage supérieur doit recouvrir ce rejingot reconstitué qui, à moins qu'une autre disposition soit prise dans le même but, doit être aussi vertical que possible pour éviter le remplissage du vide par le béton de la liaison verticale. Si le plan des surfaces d'appui se trouve en arrière du plan vertical du rejingot, l'écran de l'étage supérieur doit passer devant le rejingot. La disposition intermédiaire dans laquelle le fond de feuillure se trouve en arrière du plan du rejingot en partie haute des éléments, tandis qu'il se trouve en avant de ce plan en partie basse, est favorable, si le remplissage du vide par le béton de la liaison verticale est évité.



Si le joint vertical comporte une chambre de « décompression », celle-ci doit en partie basse déboucher en avant du plan vertical passant par l'arête marquant le haut du rejingot. Aux croisements par lesquels il est prévu d'évacuer vers l'extérieur l'eau drainée dans le joint vertical, on doit réaliser une continuité de la forme de la tranche supérieure des éléments, grâce à un dispositif durable tel que, par exemple, une bande étanche collée au sommet des éléments de part et d'autre du joint vertical. Si le joint horizontal est laissé ouvert, cette disposition doit être appliquée à tous les croisements de joints, de façon que le vide de décompression vertical ainsi obturé à son extrémité haute soit abrité de la pénétration directe de l'eau au niveau du croisement. Si le joint horizontal est fermé, il n'est pas nécessaire d'appliquer cette disposition à tous les croisements. Par contre, pour que le pompage éventuel dans l'orifice d'évacuation ne puisse provoquer une pénétration d'eau par projection, la tranche haute des éléments doit avoir en avant du rejingot une forme de dièdre assez marquée de 90° à 120°, la retombée de la tranche basse ayant la forme complémentaire.



▲ Figure 12 : Illustration des croisements des joints horizontaux et verticaux



La nature des joints ne doit pas empêcher la libre dilatation des panneaux extérieurs, ils nécessitent un entretien régulier et un remplacement des joints abîmés ou durcis.

Les dispositions prises en vue d'assurer l'étanchéité entre les toitures-terrasses et les façades et entre éléments d'acrotère sont à étudier très attentivement. Elles doivent notamment tenir compte des possibilités de déformations différentielles très importantes entre ces ouvrages et du mode de liaison des acrotères avec le reste du gros œuvre. Ces points singuliers sont traités en fin du chapitre 5.



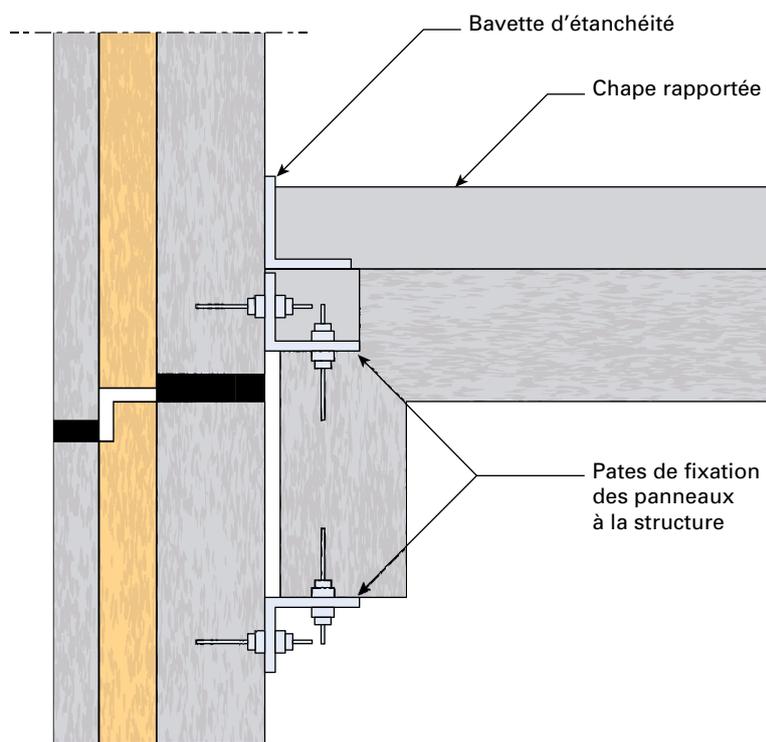
3.2.2.4. • Étanchéité entre logements superposés ou contigus

Une étanchéité suffisante devant être réalisée entre locaux contigus ou superposés, le gros œuvre ne doit pas mettre en cause l'étanchéité obtenue par les finitions et sols usuels, à moins que des dispositions spéciales soient définies.

Cette règle vise les risques d'infiltration d'eau provenant du lavage, de condensations sur les parois verticales, d'incidents sans gravité. Elle ne vise pas les risques résultant d'incidents graves pouvant être assimilés à des sinistres d'inondation (fuite franche de conduite d'eau, par exemple).

Dans le cas de murs porteurs, la liaison béton-béton entre les planchers et le panneau intérieur permet d'assurer l'étanchéité.

Dans le cas de murs non porteurs, une bavette peut être mise en œuvre en pied de mur afin de ponter le joint avec le nez de plancher.



▲ Figure 13 : Bavette d'étanchéité

Les joints « bout à bout » à remplissage de mastic ou serrage de cordon adhérent sans disposition complémentaire sont considérés comme insuffisants, sauf justifications spéciales concernant :

- les tolérances de fabrication et de mise en œuvre qui doivent être suffisamment étroites pour que, compte tenu des variations dimensionnelles des éléments, la section de l'espace à remplir soit comprise à l'intérieur de limites définies, l'une à partir de la déformation relative maximale admissible en service du produit de remplissage, l'autre à partir de ses propriétés de viscosité ;

- les produits de remplissage qui doivent avoir et garder les propriétés d'adhésivité et d'élasticité ou plasticité nécessaires ;
- les plages d'application du produit dont l'état de surface doit permettre un contact continu entre béton et produit et qui doivent se trouver suffisamment en retrait des arêtes pour que le dispositif ne puisse être contourné par l'eau traversant le béton moins compact au voisinage des arêtes ;
- la mise en place du produit qui ne doit pas être trop délicate et doit être réalisée par un spécialiste ;
- les possibilités d'entretien et de remplacement.

3.3. • Aspect thermique

3.3.1. • Contexte réglementaire

3.3.1.1. • RT dans le neuf et dans l'existant

La réglementation thermique se décline en deux réglementations concernant les bâtiments neufs (RT 2005 et RT 2012) et les bâtiments existants (RT existant globale et RT existant par éléments).

Bâtiments neufs

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

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

Bâtiments existants

La RT existant globale couverte par l'arrêté du 8 juin 2008 s'applique aux bâtiments construits après 1948 et aux rénovations importantes lorsque la surface du bâtiment est supérieure à 1 000 m² et lorsque le coût des travaux est supérieur à 25 % de la valeur du bâtiment concerné.

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



3.3.1.2. • Respect des exigences globales

Bâtiments neufs

La RT 2005 fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur la déperdition moyenne par transmission à travers l'enveloppe (Ubât), la consommation en énergie primaire (Cep) et la température intérieure de confort (Tic).

La RT2012 fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur le besoin bioclimatique (Bbio), les ponts thermiques (Ratio ψ), la perméabilité à l'air, la consommation en énergie primaire (Cep) et la Température intérieure de confort (Tic).

Bâtiments existants

La RT existant globale fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur la déperdition moyenne par transmission à travers l'enveloppe (Ubât), la consommation en énergie primaire (Cep) et la température intérieure de confort (Tic). Elle fixe par ailleurs une exigence de réduction de la Cep initiale.

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

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

Bâtiments neufs

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

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

Bâtiments existants

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

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

Les panneaux sandwichs lourds sont soumis aux exigences minimales synthétisées dans le (Tableau 3).



▲ Tableau 3 : Exigences réglementaires concernant les panneaux sandwichs lourds

RT		Exigences		
		U en W/(m ² .K)	Ψ en W/(m.K)	R en m ² .k/W
Neuf	2005	Up ≤ 0,45 pour les parois en contact avec l'extérieur Up ≤ 0,45/b pour les parois en contact avec un local non chauffé	ψ ≤ 0,65 pour dans le cas des maisons individuelles ψ ≤ 1,00 dans le cas des bâtiments d'habitation autres que les maisons individuelles ψ ≤ 1,20 dans le cas des bâtiments à usage autres que d'habitation	
	2012		ψ ≤ 0,6 pour les planchers intermédiaires	
Existant	Globale	Up ≤ 0,45 pour les parois en contact avec l'extérieur Up ≤ 0,45/b pour les parois en contact avec un local non chauffé		
	Par éléments			R _{totale} ≥ 2,3 pour les parois en contact avec l'extérieur de bâtiments situés en zone climatique H1, H2 et H3 ≤ 800 m R _{totale} ≥ 2,00 dans les autres cas

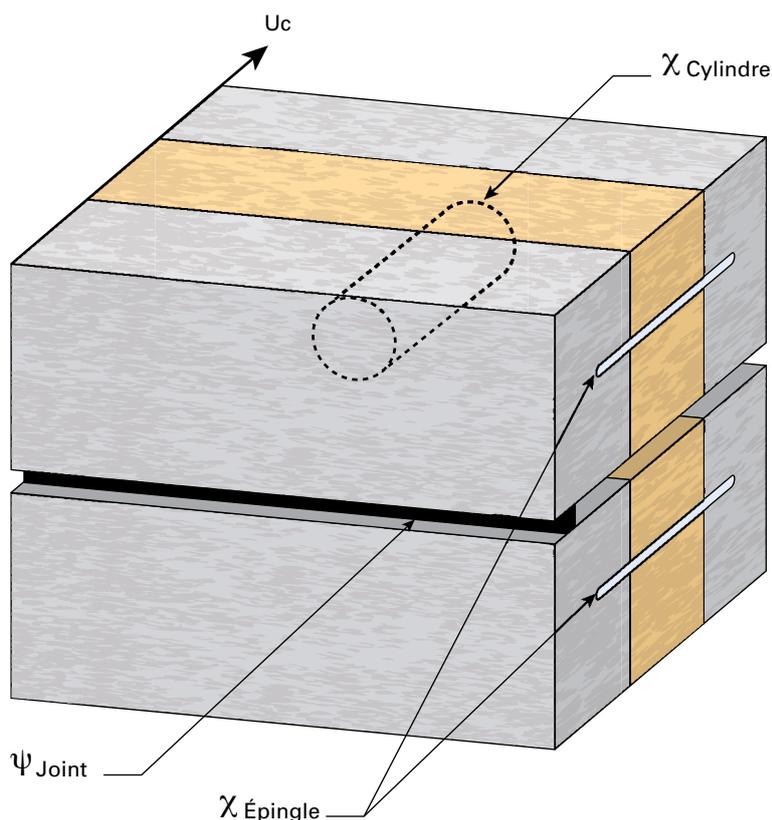
Les exemples numériques donnés au chapitre suivant permettent d'apprécier les valeurs des U qu'il est possible d'atteindre avec des murs de dimensions classiques.

3.3.2. • Performances thermiques intrinsèques du procédé

3.3.2.1. • Introduction

La performance thermique intrinsèque des panneaux sandwichs est caractérisée par un coefficient de transmission thermique surfaciques Up s'exprimant en W/(m².K). Le terme de résistance thermique (R) est généralement employé pour caractériser une couche homogène de matériau constituant une paroi.

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance thermique des panneaux sandwichs lourds sont avant tout le type d'isolant et son épaisseur. Les éléments de fixations (ancrages ou épingles) ainsi que les jonctions entre panneaux peuvent dégrader de façon significative la performance thermique en créant ce que l'on appelle des ponts thermiques intégrés voir, (Figure 14) ci-dessous. L'impact des ponts thermiques intégrés dépendra essentiellement des dimensions et de la nature des matériaux utilisés. Dans le cas des joints d'étanchéité, l'impact dépendra également du positionnement du joint.



▲ Figure 14 : Localisation des ponts thermiques intégrés

3.3.2.2. • Méthode de calcul

Le coefficient de transmission surfacique U_p de la paroi se calcule en additionnant la transmission thermique surfacique en partie courante U_c et le terme ΔU correspondant aux ponts thermiques intégrés induit par les éléments de fixations traversant l'isolant selon la formule générale suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U = U_c + \sum \frac{\Psi_i}{E_i} + \sum n_j \cdot \chi_j$$

Où

U_c est le coefficient de transmission surfacique en partie courante calculé à partir de la relation suivante :

$$U_c = \frac{1}{R_{se} + R_T + R_{si}}$$

$$W / (m^2 \cdot K)$$

R_{se} est la résistance superficielle extérieure ($R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot K/W$)

R_{si} est la résistance superficielle intérieure ($R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot K/W$ dans le cas d'une paroi verticale)



R_T est la somme des résistances thermiques des couches de matériaux homogènes constituant la paroi, exprimée en $m^2.K/W$:

$$R_T = \sum_n \frac{e_n}{\lambda_n}$$

e_n est l'épaisseur du matériau constituant la couche j du procédé en partie courante m ,

λ_n est la conductivité thermique du matériau de la couche j , $W / (m K)$

Ψ_i est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique intégré i , exprimé en $W/(m.K)$

E_i est l'entraxe du pont thermique linéique i , exprimé en m

X_j est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique intégré j , exprimé en W/K

n_j est le nombre de ponts thermiques ponctuels j par m^2 de paroi

3.3.2.3. • Valeurs précalculées des ponts thermiques intégrés

Les coefficients ψ_i et X_j doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou plus généralement selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts thermiques forfaitaires donnés ci-après peuvent être utilisées.

▲ Tableau 4 : Coefficient X_j des ancrages

e isolant [mm]	χ_j [W/K]				
	Cylindre en acier inox + béton		Plat en acier inox	Connecteur en fibre de verre	Connecteur en acier inox
	$\varnothing = 250$	$\varnothing = 100$	≤ 3 mm	$\varnothing \leq 16$ mm	$\varnothing \leq 8$ mm
60	0,41	0,19	0,11	Négligeable	0,012
140	0,33	0,15	0,08		0,007
200	0,27	0,12	0,06		0,004

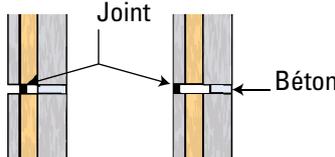
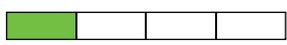
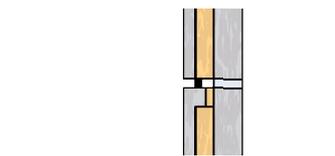
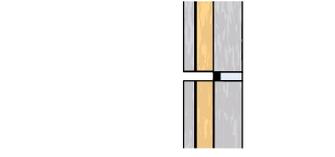
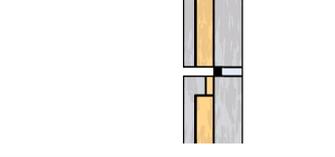
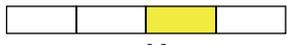
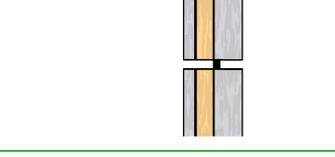
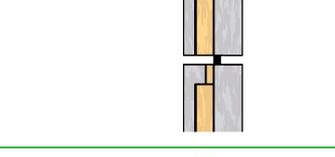
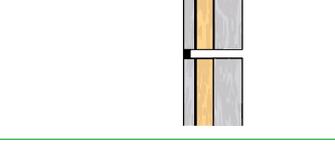
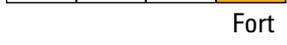
La valeur du pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité peut varier de façon importante en fonction des dispositions prises lors de la mise en œuvre des joints d'étanchéité. Le Tableau 6 donne les valeurs de ponts thermiques à considérer en fonction du type de joint utilisé.



▲ **Tableau 5 :** Grille d'estimation des coefficients ψ des joints d'étanchéité

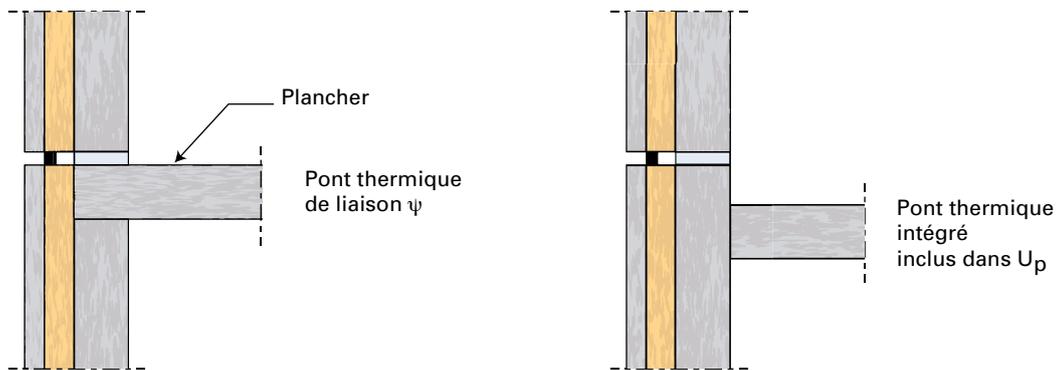
Pont thermique	Très faible	Faible	Moyen	Fort
ψ (W/m.K)	0,05	0,20	0,40	0,75

▲ **Tableau 6 :** Performance relative des joints d'étanchéité

Type de joint		Classement du pont thermique ψ
Type 1 Joint du côté extérieur de l'isolant + béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant		 Très faible
Type 2 Joint du côté extérieur de l'isolant + béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant		
Type 3 Joint du côté intérieur de l'isolant + béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant		 Faible
Type 4 Joint du côté intérieur de l'isolant + béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant		
Type 5 Joint du côté intérieur de l'isolant + sans béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant		 Moyen
Type 6 Joint du côté intérieur de l'isolant + sans béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant		
Type 7 Joint du côté extérieur de l'isolant + sans béton à mâter avec ou sans réduction de l'épaisseur de l'isolant		 Fort

À noter

Les ponts thermiques situés au niveau des joints d'étanchéité peuvent avoir un impact très important sur la déperdition par transmission à travers les parois. On attire l'attention sur le fait que selon les cas, le pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité pourra être considéré soit comme un pont thermique intégré soit comme un pont thermique de liaison suivant son positionnement par rapport aux autres parois, voir (Figure 15).



▲ Figure 15 : Affectation du pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité en fonction du positionnement du plancher

3.3.2.4. • Exemple de calcul

Description de la paroi :

- Panneau 3 x 6 m posé horizontalement
- Voile béton extérieur d'épaisseur = 7 cm
- Caractéristique de l'isolant : $e = 14$ cm, $\lambda = 0,035$ W/(m.K)
- Voile béton intérieur d'épaisseur = 16 cm
- Un cylindre en acier inox de diamètre 250 mm
- Connecteurs en acier inox (2/m²)
- Joint vertical de type 1
- Joint horizontal de type 4

$$U_c = 1 / (0,17 + (0,14 / 0,035) + (0,07 + 0,16) / 2) = 0,233 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$\chi \text{ (cylindre)} = 0,33 \text{ W/K} \quad n_1 = 1 / (3 \times 6) = 0,055 \text{ /m}^2$$

$$\chi \text{ (connecteur)} = 0,007 \text{ W/K} \quad n_2 = 2 \text{ /m}^2$$

$$\psi \text{ (joint vertical)} = 0,05 \text{ W/m.K} \quad \text{entraxe} = 6 \text{ m}$$

$$\psi \text{ (joint horizontal)} = 0,40 \text{ W/m.K} \quad \text{entraxe} = 3 \text{ m}$$

On étudie deux cas de figure :

- Cas 1 : joint horizontal situé au niveau du nez de dalle

$$\Delta U_2 = 0,05/6 + 0,33 \times 0,055 + 0,007 \times 2 = 0,008 + 0,018 + 0,014 = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$U_{p2} = 0,233 + 0,04 = 0,273 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$



Dans ce cas, le pont thermique du joint horizontal doit être pris en compte dans le pont thermique de liaison.

- Cas 2 : joint horizontal pris en compte dans U_p (cas de la façade non porteuse avec un joint d'étanchéité décalé par rapport au nez de dalle)

$$\Delta U_2 = 0,05/6 + 0,4/3 + 0,33 \times 0,055 + 0,007 \times 2 = 0,008 + 0,133 + 0,018 + 0,014 = 0,173 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{p2} = 0,233 + 0,173 = 0,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

3.3.3. • Ponts thermiques des liaisons

3.3.3.1. • Introduction

Les déperditions par transmission à travers l'enveloppe sont séparées en deux parties avec d'un côté les coefficients de transmission surfaciques U_p des parois incluant les ponts thermiques intégrés (ψ_i et χ_j) et de l'autre côté les déperditions par transmission au niveau des ponts thermiques de liaison (ψ). On note que les déperditions par transmission linéique à la jonction entre les parois vont dépendre à la fois de la composition des panneaux sandwichs lourds, mais également de la composition des parois adjacentes (planchers, refends, baies, etc.).

3.3.3.2. • Méthode de calcul

Les ponts thermiques de liaison doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou plus généralement selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts thermiques fournies au paragraphe (cf. 3.3) peuvent être utilisées.

3.3.3.3. • Valeurs tabulées

▲ Tableau 7 : Valeurs tabulées

Type de liaison	Schéma	Pont thermique
Liaison entre le mur et la baie		Pré cadre métallique filant et traversant l'isolant Moyen
		Réduction de l'épaisseur de l'isolant (pré cadre ponctuel ou filant bois ou métal) Moyen
		Pré cadre bois filant ou fixations métalliques ponctuelles traversant l'isolant ou pré cadre métallique filant non traversant Faible
Liaison entre le mur et un plancher bas		Isolation en sous face sans descente d'isolation, ou isolation sous chape (avec ou sans descente d'isolation) Fort
		Avec descente retour d'isolation le long du soubassement Moyen
Liaison entre le mur et un plancher intermédiaire ou un refend		Sans joint d'étanchéité Très faible
		Avec joint d'étanchéité Faible
		Joint type 1 à 3 Joint type 4 à 7 Fort
Liaison entre un mur et un plancher haut		Acrotère non isolé Fort
		Acrotère avec remonté d'isolant (non fermée) Moyen
		Acrotère avec remonté d'isolant (fermée) Faible $R_i \geq 4 \text{ m}^2.K/W$ Moyen $R_i < 4 \text{ m}^2.K/W$
Liaison au niveau d'un angle sortant ou rentrant		 Faible





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

Les murs sandwichs lourds contribuent de façon significative à l'amélioration de l'inertie thermique du bâtiment essentiellement grâce au voile en béton situé du côté intérieur. En effet, la masse de béton située du côté intérieur permet le stockage des apports solaires en provenance des baies. L'impact sur l'inertie sera d'autant plus important que l'épaisseur du voile en béton sera importante.

Le stockage des apports solaires permet d'améliorer le confort thermique, en particulier en période estivale où les pics de chaleur de la journée sont absorbés puis évacués la nuit par surventilation. La mise en place de composants légers (complexe de doublage ou ouvrage à base de plaque de plâtre, etc.) rapportés du côté intérieur peut néanmoins limiter l'effet de l'inertie du voile en béton.

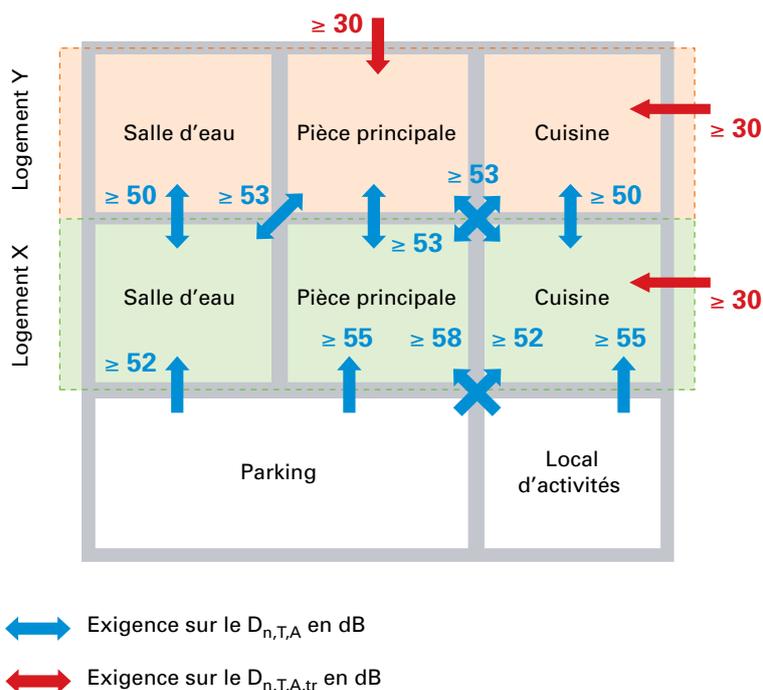
3.4. • Aspect acoustique

3.4.1. • Principe de détermination des performances acoustiques

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

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

- bâtiments d'habitation (arrêté du 30 juin 1999) ;
- hôtels (arrêté du 25 avril 2003) ;
- établissements d'enseignement (arrêté du 25 avril 2003) ;
- établissements de santé (arrêté du 25 avril 2003).



▲ Figure 16 : Exigences réglementaires pour les bâtiments d'habitation — Isolement au bruit aérien (non exhaustif)



▲ Figure 17 : Passage de la performance des produits à la performance de l'ouvrage (application aux façades)

Le type de système objet de ce document étant présent principalement en façade, porte une contrainte acoustique spécifique, principalement orientée sur l'isolement au bruit aérien intérieur, mais aussi sur l'isolement au bruit aérien vis-à-vis de l'extérieur.

3.4.2. • Traitement des jonctions des panneaux porteurs de façade avec les refends

Comportement en transmission directe (isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur).

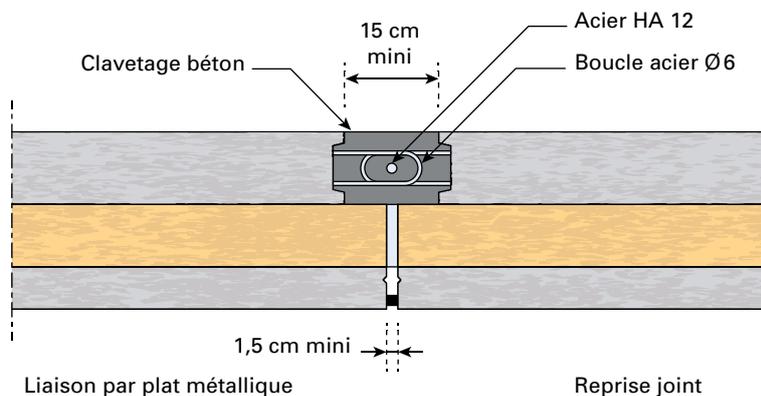
Remarque : ici, le cas porteur ou non porteur a une importance secondaire.

Performance produit : $R_w + C_{tr}$ en dB.



L'indice d'affaiblissement de la partie courante de ce type de produit ne peut pas être inférieur à 40 dB et est difficilement inférieur à 45 dB ($R_{A,tr}$). Cependant, un point de vigilance important est à porter aux jonctions (panneau/panneau ; panneau/fenêtre ; panneau/porte) pour ne pas créer de fuites d'air ou de défauts d'isolement acoustique.

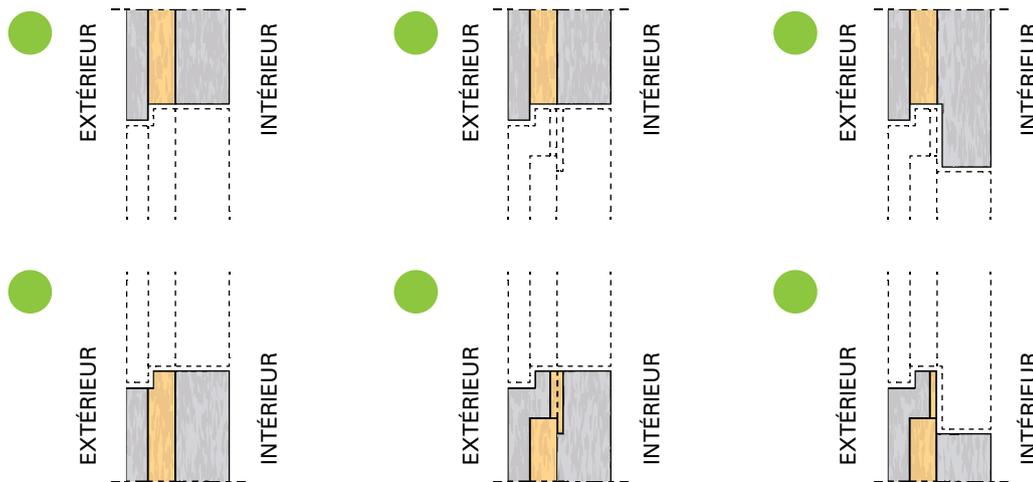
Analyse critique de quelques dispositions de jonctions panneaux/panneaux et panneau/fenêtre vis-à-vis de l'isolement direct.



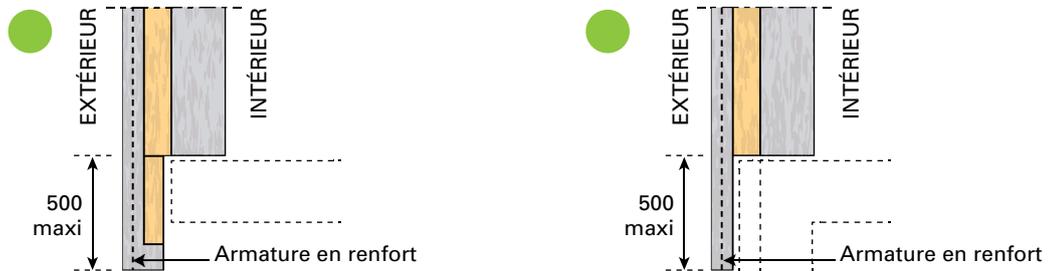
▲ Figure 18 : Clavetage béton de la peau intérieure — Bonne disposition mais attention car la difficulté à vibrer ce type de coulage peut laisser des zones de porosités très néfastes sur le plan acoustique



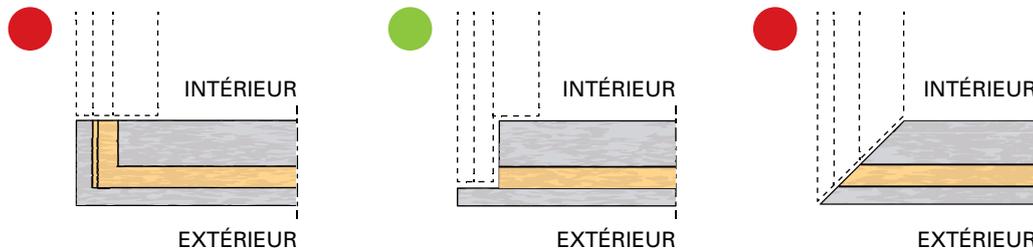
JONCTION AVEC LA MENUISERIE



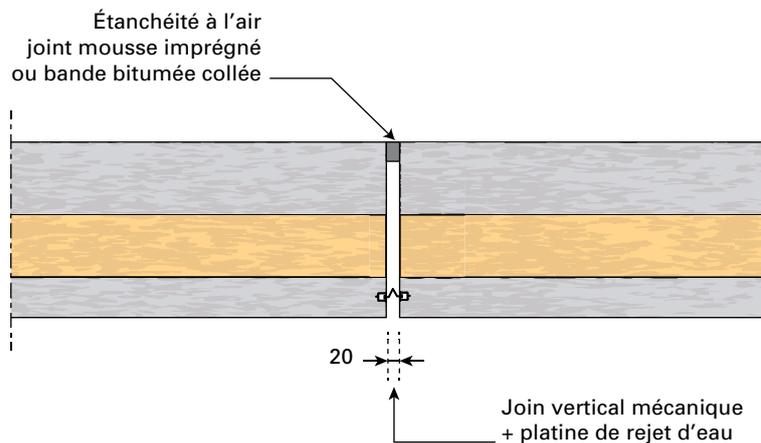
JONCTION EN PIED DE MUR



JONCTION D'ANGLE



▲ Figure 19 : Différents cas de jonctions — En vert des cas plus favorables sur le plan acoustique en rouge des cas plus défavorables. Dans cette figure, on peut considérer comme plus favorables les jonctions présentant un décrochement (en vert) par rapport aux jonctions droites (en rouge).

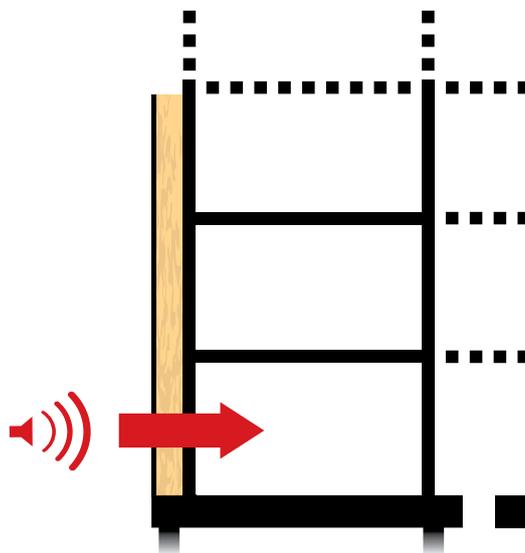


▲ Figure 20 : Disposition de jonction panneau-panneau sans clavetage béton, avec risque de problème d'étanchéité élevé. Cette disposition est à exclure dans la mesure du possible en cas d'exigence acoustique d'isolement entre intérieur et extérieur.



Performance *in situ* : isolement acoustique au bruit aérien
 $D_{n,T,A,tr} = D_{n,T,w} + C_{tr}$ en dB

Sauf dans des cas extrêmes ou un isolement de façade supérieur à 40 dB serait recherché, la performance du panneau ne devrait pas contribuer sensiblement à l'isolement entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Une attention toute particulière devra être portée aux points singuliers (différentes jonctions).



▲ Figure 21

Pour les très forts isollements (≥ 38 dB), dans des configurations de petites pièces en pignon, si le voile intérieur du panneau est inférieur à 150 mm, il faudrait faire un calcul, pour être sûr que la composition ne soit pas trop défavorable.

Modification de la transmission latérale (isolement acoustique entre deux locaux contigus en façade) :

Dans le cas porteur, qui implique un liaisonnement des panneaux préfabriqués entre eux et avec les planchers ou refends, les méthodes européennes de calculs (EN 12354-1 à 6) peuvent s'appliquer. Cela simplifie fortement l'approche en conception qui reste standard.

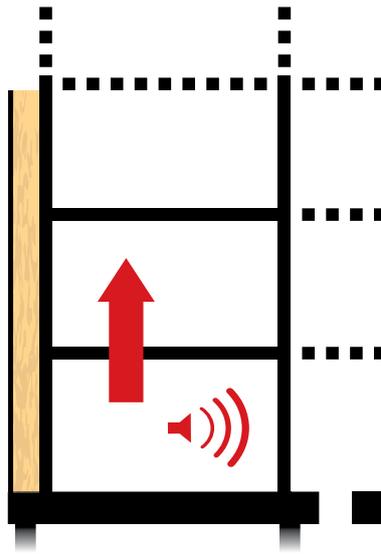
Performance produit pour un panneau sandwich porteur : $R_w + C$ en dB du voile béton intérieur

La performance du produit qui rentre en compte dans le calcul de l'isolement intérieur entre deux pièces contiguës en façade est uniquement l'indice d'affaiblissement du voile béton intérieur.

Le cas du voile béton est pris de façon générique dans l'approche européenne (EN 12354).

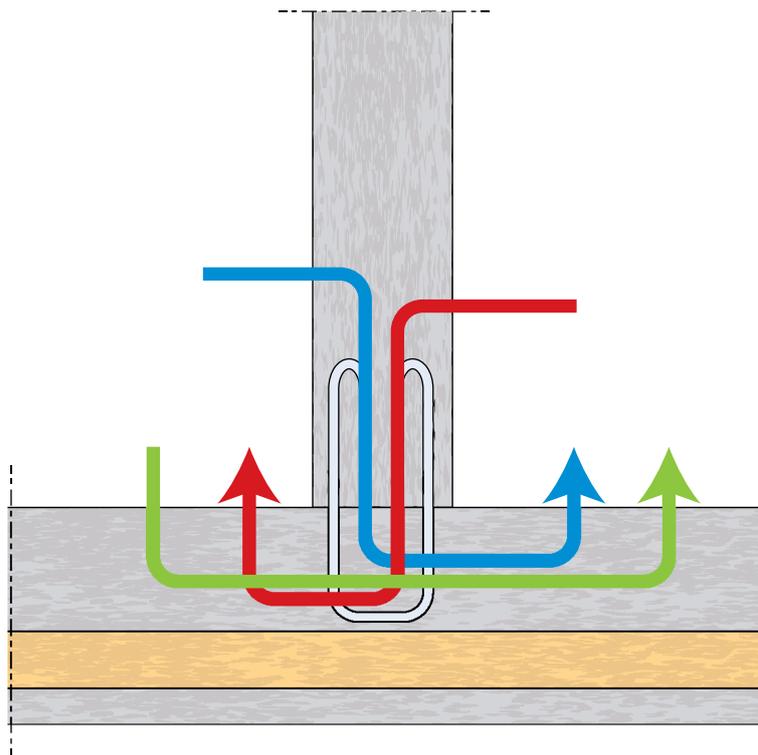
Performance *in situ* : isolement au bruit aérien $D_{n,T,A} = D_{n,T,w} + C$ en dB

Niveau réglementaire : les principaux isollements réglementaires dans le logement collectif sont typiquement compris entre 50 et 58 dB.



▲ Figure 22 : Illustration de transmission acoustique entre deux logements

Dans le cas d'un système porteur, les panneaux comportent un voile intérieur supérieur ou égal à 160 mm et sont pris en compte de façon traditionnelle, ils ne présentent pas de spécificité acoustique particulière.



▲ Figure 23 : Exemple de liaison refend panneau en partie courante — Chemins de transmissions latéraux proches d'une jonction enT classique d'un refend sur voile de façade



3.5. • Aspect dimensionnement structural

3.5.1. • Panneaux porteurs et non porteurs

Les constructions doivent être stables et ne présenter ni désordre ni déformation excessive sous les charges qui peuvent leur être appliquées.

On s'assurera que les efforts appliqués aux éléments et résultant des combinaisons d'action incluant le poids propre, les charges d'exploitation et les actions sur les structures sont inférieurs aux efforts qui entraînent l'apparition des états limites à considérer.

Les charges diverses et leurs conditions d'application sont définies par l'Eurocode 1.

Il est possible de disposer dans la paroi intérieure des armatures qui seraient nécessaires pour satisfaire les bonnes conditions de ferrailage des murs non armés, faiblement armés ou armés au sens de l'Eurocode 2. Ce ferrailage peut être pris en compte pour la vérification locale des états limites ultimes aussi bien que pour la vérification des états limites de service.

3.5.2. • Découpage en panneaux élémentaires

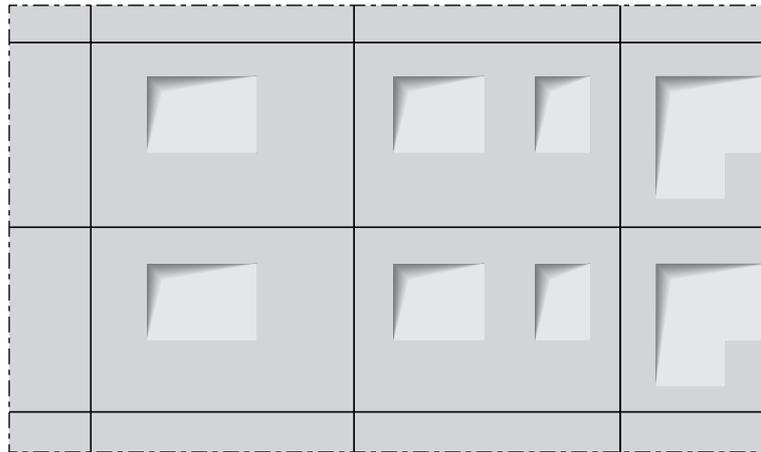
Le découpage d'une façade en panneaux préfabriqués élémentaires tient une place prépondérante dans toute l'étude qui en découle. C'est pourquoi il doit être décidé avant les études de dimensionnement. Il détermine la position des joints horizontaux et verticaux aux travers desquels il convient d'assurer le monolithisme structural par les vérifications explicitées ci-après.

Les joints sont positionnés de façon à ne pas réduire la raideur du mur dans son sens porteur privilégié.

En particulier, pour les murs dont la flexion se fait dans un plan vertical, les joints horizontaux sont disposés à proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, etc.).

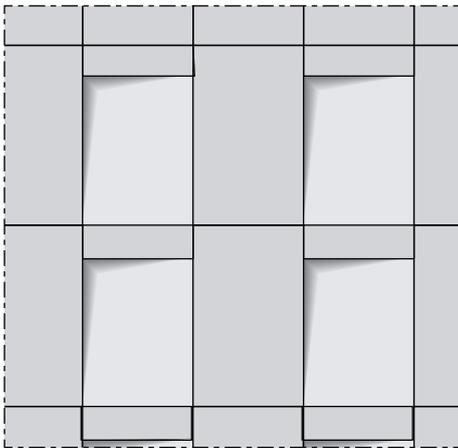
L'une des spécificités du panneau sandwich est de garantir la libre dilatation de la paroi extérieure. Cela nécessite un positionnement des organes assurant la connexion de la paroi extérieure au noyau porteur sans bloquer la dilatation horizontale et verticale. Des connecteurs sont aussi prévus régulièrement répartis pour reprendre la poussée du vent.

La notion de libre dilatation implique également des joints vides de tout matériau entre panneau côté parement extérieur. Cela entraîne donc une contrainte architecturale qu'il faut intégrer en amont de l'étude en accord avec l'architecte.

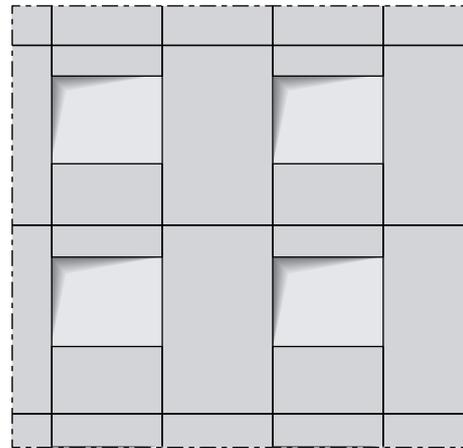


▲ Figure 24 : Découpage en panneaux-baies

Trumeaux seuls (a) ou avec allèges (b)



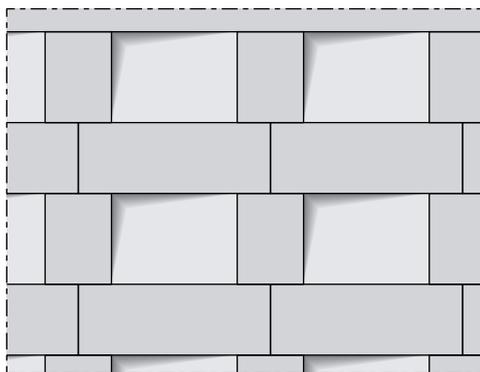
a



b

▲ Figure 25 : Découpage en trumeaux

Allèges avec trumeaux (a) ou seules (b)



a



b

▲ Figure 26 : Découpage en allèges

Selon leur découpage, il convient d'assimiler un panneau soit à un voile soit à un poteau selon le rapport des dimensions de section utile.

Dans le cas des panneaux identifiés comme « voile », il convient de distinguer les panneaux participant au contreventement de la structure, qualifiés de primaires, de ceux n'y participant pas considérés



comme secondaires. Ces derniers sont alors supposés ne transmettre que des charges verticales.

Les actions permanentes G_k ont pour origine :

- poids propre de la partie structurale du panneau ;
- poids propre de la paroi extérieure.

Dans le cas de panneau porteur, il convient de considérer en sus :

- charges permanentes ramenées par la structure.

Les actions variables ont pour origine :

W – vent ;

S – neige ;

Q – surcharges d'exploitation ramenées par la structure dans le cas de panneau porteur ;

T – effet thermique.

Les situations d'actions accidentelles A_d dans lesquelles peuvent être impliqués les panneaux sont les suivantes :

$A_{fi,d}$ – incendie ;

A_{Ed} – séisme.

La détermination des combinaisons se fait selon les principes de l'Eurocode 0 et Eurocode 1.

3.5.3. • Prise en compte des spécificités des panneaux dans leur justification

3.5.3.1. • Prise en compte des conditions d'appui des panneaux pour la détermination des sollicitations

Liaisons le long des bords horizontaux

Les hypothèses faites sur les liaisons conduisent à adopter l'un des deux schémas d'appui de calculs suivants :

- articulation du panneau le long de ses bords horizontaux ;
- encastrement partiel du panneau et des éléments avec lesquels il est en contact le long de ses bords horizontaux (généralement les planchers) ; le caractère « partiel » s'entendant « au prorata des raideurs rotationnelles » des éléments aboutissant au nœud examiné.

Il s'avère que dans la pratique ce soit le schéma de l'articulation qui est le plus répandu et cela pour des questions de facilité d'exécution ; l'encastrement partiel conduisant à des sujétions de mise en œuvre du ferrailage au nœud de liaison.

Liaisons le long des bords verticaux

Un panneau est reconnu assujéti le long d'un bord vertical lorsqu'il est lié à un élément raidisseur normal au panneau :

- soit par la mise en place dans le joint d'armatures convenables appropriées ;
- soit par la disposition géométrique des panneaux eux-mêmes.

L'élément raidisseur transversal peut être considéré comme élément de contreventement.

Dans le cas contraire, le bord vertical est considéré comme libre.

3.5.3.2. • Prescriptions spécifiques sur les excentricités

Généralités

L'excentricité totale est définie comme suit :

$$e_{tot} = e_i + e_o$$

e_i : excentricité couvrant les imperfections géométriques

e_o : excentricité du 1^{er} ordre liée aux effets de planchers et actions horizontales

Les excentricités sont détaillées ci-après, dans une partie qui leur est consacrée.

3.5.4. • Prise en compte de l'excentricité de l'effort normal

3.5.4.1. • Excentricité due aux imperfections géométriques

Comme aucun distinguo n'est fait entre éléments coulés en place et éléments préfabriqués en usine, où il est légitime de penser que pour ces derniers leur imperfection est moindre, il y a lieu de tenir compte des imperfections dues aux tolérances d'exécution en retenant une excentricité de $l/400$ sur la position de l'effort normal.

Art. 5.2.(9) – NF EN 1992-1-1

De plus toute section soumise à un effort de compression, il convient d'adopter une excentricité minimale de $h/30$ ou 20 mm si cette valeur est supérieure.

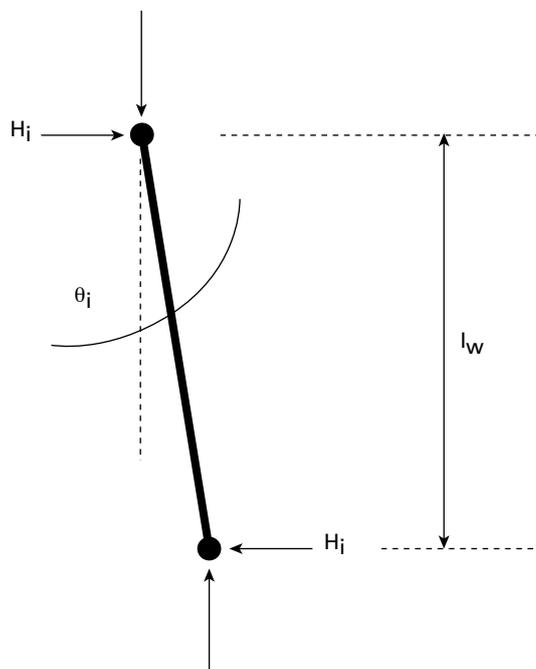
Art. 6.1.(4) – NF EN 1992-1-1



En synthèse :

$$e_i = \max \left(\frac{l_w}{400} ; \frac{h_w}{30} ; 2 \text{ cm} \right)$$

L'effort horizontal H_i nécessaire à équilibrer cet excentrement transite par les planchers jusqu'aux voiles de contreventement perpendiculaires au plan des panneaux.



▲ Figure 27 : Localisation de l'effort d'équilibrage H_i

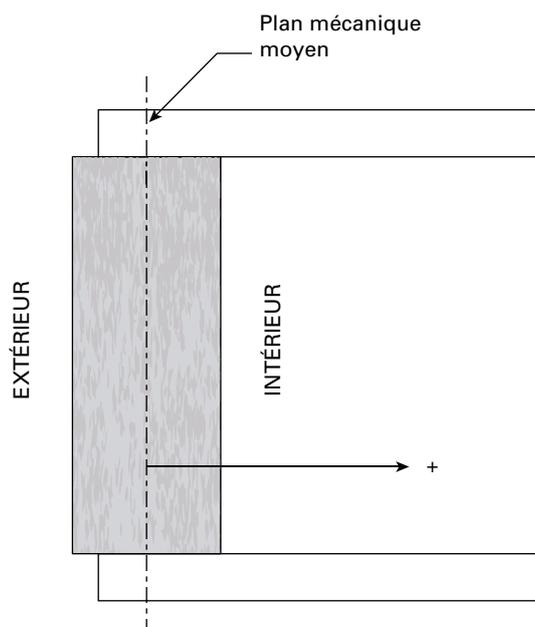
3.5.4.2. • Excentricité initiale

Repérage des excentricités

Le plan parallèle aux parements d'un panneau et passant par le centre de gravité de la section résistante horizontale est appelé « plan mécanique moyen ».

La position du centre des pressions dans la section du panneau est repérée par son excentricité par rapport au plan mécanique moyen.

Ces excentricités sont comptées algébriquement. Le sens positif est le sens orienté de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment. De ce fait l'excentricité positive d'une charge a pour effet de tendre la fibre extérieure alors qu'une excentricité négative, la fibre intérieure.



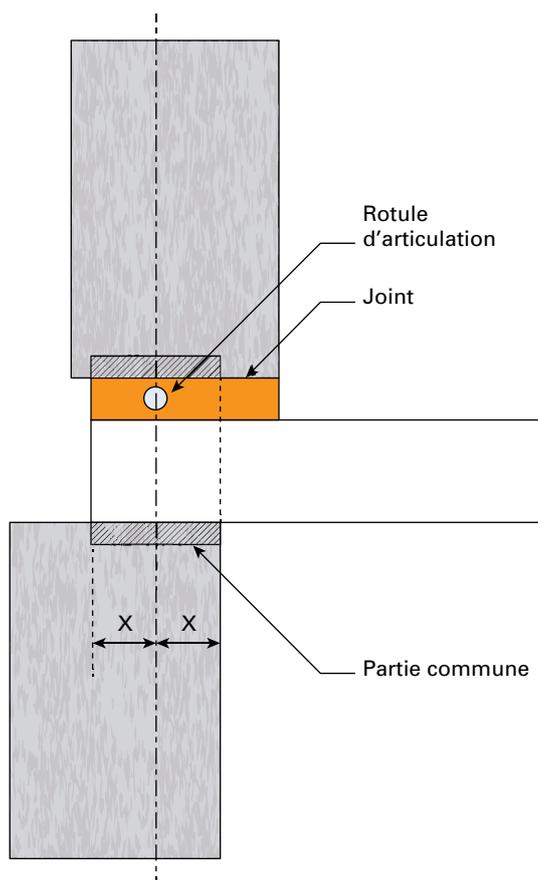
▲ Figure 28 : Positionnement du plan mécanique moyen

Les excentricités sont comptées algébriquement, le sens positif étant le sens dirigé de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment.

Position des rotules d'articulation dans les sections d'extrémité des panneaux

La position de la rotule d'articulation peut être confondue avec le centre de gravité de la partie commune aux projections horizontales :

- de la section du joint ;
- de la section d'extrémité du panneau considéré ;
- de la section d'extrémité de l'autre panneau aboutissant au joint.



▲ Figure 29

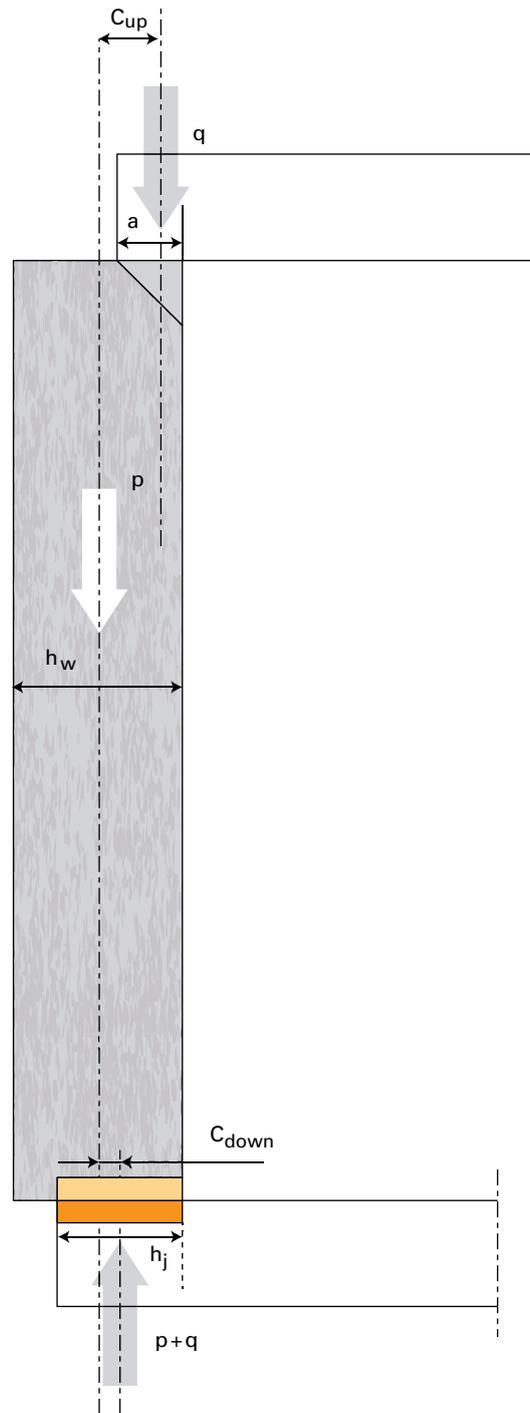
Excentricité due aux appuis des planchers et des murs (e_f)

Elle s'évalue par simple application des lois de la résistance des matériaux compte tenu de certaines hypothèses relatives aux points d'application des forces.

Dans le cas de panneaux homogènes de section rectangulaire, et dans l'hypothèse de la distribution triangulaire des contraintes d'appui, les valeurs c_{up} et c_{down} sont égales respectivement à :

$$c_{up} = \frac{h_w}{2} - \frac{a}{3}$$

$$c_{down} = \frac{1}{2}(h_w - h_j)$$



▲ Figure 30

p : poids par unité de longueur du panneau

q : charge par unité de longueur apportée par le plancher

n'_{up} : effort normal par unité de longueur apporté par l'ensemble de la construction dans la section d'extrémité supérieure (n'_{up} comprend q)

n'_{down} : effort normal par unité de longueur apporté par l'ensemble de la construction dans la section d'extrémité inférieure ($n'_{down} = n'_{up} + p$)

c_{up} : excentrement du point d'application de la charge q . On suppose généralement la répartition triangulaire



c_{down} : excentrement de la réaction au joint supposée appliquée au milieu de la largeur de contact panneau/joint

h_w : épaisseur du panneau

a : profondeur d'appui du plancher

h_j : largeur du joint

Dans la section d'extrémité supérieure :

$$(e_f)_{up} = c_{up} \cdot \frac{q}{n'_{up}}$$

Dans la section à mi-hauteur du panneau :

$$(e_f)_{mid} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q \cdot c_{up} + (p+q) \cdot c_{down}}{n'_{up} + \frac{p}{2}} \right)$$

Dans la section d'extrémité inférieure :

$$(e_f)_{down} = c_{down} \cdot \frac{(p+q)}{n'_{down}}$$

Important

Si les éléments de planchers sont préfabriqués, il est tenu compte uniquement du poids propre de l'élément préfabriqué dans l'évaluation de q .

Si le plancher est coulé en place, cette excentricité n'est pas à envisager.

Désaxements structurels et accidentels (e_a)

Ces désaxements ont trois origines possibles :

- désaxement structurel d_0 pouvant exister entre joints et panneaux (Figure a) ;
- désaxement structurel d_1 pouvant exister entre deux panneaux superposés (Figure b) ;

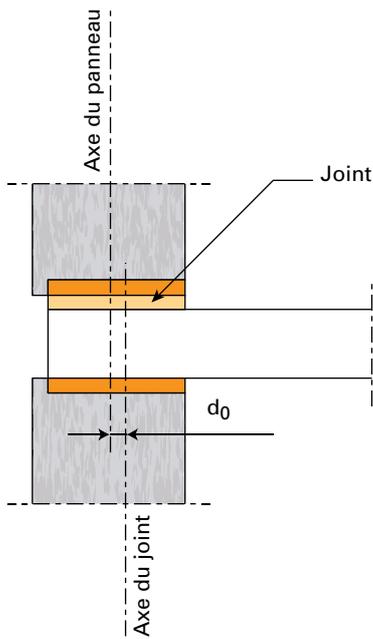


Fig. (a)

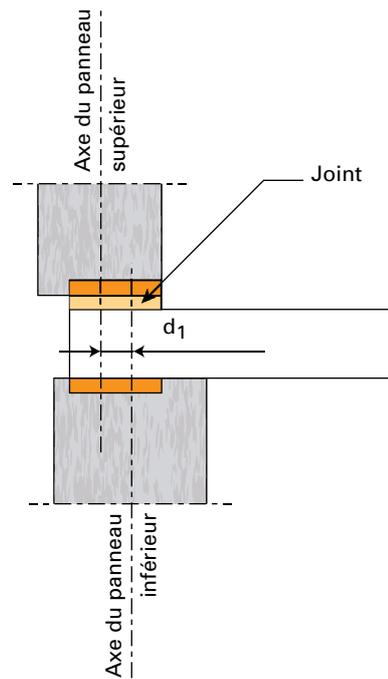


Fig. (b)

▲ Figure 31

- désaxement accidentel d_2 dû aux erreurs de pose.

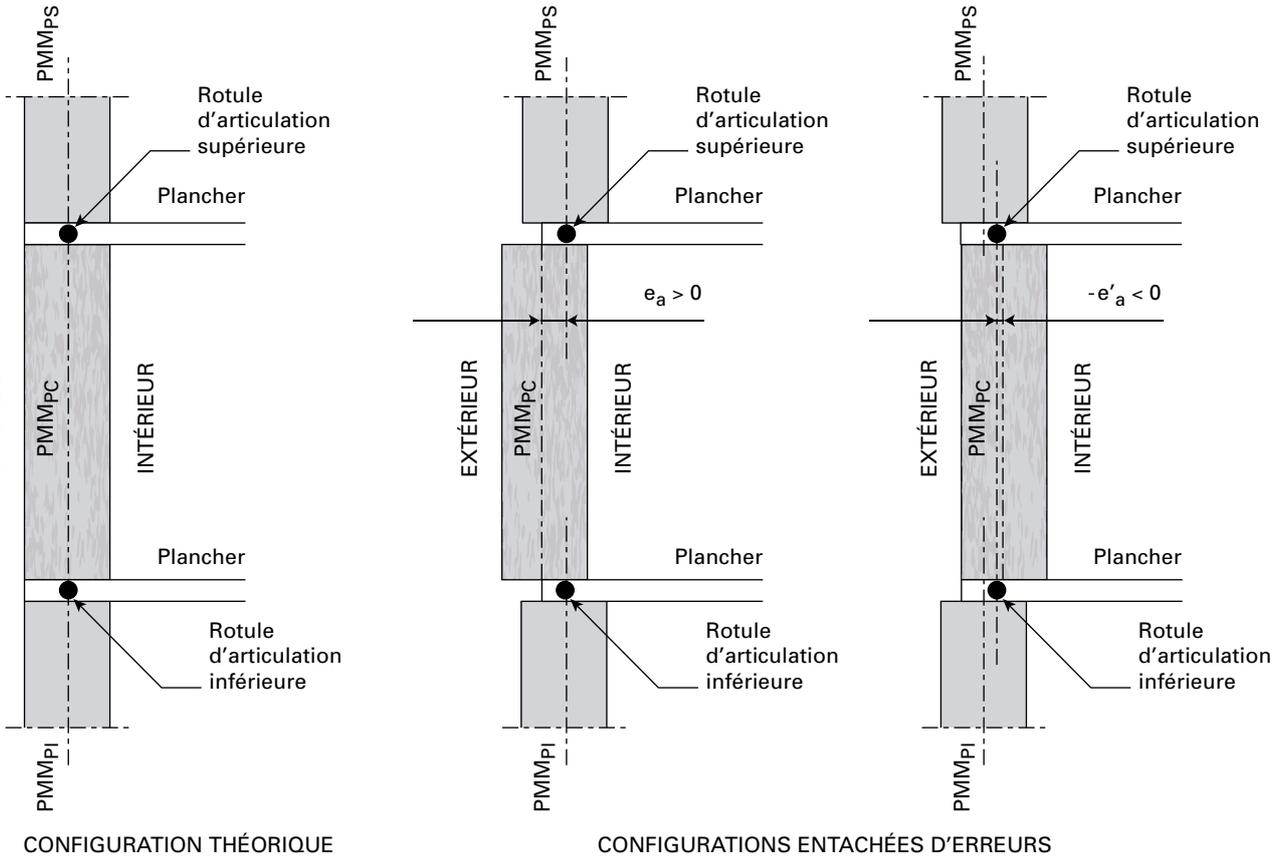
La valeur de désaxement d_2 peut être prise égale à :

- 15 mm si le panneau inférieur est visible lors de la pose ;
- 25 mm dans le cas contraire.

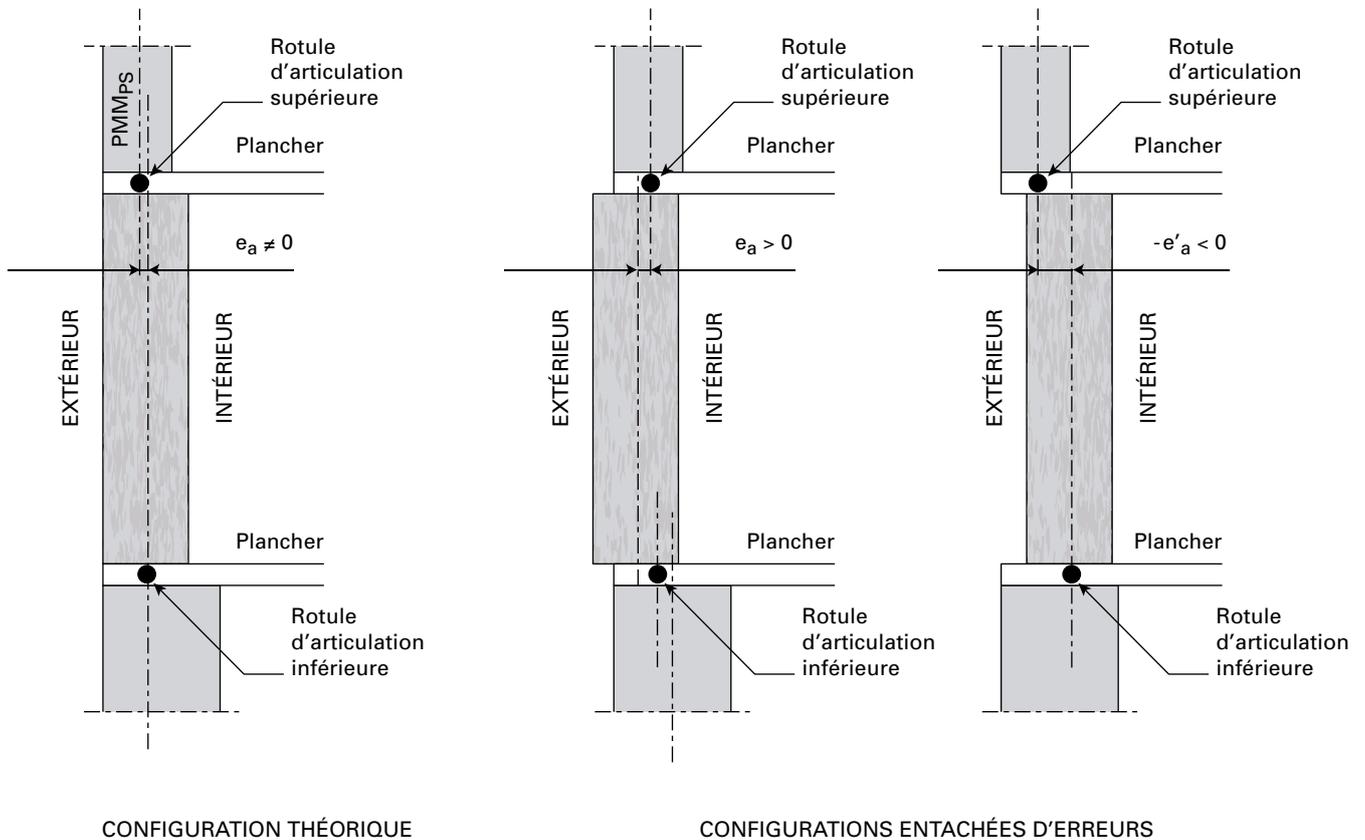
Sont désignées par :

e_a : la valeur positive de l'excentricité accidentelle

$-e'_a$: la valeur négative de l'excentricité accidentelle



▲ Figure 32 : Cas d'un mur constitué de panneaux identiques.



▲ Figure 33 : Cas d'un mur constitué de panneaux d'épaisseurs différentes

Excentricité due au désaxement des joints par rapport aux panneaux e_j

Dans un schéma de continuité des panneaux, le désaxement total du joint par rapport au plan moyen réel du panneau est égal à :

$$d_t = d_0 \pm d_h$$

L'effort vertical en provenance des étages supérieurs est supposé appliqué au panneau inférieur avec une excentricité e_j constante sur toute la hauteur du panneau. Elle se calcule comme indiqué ci-après.

La section horizontale du joint a une largeur conventionnelle égale à :

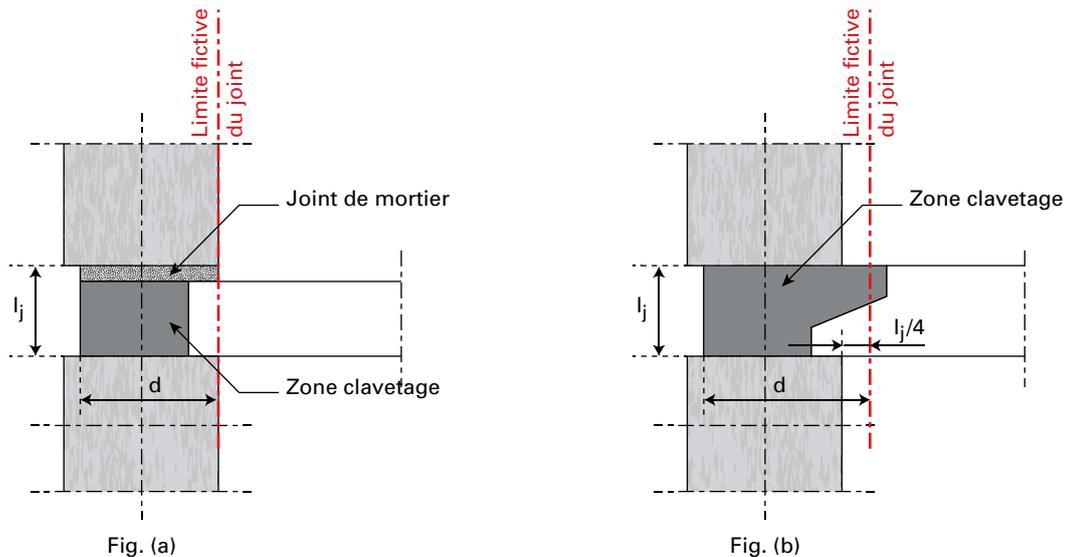
d : dans le cas d'un plancher posé avec interposition d'une couche de mortier (fig. a) ;

$d + l_j/4$: dans le cas d'un joint de béton coulé en place et convenablement liaisonné au plancher (fig. b).

avec :

d : profondeur d'appui

l_j : hauteur du joint



▲ Figure 34 : Largeur conventionnelle du joint

L'excentricité e_j est donnée en valeur algébrique par :

$$e_j = \frac{d_t}{1 + \frac{R_j}{R_m}}$$

avec :

R_w : raideur du mur

$$R_w = \frac{E_w \cdot I_w}{l_w}$$



R_j : raideur du joint

$$R_j = v \cdot \frac{E_j \cdot I_j}{l_j}$$

où :

E_w : module d'élasticité du mur

I_w : moment d'inertie de la section horizontale du panneau par rapport à l'axe longitudinal passant par le centre de gravité

l_w : hauteur du panneau

E_j : module d'élasticité du joint

I_j : moment d'inertie de la section horizontale conventionnelle du joint

l_j : hauteur du joint

v : coefficient dépendant de la capacité de déformation du contact panneau/joint

$v = 0,75$ dans le cas de possibilité de déformation au contact panneau/joint

(exemple : interposition d'une couche de mortier entre le panneau du mur et le joint)

$v = 1,00$ dans tous les autres cas

Le moment M_1 sollicitant les sections d'extrémité des panneaux résulte des désaxements envisagés ci-dessus.

Notons : (fig. c)

$e_{j,down}$: excentricité calculée en partie inférieure du panneau

$e_{j,up}$: excentricité calculée en partie supérieure du panneau

Le moment sollicitant s'écrit :

$$M_1 = z \cdot n'_{mid}$$

avec :

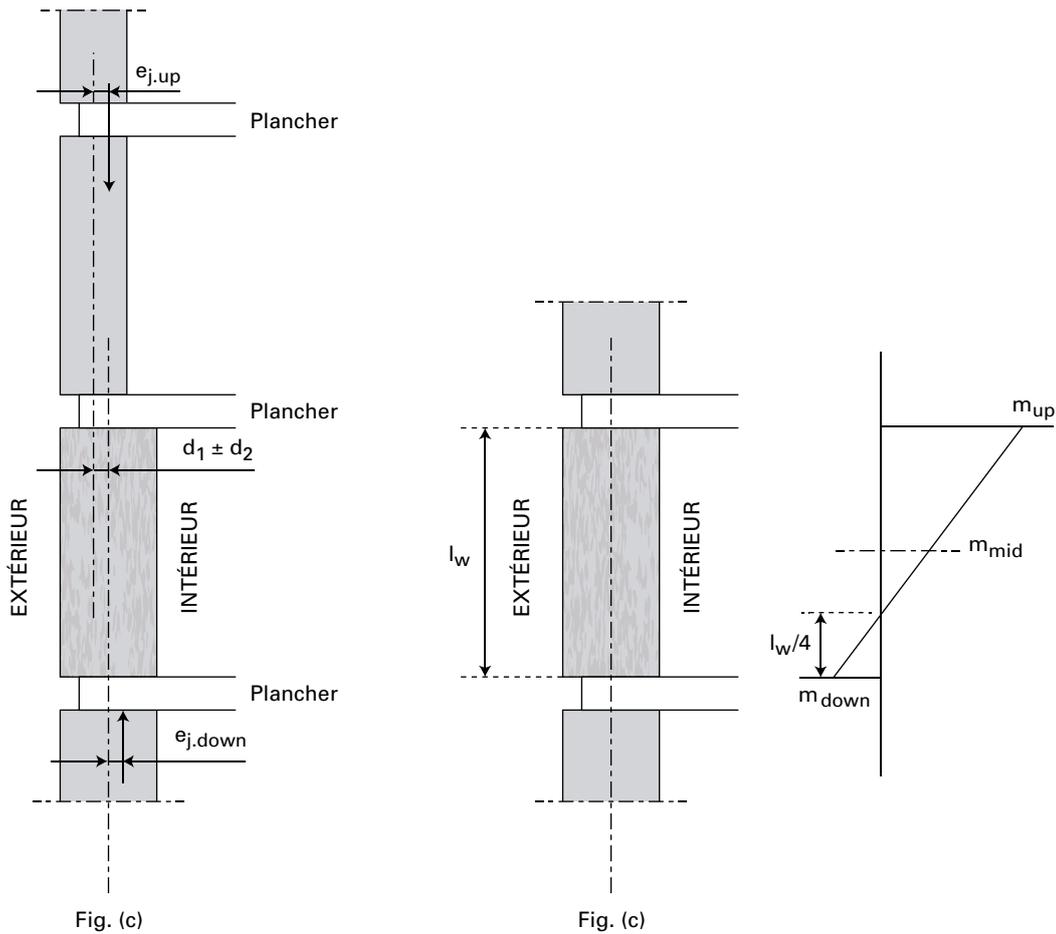
z : excentrement de calcul à mi-hauteur du panneau

$$z = d_1 \pm d_2 + e_{j,down} - e_{j,up}$$

n'_{mid} : effort normal par unité de longueur à mi-hauteur du panneau

Le moment sollicitant M_1 peut être réparti entre les panneaux aboutissant au nœud proportionnellement aux raideurs EI/L des panneaux du mur et des planchers intéressés.

Le point de moment nul est supposé être à une distance du nœud considérée égale aux 3/4 de la hauteur du panneau (fig. d).



▲ Figure 35 : Détermination des excentricités e_j

Les excentricités correspondantes s'écrivent :

$$(e_a)_{up} = \frac{m_{up}}{n'_{up}}$$

$$(e_a)_{down} = \frac{m_{down}}{n'_{down}}$$

avec :

m_{up} : moment de flexion dans la section supérieure du panneau

n'_{up} : effort normal par unité de longueur en tête de panneau

m_{down} : moment de flexion dans la section inférieure du panneau

n'_{down} : effort normal par unité de longueur en pied de panneau

La continuité est à l'origine des moments sollicitant les sections d'extrémité des panneaux.





Dispersion du plan mécanique moyen $\pm d_h$

Art. R 44,421 – Recommandations C.E.B. IV

La position réelle du plan mécanique moyen et la position calculée proviennent des défauts d'homogénéité du matériau et des imprécisions d'exécution. Cet écart est noté : $\pm d_h$.

Panneaux coulés à plat :

$$\pm d_h = 0,03 \text{ à } 0,06.h_w$$

Panneaux coulés à la verticale :

$$\pm d_h = 0$$

Excentricités dues à la continuité (e_c)

Le moment M_2 peut être évalué forfaitairement en supposant la réaction du plancher appliquée à une distance du plan mécanique moyen du panneau au $1/8$ de la portée du plancher.

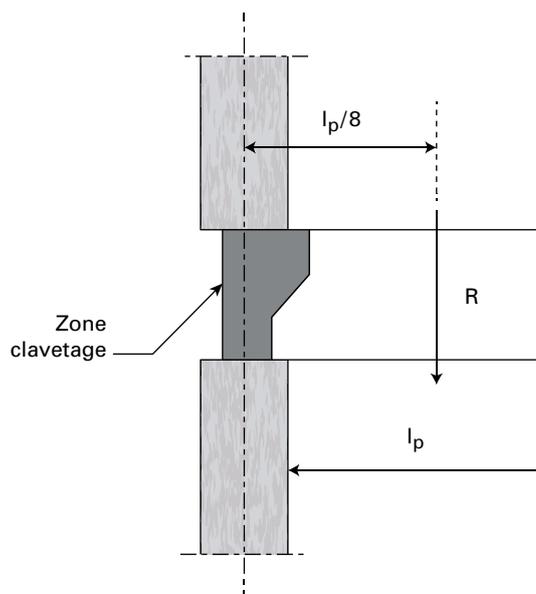


Fig. (e)

▲ Figure 36

Dans le cas de dalles portant dans les deux sens, il y a lieu de considérer la petite portée dans tous les cas.

Il peut être nécessaire d'évaluer ce moment dans les cas de charges suivantes :

- planchers coulés en place :
 - charges permanentes totales + charges d'exploitation,
 - charges permanentes totales seules ;
- planchers préfabriqués :
 - excédent de charges permanentes sur le poids propre du plancher + charges d'exploitation,
 - excédent de charges permanentes seul.



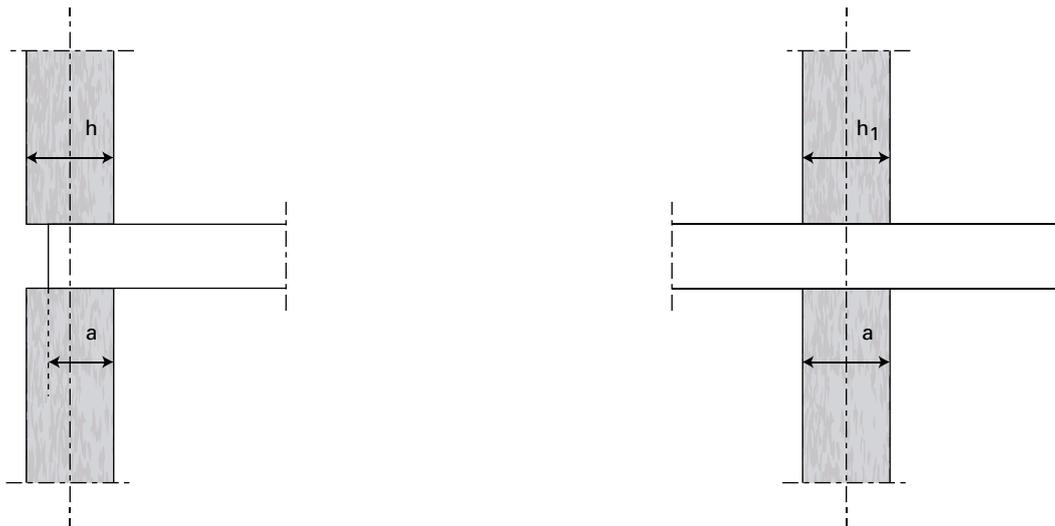
Excentricité dans le panneau étudié e_c

La répartition du moment M_2 est le calcul des excentricités (e_{c_s}) et (e_{c_i}) se font de la même façon que pour le moment M_1 au paragraphe précédent.

Remarque sur le moment sollicitant

Le moment sollicitant total est : $M = M_1 + M_2$

Ce moment doit être limité en valeur à $0,8.a.n'$.



▲ Figure 37

Cette limitation ne s'applique que pour le calcul des murs et non pour le calcul des planchers. En outre, elle n'est pas susceptible d'intervenir s'il existe une continuité effective par armatures entre planchers et murs.

Défauts de planéité $\pm e_p$

Ces défauts sont conditionnés par la qualité d'exécution des moules.

En l'absence de détermination expérimentale, il y a lieu de considérer :

$$e_p = \pm 0,002 \text{ à } 0,003.l_w$$

Excentricité due à l'excentrement de la paroi extérieure dilatable

L'action de la paroi extérieure dilatable du panneau sandwich entraîne l'existence d'un moment de flexion dans la partie porteuse du panneau, noté m_m qui vaut :

$$m_m = p_m \cdot e_2$$

avec :

p_m : poids-propre de la paroi extérieure



e_2 : position du centre de pression de l'action liée au poids-propre de la paroi extérieure par rapport au plan mécanique moyen du panneau

$$e_2 = \frac{h_w}{2} + b_i + \frac{b_2}{2}$$

où :

b_i : épaisseur du complexe isolant

b_2 : épaisseur de la paroi extérieure dilatable

L'excentricité additionnelle liée à la présence d'une paroi béton librement dilatable s'exprime comme suit :

$$e_m = \frac{m_m}{n'}$$

avec :

m_m : moment fléchissant créé par la paroi extérieure

n' : effort normal par unité de longueur dans la section considérée

On supposera cette excentricité nulle dans les sections d'extrémités (cas de panneaux continus).

Excentricités dues à l'action du vent

Les actions du vent agissant perpendiculairement au plan du panneau développent des moments de flexion.

Ces moments sont ceux développés par une plaque appuyée sur deux côtés opposés, trois ou quatre côtés suivant la manière dont sont assujettis les bords verticaux du panneau.

Dans le cas d'un schéma de continuité, les moments seront évalués par des méthodes simplifiées forfaitaires en considérant des plaques ou des poutres semi-encastées.

Soient m_{w1} et m_{w2} les moments fléchissants développés par le vent agissant sur le panneau respectivement en pression et dépression.

Les excentricités respectives sont évaluées de la manière suivante :

$$e_w = \frac{m_{w1}}{n'}$$

$$-e'_w = \frac{m_{w2}}{n'}$$

avec :

m_{w1} : moment développé par le vent agissant sur le panneau en pression

m_{w2} : moment développé par le vent agissant sur le panneau en dépression

n' : effort normal par unité de longueur dans la section considérée



Excentricités dues à l'action des séismes

Il est tenu compte d'une excentricité due aux sollicitations d'origine sismique :

$$e_E = \pm \frac{m_E}{n'}$$

avec :

m_E : moment fléchissant développé dans le panneau par l'action sismique

n' : effort normal par unité de longueur dans la section considérée

Excentricités dues à un gradient thermique

Dans le cas des panneaux sandwichs, il n'y a pas lieu de tenir compte des effets thermiques sur la partie structurale, celle-ci n'étant pas exposée.

Excentricité initiale de l'effort normal

L'excentricité initiale de l'effort normal s'obtient en composant les différentes excentricités calculées dans les paragraphes précédents :

- en situation d'actions durables ou transitoires ;
- en situation d'actions sismiques.

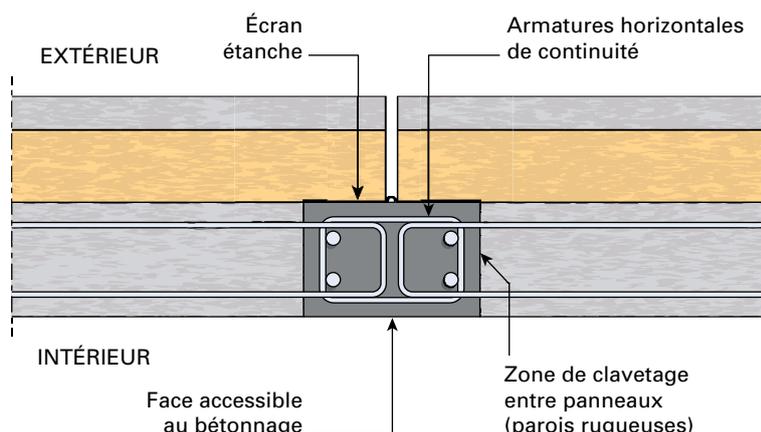
▲ Tableau 8 : Excentricité initiale de l'effort normal

	Valeur maximale	Valeur minimale
En situation d'actions durables ou transitoires	$e_0 = e_f + e_a + d_h + e_p - e_m + e_w$	$e_0 = e_f - e'_a - d_h - e_p - e_m - e'_w$
En situation d'actions sismiques	$e_0 = e_f + e_a + d_h + e_p - e_m + e_E$	$e_0 = e_f - e'_a - d_h - e_p - e_m - e'_E$

3.5.5. • Justification au droit des fixations entre panneaux et éléments porteurs

3.5.5.1. • Jonction avec panneaux adjacents

Dans des murs entrant dans le contreventement de la structure ou fonctionnant en poutre-voile, et pour peu qu'ils aient été découpés en plusieurs panneaux, il convient de reproduire le monolithisme au droit des joints verticaux par couture.



▲ Figure 38 : Reconstitution du monolithisme entre panneaux

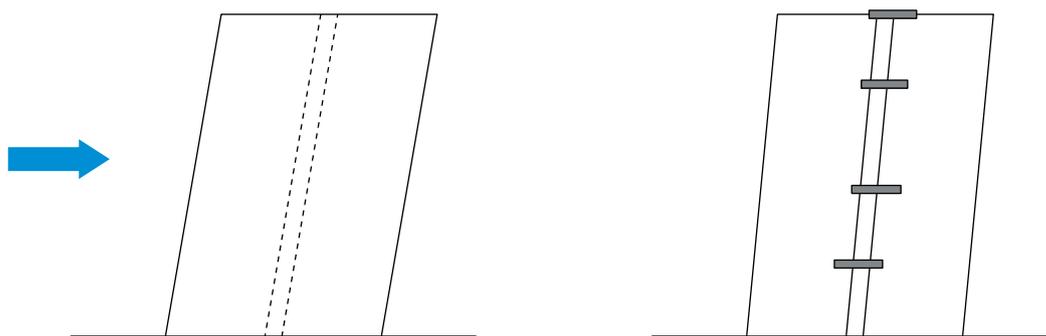
Cas d'un voile de contreventement constitué de plusieurs panneaux

En zone sismique, il convient que les joints verticaux soient rugueux ou crantés (indentations) pour répondre au paragraphe 5.11.3.4 de l'Eurocode 8. De plus, il y a lieu de privilégier les liaisons horizontales au droit des planchers sauf justification particulière.

La détermination de la répartition des efforts de contreventement dans une structure constituée, en totalité ou en partie de panneaux, est faite dans l'hypothèse d'un monolithisme structural même si les pans de contreventement sont composés de plusieurs panneaux.

On distingue alors :

- console élémentaire ou simple : tout ensemble composé d'une file de panneaux superposés assemblée par des joints horizontaux convenables ;



▲ Figure 39

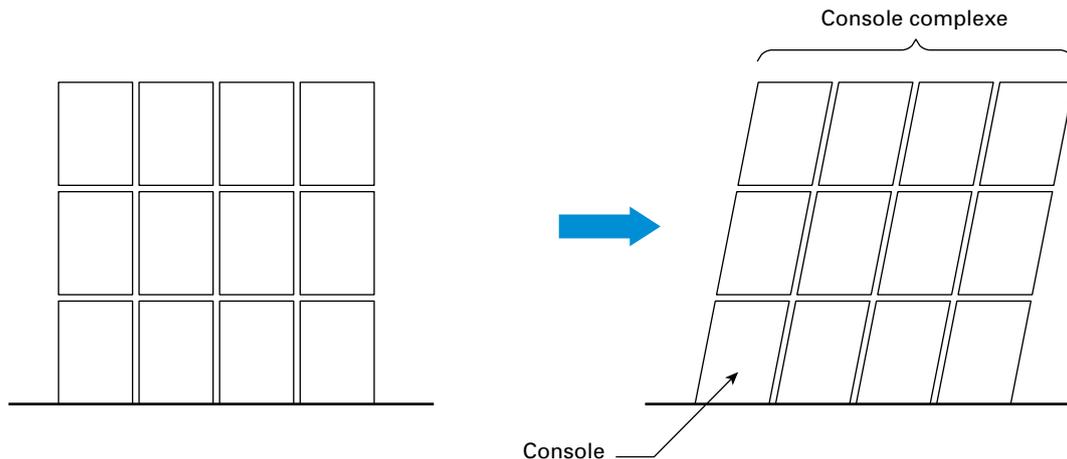
- console complexe : un ensemble de consoles élémentaires associées par leurs bords verticaux pour constituer des unités de contreventement.

L'association de ces consoles élémentaires peut se faire de différentes manières :

- association par joints verticaux de simple clavetage : aucune disposition particulière n'est prise en ce qui concerne le relief

des bords verticaux mais des armatures de couture en quantité suffisante sont prévues ;

- association par joints verticaux organisés : les bords des panneaux sont traités spécialement en vue de la transmission effective d'efforts tangents d'un bord à l'autre (crantage) ;
- association par verrous élastiques : ils sont constitués par des joints horizontaux, par des chaînages convenablement organisés ou par des dalles continues à travers les joints.



▲ Figure 40

3.5.5.2. • Joints horizontaux

Transmission de l'effort normal

Fendage du pied par compression

L'expérience met en évidence un affaiblissement de la résistance réelle des jonctions par rapport à la résistance normalement escomptée : le mode de rupture fréquemment rencontré correspond à un fendage longitudinal de l'extrémité inférieure du panneau.

Pour s'en prémunir et à défaut de justification expérimentale, il convient de limiter l'effort normal par unité de longueur en pied de panneau à :

$$N_{Ed} \leq 0,5 \cdot h_w \cdot f_{cd}$$

où :

h_w : épaisseur du voile

N_{Ed} : charge verticale par unité de longueur

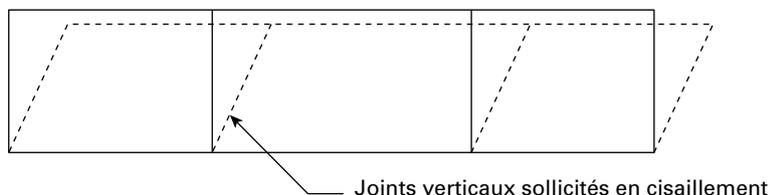
Transmission de l'effort tranchant

Dans le cas de panneaux entrant dans la composition de la structure primaire de contreventement, il convient de s'assurer que les efforts



tranchants issus de l'analyse structurale globale du bâtiment soient correctement transmis.

Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments sismiques principaux, c'est-à-dire des murs participant à la résistance et à la rigidité sous les actions sismiques d'ensemble conformément aux prescriptions du chapitre 4 de la norme NF EN 1998-1.

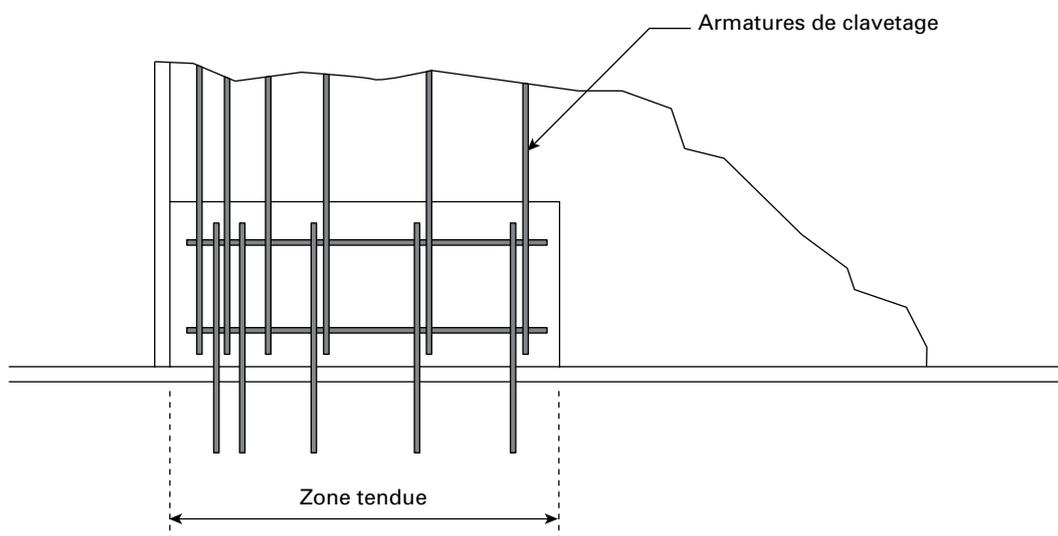


▲ Figure 41 : Comportement monolithique des panneaux

La détermination des efforts sismiques sur un ensemble de panneaux liaisonnés sur leurs bords verticaux est réalisée sur l'hypothèse d'une voile en béton de section homogène équivalente.

Les dispositions constructives minimales à respecter sont décrites à l'article 5.11.3.4 de la norme NF EN 1998-1.

La force de traction totale produite sera reprise par des armatures verticales disposées le long de la partie tendue du panneau et ancrées dans le béton des panneaux inférieurs et supérieurs. La continuité des armatures sera réalisée dans des empochements prévus à cet effet.



▲ Figure 42

Afin d'augmenter la ductilité locale le long des liaisons verticales entre panneaux de grandes dimensions, il y a lieu de prévoir un minimum d'armatures à travers l'assemblage :

- dans le cas d'assemblages totalement comprimés, section armatures égale à 0,10 % ;
- dans le cas d'assemblages partiellement tendus, section armatures égale à 0,25 %.

La quantité d'armatures traversant les assemblages ne doit pas dépasser 2 %.

Ces armatures sont à répartir tout le long de l'assemblage.

Afin d'assurer la continuité, les armatures formeront des boucles et seront complétées par des armatures longitudinales respectant un pourcentage minimal égal à 1 %.

Si un voile de contreventement est composé de plusieurs panneaux, il convient de vérifier la transmission de l'effort tranchant en tête de panneaux.

3.5.6. • Vérification des panneaux

3.5.6.1. • Manutention

Les organes assurant la manutention sont disposés en tête de panneau. La somme de leur résistance de calcul doit être supérieure à l'action sollicitante E_d , à savoir les actions de pesanteur s'appliquant au panneau.

$$\sum_{i=1}^n R_{d_i} \geq E_d$$

avec :

$$R_{d_i} = \frac{R_{k_i}}{\gamma_M}$$

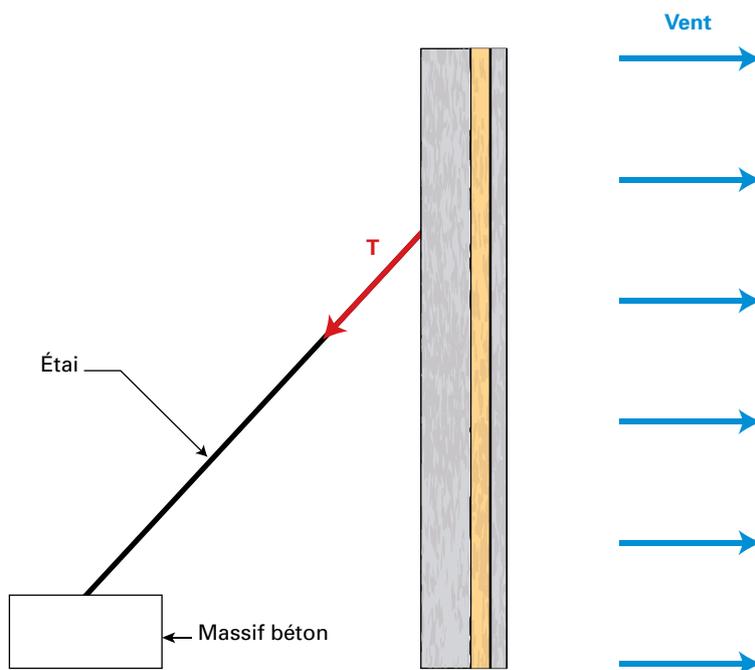
où :

R_{k_i} : résistance caractéristique de l'organe de levage

γ_M : coefficient partiel de sécurité pris sur l'organe de levage afin de se prémunir de toute rupture fragile, les protocoles d'essais associés aux organes de levage fixent $\gamma_M = 3$;

3.5.6.2. • Phases provisoires

Lors des phases provisoires telles que le stockage ou le maintien en position du panneau avant clouage de celui-ci à la structure, le panneau est soumis aux actions du vent. Il convient d'une part d'assurer l'équilibre du panneau en phase provisoire par association d'un dispositif adéquat et adapté au contexte. Parmi les plus courants, on peut citer les étais tirant-poussant. Ces derniers sont fixés aux panneaux par l'intermédiaire de douilles de fixation disposées dans le voile structurel lors de la préfabrication du panneau.



▲ Figure 43 : Maintien des panneaux en phase provisoire

D'autre part, il convient de s'assurer que la capacité résistante des douilles à l'arrachement soit supérieure à l'effort de traction régnant dans le dispositif de maintien, cet effort dépendant de :

- zone climatique d'implantation du panneau (pression éolienne), NF EN 1991-1-4 ;
- entraxe et amplification de l'effort de traction liée à l'inclinaison du dispositif de maintien.

3.5.6.3. • Tenue de la paroi extérieure sur la partie structurale et sujétions

Du fait d'un différentiel de température lié à la présence d'un isolant entre partie structurale et parement extérieur lui-même exposé, il convient de satisfaire aux justifications énoncées ci-après.

Tenue de la paroi extérieure

En plan

Les organes de liaisons doivent être vérifiés au cisaillement et traction sous les actions que subit le panneau dans son plan :

- pesanteur : action liée au poids-propre de la paroi extérieure intégrant le cas échéant toute majoration liée à diverses finitions architecturales, par exemple, le relief d'une modénature ;
- séisme : action accidentelle due à l'excitation sismique de la masse de la paroi extérieure, considérée comme un élément non structural au sens de la norme NF EN 1998-1 ;

- feu : action accidentelle liée aux conséquences d'un incendie. Elle se traduit par un affaiblissement des caractéristiques mécaniques de l'organe de liaison après l'incendie.

La stabilité au feu, notée REI_{xx} (où xx indique la durée d'exposition au feu) est définie réglementairement selon la nature des locaux dans lequel est implanté le panneau.

Hors plan

Les organes de liaisons doivent être vérifiés à l'arrachement sous les actions que subit le panneau hors de son plan :

- vent : action liée à l'effet d'arrachement de la paroi extérieure lorsque le panneau se trouve sous le vent ;
- séisme : action accidentelle due à l'excitation sismique de la masse de la paroi extérieure rapportée sur la partie structurale du panneau.

Le calcul est mené forfaitairement selon la partie relative aux éléments non structuraux (art. 4.3.5 NF EN 1998).

Caractère librement dilatable

Afin de garantir la libre dilatation de la paroi extérieure, il convient de vérifier que l'allongement de celle-ci soit compatible avec la largeur du joint architectural réalisé en façade. De ce fait, la valeur du joint doit être au minimum le double de l'allongement constaté aux bords extrêmes du panneau, sous variation uniforme de température selon les propriétés mécaniques différées (à long terme) du béton de la paroi extérieure.

Il existe trois types de configurations potentielles pour la tenue de la paroi extérieure. Dans tous les cas, la tenue de la paroi extérieure est assurée par deux types de liaisons : des liaisons rigides, ponctuelles ou linéiques, qui reprennent le poids propre du voile extérieur et des liaisons souples réparties qui assurent la triangulation du système et la transmission des pressions de vent. La différenciation des configurations portent sur les dispositions des liaisons rigides.



▲ Tableau 9 : Configurations types de tenue de la paroi extérieure

Configuration 1	Un point fixe : la liaison ponctuelle présente une rigidité importante dans toutes les directions.	
Configuration 2	Deux points fixes : les deux liaisons ponctuelles présentent une rigidité importante, dans toutes les directions. Les points fixent sont soumis au poids propre de la peau extérieure et à des efforts de blocage de la dilatation thermique de la peau extérieure.	
Configuration 3	Une ou deux lignes horizontales fixes : les liaisons sur cette ou ces lignes présentent une rigidité importante dans le sens vertical uniquement.	

Il convient de vérifier les organes de liaisons et connecteurs sous déplacement imposé lié à l'allongement ou la rétractation de la peau sous variation uniforme de température.

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot d_i$$

avec :

α : coefficient de dilatation thermique du béton $\alpha = 1.10^{-5} m.K^{-1}.m^{-1}$

ΔT : variation de température (cf. NF EN 1991-1-5) = +/- 40 °C

d_i : distance du connecteur au centre de gravité de la paroi

Nota : cette vérification est souvent dimensionnante pour les configurations 2 et 3, ainsi que pour la justification des connecteurs.

Non-entrechoquement des panneaux extérieurs sous sollicitation sismique

L'entrechoquement de deux parois adjacentes doit être évité sous situation d'actions sismiques. Les joints entre panneaux doivent être suffisants. Cette condition est satisfaite lorsque le joint entre deux panneaux à une valeur au moins égale au double du déplacement de la paroi dû à l'effort sismique ; cela dans l'hypothèse sécuritaire où l'oscillation de deux peaux extérieures adjacentes serait en opposition de phase.

Le déplacement dépend de :

- la raideur d'ensemble des organes de liaisons ; à défaut de justification précise, la raideur en flexion de l'organe de liaison peut être estimée à 40 % de celle considérée à l'état non fissuré ;
- l'intensité de l'action sismique relative aux éléments non structuraux définie dans la norme NF EN 1998-1, celle-ci dépendant du contexte d'implantation du panneau :
 - zone de sismicité,
 - catégorie d'importance de l'ouvrage,
 - classe de sol, etc.



Dans le tableau ci-après sont indiquées les valeurs du coefficient C par lequel multiplier le poids d'un élément non structural pour obtenir la force sismique horizontale appliquée à un élément de façade.

▲ Tableau 10 : Valeurs du coefficient C

		Zone sismique				
		1	2	3	4	5
Catégorie d'importance	I					
	II			1,11	1,61	2,35
	III		0,85	1,33	1,94	2,83
	IV		0,99	1,55	2,26	3,30

Les valeurs de C données par les tableaux sont établies en stricte conformité de la section 4.3.5 de la norme NF EN 1998-1, en considérant les hypothèses enveloppes suivantes :

- classe de sol E pour la valeur du paramètre de sol S
- coefficient d'importance $\gamma_a=1$
- $z/H = 1$,
- $T_a/T_1 = 1$
- $q_a = 1$

Les valeurs de C sont adimensionnelles. Les forces sismiques sont calculées dans la même unité que le poids.

À titre d'exemple, pour un bâtiment de catégorie d'importance III en zone de sismicité 3, on retient le coefficient C de 1,33. Cela conduit à une force sismique horizontale pour un panneau de 4,00 x 3,00 m et pour une paroi extérieure de 7 cm de :

$$F_a = 1,33 \times (4,00 \times 3,00 \times 0,07 \times 2,5) = 2,79 \text{ tonnes}$$

3.6. • Aspects feu

3.6.1. • Généralités

Les performances vis-à-vis de l'incendie des panneaux sandwichs ne peuvent pas être justifiées directement par application des règles Eurocodes. Ainsi, d'un point de vue réglementaire, par référence à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié par l'arrêté du 14 mars 2011, les panneaux doivent faire l'objet d'une Appréciation de Laboratoire, dont la référence est portée dans l'Avis Technique du procédé visé.

La vérification vis-à-vis de l'incendie des panneaux, comprend généralement trois volets :

- le premier porte sur la détermination du champ de température dans le voile intérieur (paroi préfabriquée intérieure + noyau coulé en place) afin d'en déduire sa résistance ;



- le second est une analyse de la tenue de la paroi extérieure librement dilatable suspendue au voile intérieur ;
- le dernier concerne les dispositions constructives de protection de l'isolant, lorsque celui-ci n'est pas M0.

L'absence d'écaillage explosif est également un critère vérifié. Conformément à l'Eurocode 2 partie 1-2 et à son annexe nationale, l'écaillage explosif peut être considéré comme improbable lorsque la teneur en eau du béton est inférieure à 3% du poids. Toutefois il est à noter que des recherches plus avancées sur ce phénomène sont en cours afin de mieux apprécier l'impact de différents facteurs sur son apparition. Une vérification expérimentale au cas par cas peut s'avérer nécessaire dans certaines situations. Dans la suite de ce document, on considère que l'écaillage est évité.

La vérification vis-à-vis de l'incendie des panneaux sandwichs comprend généralement trois volets :

- le premier porte sur la détermination du champ de température dans le voile intérieur afin d'en déduire sa résistance ;
- le second est une analyse de la tenue du voile librement dilatable extérieur suspendue au voile intérieur ;
- le dernier concerne les dispositions constructives de protection de l'isolant, lorsque celui-ci n'est pas M0.

L'absence d'écaillage explosif est également un critère vérifié. Conformément à l'Eurocode 2 partie 1-2 et à son annexe nationale, l'écaillage explosif peut être considéré comme improbable lorsque la teneur en eau du béton est inférieure à 3 % du poids. Toutefois il est à noter que des recherches plus avancées sur ce phénomène sont en cours afin de mieux apprécier l'impact de différents facteurs sur son apparition. Une vérification expérimentale au cas par cas peut s'avérer nécessaire dans certaines situations. Dans la suite de ce document, on considère que l'écaillage est évité.

3.6.2. • Justification de la tenue de la paroi extérieure

3.6.2.1. • Description des différents principes de fonctionnement mécanique

L'effet de l'incendie sur le(s) connecteur(s) ou la(les) ligne(s) de connecteurs rigides sera pris en compte au travers de la réduction de sa résistance. Pour les connecteurs souples répartis, la dilatation différentielle des voiles intérieur et extérieur pourra entraîner la rupture d'une partie des connecteurs. La résistance de la partie du voile extérieur qui n'est alors plus tenue par les connecteurs doit être vérifiée. Dans le cas de deux lignes de connecteurs ou de deux connecteurs fixes/raides, aux vérifications précédentes s'ajoute celle de l'effort

entre les deux points fixes ou les deux lignes fixes, effort dû aux dilatations différentielles empêchées.

Les principes généraux de la tenue de la paroi extérieure sont décrits au point « indications sur les justifications expérimentales à fournir ».

3.6.2.2. • Présentation des différents matériaux employés pour réaliser la connexion et de leur comportement vis-à-vis de la température

Dans la composition des procédés de panneaux sandwichs existants, les connecteurs utilisés sont le plus souvent en acier inoxydable et parfois en composite à base de fibres de verre noyées dans une matrice synthétique.

L'Eurocode 3 partie 1-2 fournit des informations sur la réduction des caractéristiques mécaniques en fonction de la température de différents types d'acier inoxydables. Celles-ci sont considérées comme suffisantes pour être utilisées et en déduire la réduction de la résistance globale des connecteurs en fonction du gradient de température calculé dans l'épaisseur du voile intérieur (cf. *Tableau 1* à *Tableau 4*).

Les composites à base de fibres de verre sont des matériaux relativement récents et encore peu utilisés dans la construction, leur comportement thermomécanique n'est pas suffisamment connu pour être standardisé. Dans le cas d'utilisation de ce type de matériau, des données expérimentales à différentes températures sont nécessaires pour en déduire la réduction de la résistance en fonction de la température des connecteurs.

Différents éléments de preuve expérimentaux sont envisageables, ils ne se limitent pas à ceux présentés ci-après. Cependant dans le cas où aucun élément n'est disponible les paragraphes suivants peuvent être utilisés pour guider la rédaction du cahier des charges de la campagne expérimentale.

Les résultats visés par cette campagne sont des données sur l'évolution du comportement mécanique des connecteurs en fonction de la température imposée par l'incendie et son gradient dans le mur dans lequel ils sont ancrés. Considérant les modèles employés qui utiliseront ces résultats, ce comportement peut être caractérisé par le type de comportement (fragile/ductile), la rigidité élastique et la résistance des connecteurs.

Les corps d'épreuve doivent être représentatifs de l'utilisation des connecteurs dans les panneaux sandwichs. Ils peuvent ainsi être constitués d'une dalle béton dont l'épaisseur correspond à l'épaisseur minimale du voile intérieur, dans laquelle sont ancrés les connecteurs à tester. Une couche d'isolant recouvre la dalle béton (parement non exposé) pour reproduire la lame isolante.

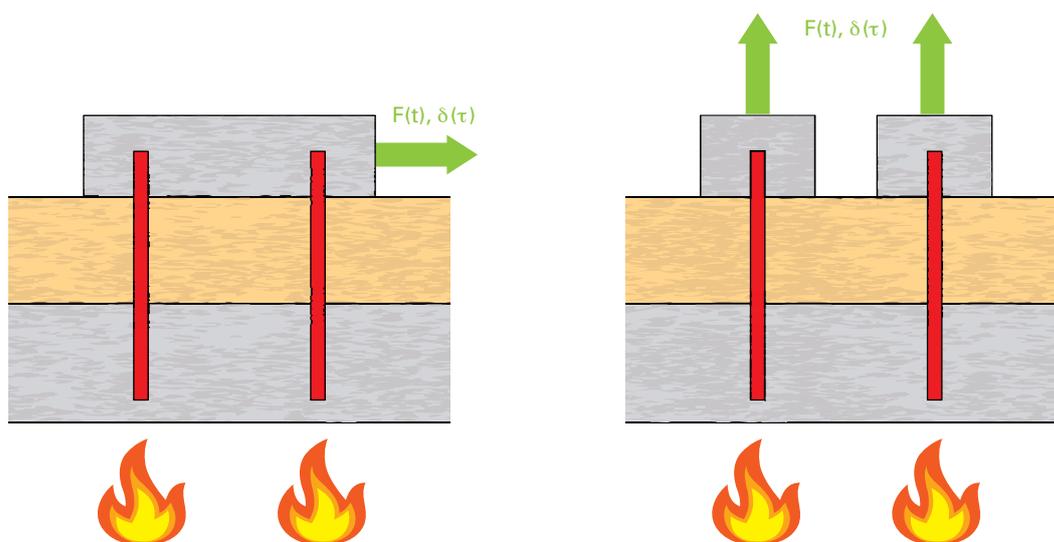
Les essais consistent alors à soumettre ces dalles au programme thermique normalisé (courbe ISO R-834) et à imposer, à certains instants choisis, aux connecteurs, des efforts correspondants à ceux qui leur



sont imposés en situation réelle. Les deux principales sollicitations des connecteurs sont l'arrachement ou la traction (effort perpendiculaire au plan du mur) et le cisaillement (effort parallèle au plan du mur) (cf. *Figure 13*). Il est important de noter que pour une exploitation optimale des résultats, ces deux types de sollicitations ne doivent pas être testés conjointement. Des essais à rupture en traction seront réalisés sur une partie des éprouvettes et des essais à rupture en cisaillement sur une autre partie. L'effort imposé et le déplacement résultant doivent être enregistrés en continu dans tous les cas.

Remarque

Un essai sur mur complet est également envisageable. Cependant, même s'il présente l'avantage de fournir un résultat direct (sans modélisation complémentaire), il reste limité à la configuration testée (épaisseur des voiles, de l'isolant, dimensions en plan du voile librement dilatable, position, répartition et nombre de connecteurs) ou à un ensemble de configurations qui peuvent être considérées comme couvertes par la configuration testée. Pour cette raison, il n'est pas décrit ici.



▲ Figure 44 : Schéma de principe des essais de caractérisation à chaud des connecteurs en cisaillement (à gauche) et en traction (à droite).

3.6.2.3. • Indications sur les justifications expérimentales à fournir

Les principes de justification sont décrits ci-après de façon générale afin d'inclure toutes les configurations potentielles. Ils sont appliqués au cas par cas dans les Appréciations de Laboratoires des procédés correspondants.

Les effets du feu considérés ici sont d'une part l'augmentation de température dans l'épaisseur du voile entraînant une chute des caractéristiques mécaniques des connecteurs et de leur ancrage, et d'autre part la dilatation différentielle du voile intérieur (soumis à l'incendie) et du voile extérieur (quasi froid). Seuls les effets de dilatation thermique de membrane sont considérés car les efforts engendrés par les effets de courbures différentielles entre les voiles entraînent dans le pire des

cas l'apparition de rotules plastiques dans le voile librement dilatable non préjudiciable à l'équilibre du panneau (Rapport 2009).

Les connecteurs les plus rigides, c'est-à-dire les connecteurs « porteurs » sont soumis au poids du panneau et à la dilatation différentielle dans le cas où ils sont répartis partiellement ou totalement sur la largeur du panneau (configurations 2 et 3). La capacité de ces connecteurs à reprendre le poids du voile extérieur est déterminée en considérant les modes de ruines adéquats (perte d'ancrage des barres d'ancrage, perte de résistance du connecteur, perte d'adhérence du connecteur, etc.). Le calcul de leur résistance après une durée d'exposition se fait soit à partir de données expérimentales, soit en considérant la température au point le plus critique vis-à-vis du mode de ruine considéré. Par exemple, si l'ancrage des connecteurs rigides est réalisé par des barres, c'est la température au niveau des barres qui est prise en compte, s'il est réalisé par une mise en forme du connecteur lui-même, c'est celle au niveau du point du connecteur le plus près du parement exposé.

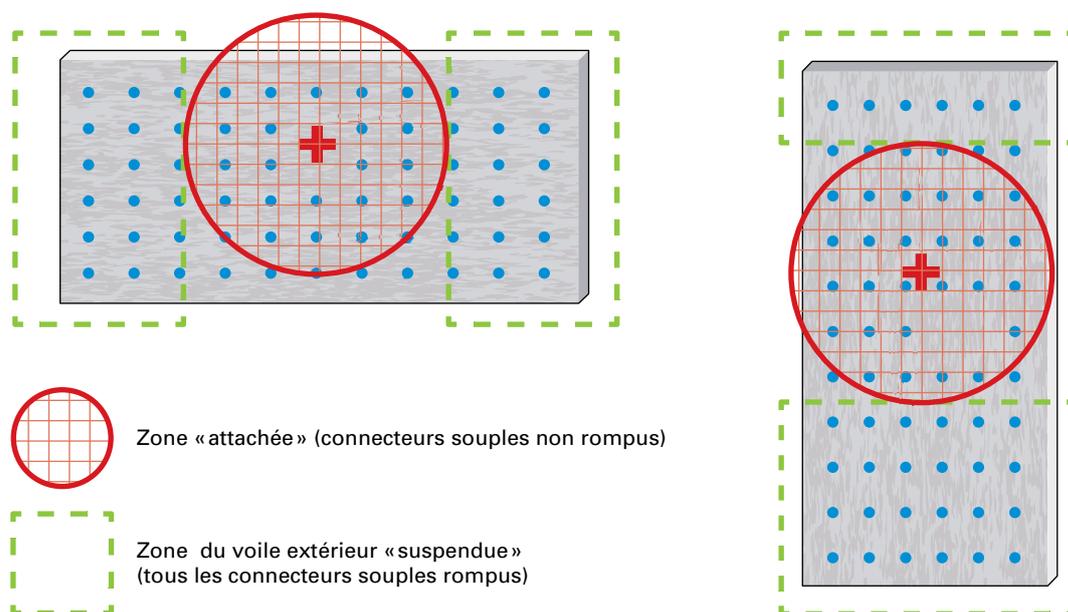
Les connecteurs souples ont pour rôle de maintenir l'écartement des voiles. Étant donné leur souplesse en flexion, leur contribution à la reprise du poids propre de la paroi extérieure est négligée. En situation d'incendie, ils sont donc soumis à l'action du vent et à un déplacement dans le plan du panneau, dû à la dilatation relative des deux voiles. Par sécurité, le panneau est considéré exposé au feu sur toute sa surface et les éventuels effets favorables de bridage du voile structural par le reste de la structure ne sont pas pris en compte.

Les principales étapes de vérification de la tenue de la paroi extérieure sont alors les suivantes :

- évaluer le nombre de connecteurs souples non rompus du fait de l'action combinée de l'effet du vent et de la dilatation relative des voiles : étant donné les symétries du problème posé, la dilatation n'engendre aucun effort au niveau du ou des points fixes (configurations 1 et 2) ou au milieu de la ligne de connecteurs (configuration 3). Le nombre de connecteurs non rompus peut donc être déterminé comme le nombre de connecteurs se trouvant dans la zone « attachée » décrite par un disque (Figure 45). Le rayon de ce disque est calculé en fonction de la durée d'exposition, de l'épaisseur des voiles et de l'épaisseur d'isolant ;
- vérifier que les connecteurs rigides se trouvant dans la zone « attachée » sont suffisants pour reprendre le poids propre total en considérant la résistance résiduelle déterminée ci-avant. Dans le cas échéant, il est nécessaire de prendre en compte l'effet supplémentaire de la dilatation différentielle sur ces connecteurs (configuration 3) ;
- vérifier que le voile extérieur est suffisamment résistant pour transférer la charge de vent et son poids propre dans les zones où les connecteurs sont rompus (Figure 45). Pour la configuration 2, il est nécessaire de compléter cette vérification par celle de la



résistance du voile extérieur entre les deux points fixes. En effet le ferrailage de cette zone doit être suffisant pour reprendre les efforts dus à la dilatation empêchée entre les deux points fixes.



▲ Figure 45 : Schéma de principe des zones du voile extérieur avec et sans connecteurs rompus

3.7. • Choix des finitions

3.7.1. • Finitions extérieures

La conception du système, la fabrication des éléments et leur mise en œuvre doivent permettre d'obtenir :

- un parement extérieur régulier sans déformation, flash, cloque, voilement, etc., ni fissuration ;
- des éléments tels que les ragréages nécessaires soient très limités. Il n'est pas admis que soient effectuées des réparations d'éléments fortement épaufrés et les éléments qui les nécessiteraient doivent être rebutés ;
- des arêtes nettes et rectilignes, un équerrage des panneaux suffisant, compte tenu de la largeur prévue pour les joints dont l'apparence et l'alignement doivent être réguliers.

Outre les facteurs proprement architecturaux, les qualités d'aspect des façades dépendent du découpage, des cotes principales retenues, notamment la largeur des joints, de la qualité de fabrication et du soin apporté à la mise en œuvre. Ces facteurs sont assez interdépendants et il est important, en particulier, que la largeur des joints soit choisie en fonction des tolérances de fabrication et de mise en œuvre.

3.7.2. • Finitions intérieures

La conception du système, la fabrication des éléments et leur mise en œuvre doivent permettre d'obtenir :

- un grain de la surface intérieure régulier et facilitant les travaux de revêtement et de peinture ;
- une rectitude et une netteté satisfaisantes de toutes les arêtes ;
- une suffisante planéité d'ensemble des surfaces continues résultant de la juxtaposition de plusieurs éléments ;
- la continuité d'aspect des enduits ou peintures intérieures qui ne doivent pas laisser apparaître les discontinuités du support.

En vue d'obtenir un aspect convenable des joints apparents à l'intérieur, il y a lieu, s'il existe un risque de fissuration entre deux éléments adjacents d'une même paroi, soit de souligner le joint (creux marqué au fer, au droit de la fissure prévisible), soit de l'habiller (baguette, couvre-joint). C'est cette dernière solution qui doit être appliquée lorsqu'il existe un risque de mouvement d'amplitude notable dans le joint (cas des murs non porteurs).





Fabrication

4



Le processus de fabrication, les appareils et outillages utilisés, les matériaux mis en œuvre doivent, être tels que les éléments fabriqués présentent des caractéristiques d'une constance satisfaisante. Il faut notamment que les matériaux utilisés soient d'une qualité aussi constante que possible.

Cette règle vise principalement : l'aspect des matériaux destinés à constituer les revêtements extérieurs, la résistance des matériaux pour lesquels cette caractéristique est importante au stade de la fabrication ou de l'élément en œuvre, la répartition granulométrique des granulats utilisés dans la fabrication du béton, la densité des matériaux isolants, éventuellement même la siccité de ces mêmes matériaux, etc. Elle implique que les caractéristiques des matériaux soient, à la dispersion près, définies soit directement, soit par référence à une norme :

- les appareils de fabrication du béton fournissent un béton homogène et sont équipés de systèmes de dosage permettant de garder comprises entre certaines limites définies les caractéristiques de résistance et de plasticité ;
- les moules permettent de réaliser des éléments dont les caractéristiques de forme sont, aux tolérances admises près, égales aux caractéristiques nominales.

Cela impose que la matière du moule et les dispositifs d'assemblage de ses différentes parties soient choisis en fonction des tolérances que l'on s'impose de respecter, compte tenu du nombre d'éléments à fabriquer dans chacun des moules, du mode de mise en place du béton, du procédé éventuellement retenu pour accélérer le durcissement du béton et de la situation des aires de fabrication (en atelier de plein air ou en usine).

Pour que la qualité du matériau en œuvre soit effectivement constante, il faut, bien entendu, que :

- les procédés de mise en place du béton et des matériaux divers soient appliqués systématiquement et avec un soin constant, particulièrement pour les points où la mise en place du béton est la plus difficile et sa compacité la plus importante – en parement extérieur et au voisinage des accidents des tranches notamment – ;
- les procédés d'accélération du durcissement du béton soient appliqués de façon régulière et les cycles de traitement thermique réglés de telle sorte que, d'une part, le béton ait toujours effectivement la résistance nécessaire au moment du démoulage, et, d'autre part, les qualités du béton soient homogènes dans toute la section des éléments.

Des contrôles de réception ou de fabrication peuvent permettre de vérifier que la qualité des éléments reste comprise à l'intérieur de limites définies.

4.1. • Description de la fabrication

Elle s'effectue sur des tables de préfabrication horizontales métalliques, en poste fixe ou sur un process carrousel.

La paroi extérieure est coulée en fond de moule. Le cycle de production se déroule dans l'ordre suivant :

1. Après nettoyage, mise en place des différentes joues de coffrage (bois ou métalliques).
2. Mise en place des encadrements de baies ou portes si nécessaire.
3. Mise en place de l'agent de démoulage ou d'un retardateur de prise dans le cas de gravillons lavés.
4. Mise en place de l'armature de la paroi extérieure avec interposition de cales intercalaires pour garantir l'enrobage. Mise en place des ancrs porteuses et des épingles de liaison entre les deux parois.
5. Mise en œuvre du béton de parement et vibration de la table.
6. Mise en place de l'isolant.
7. Mise en place des armatures et des différents accessoires de levage et fixation de la paroi extérieure.
8. Bétonnage de la paroi extérieure.
9. Décoffrage le lendemain, à l'aide de ponts roulants.
10. Traitement éventuel du parement extérieur (béton désactivé, béton acidé, polissage, sablage, etc.).



4.2. • Contrôle des bétons

D'une façon générale, les procédés sous Avis Technique peuvent associer une certification CSTBat, qui permet d'améliorer les contrôles qualité.

Les bétons utilisés pour la réalisation des parois du coffrage sont fabriqués dans des centrales installées si possible sur les sites des usines de préfabrication.

Les formulations des bétons sont établies par les responsables de la qualité ou de la production. La production doit être contrôlée conformément à l'EN 13369, l'EN 206-1 et aux normes de contrôles auxquelles elle fait référence (par exemple C.C.T.P).

4.3. • Contrôle des armatures et des organes de fixation

L'enrobage des armatures du mur doit respecter les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA. Il convient notamment de prendre en compte l'adhérence et les conditions d'environnement du mur.

La classe de résistance du béton et l'enrobage compact (donné par la face coffrante des voiles préfabriqués coulés horizontalement sur des coffrages industriels) peuvent permettre de moduler la classe structurale recommandée en vue de la détermination des enrobages minimaux vis-à-vis de la durabilité, au sens du tableau 4.3 NF de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1/NA.

L'enrobage des armatures est choisi en fonction de la nature agressive ou non du milieu ambiant dans lequel sera placé le mur. C'est le cas aussi bien pour les parois intérieures et extérieures, que pour la partie béton coulé en place, au droit des joints.

Les enrobages minimaux sont compris toutes tolérances épuisées.

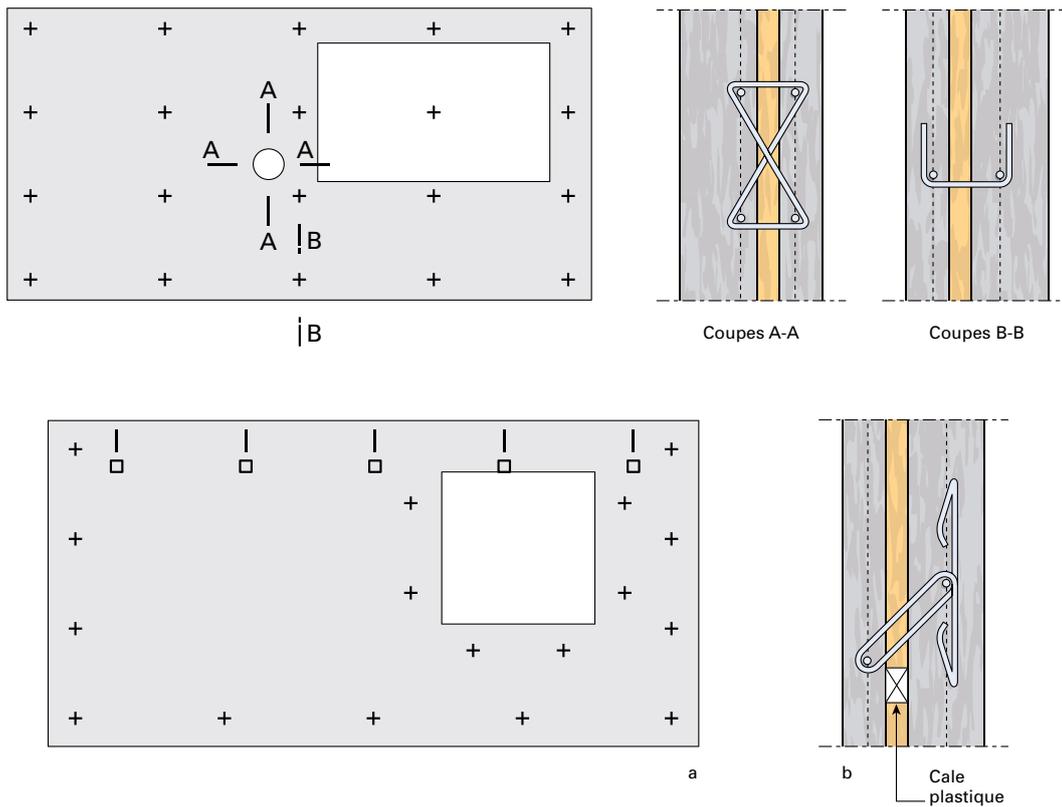
Pour les façades exposées aux intempéries, l'enrobage minimal est au moins égal à :

- 3 cm si $f_{c,p} < 40$ MPa ;
- 2 cm si $f_{c,p} \geq 40$ MPa.

Pour les parois situées dans des locaux couverts et clos et qui ne seraient pas exposées aux condensations l'enrobage minimal est de 1 cm.

Pour les expositions aux embruns ou brouillards salins ou autres atmosphères très agressives, les valeurs minimales ci-dessus sont à adapter.

Ces contrôles sont valables également pour les organes de fixations sujets à la corrosion.



▲ Figure 46 : Exemple d'organe de liaison entre les deux parois béton

4.4. • Contrôles qualité

Il est conseillé d'effectuer au moins un contrôle de la production avant l'expédition.

Le contrôleur doit vérifier les dimensions, la rectitude des parois, la localisation et le dimensionnement des réservations, la nature et la quantité des armatures sur la base des plans établis par le bureau d'étude et dans la limite des tolérances de fabrication définies dans l'exemple de fiche de suivi ci-après.

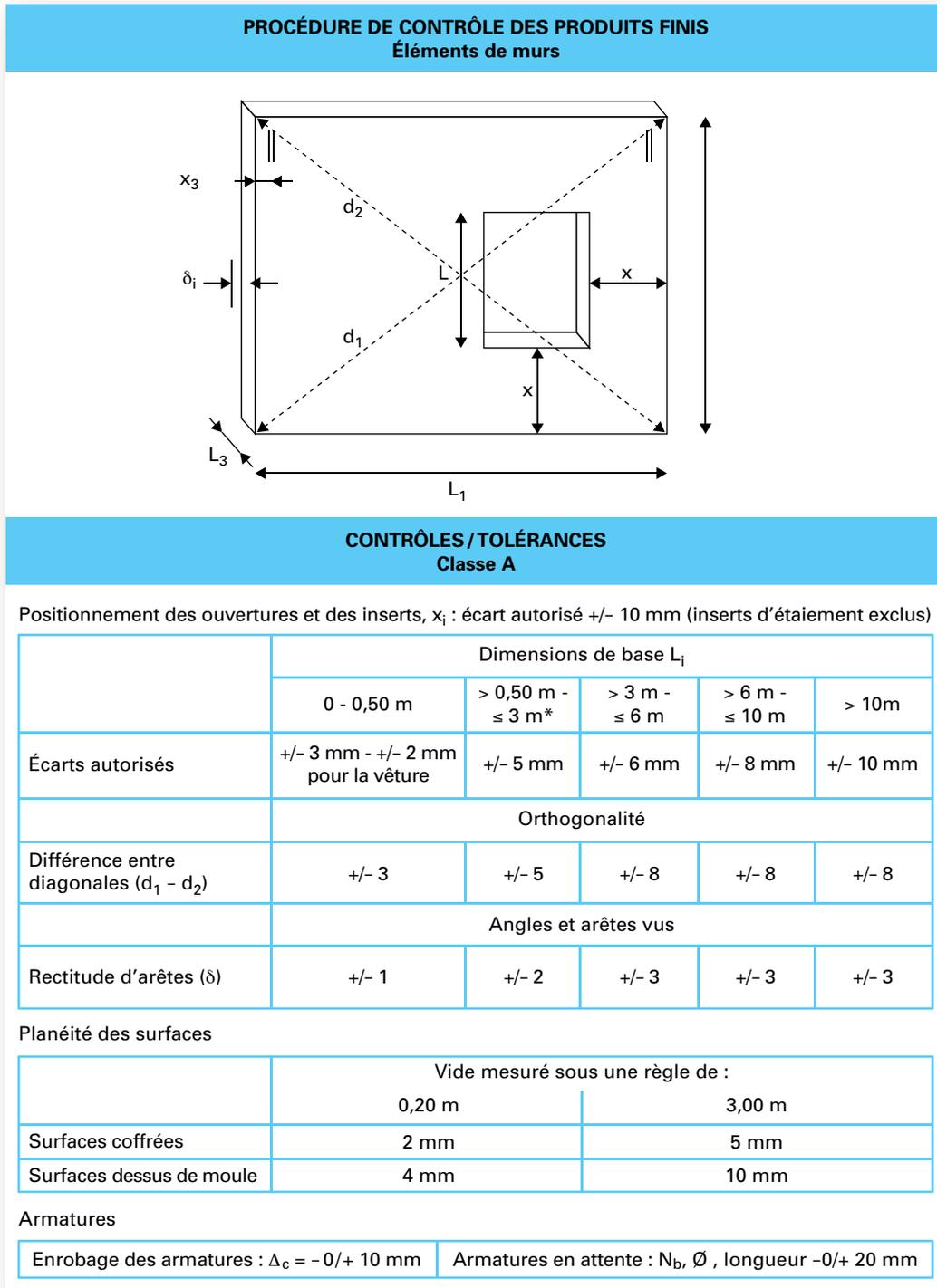


FICHE DE SUIVI QUALITÉ PRODUIT			
N° commande :	Référence pièce :		
Client :	Référence moule :		
Chantier :	Date de bétonnage :		
Contrôle avant coulage			
	C	NC	Actions
<ul style="list-style-type: none"> ● Moule : <ul style="list-style-type: none"> - Dimensions - Propreté ● Ferrailage : <ul style="list-style-type: none"> - Enrobage et position - Aciers en attente ● Inserts : <ul style="list-style-type: none"> - Nombre - Positionnement ● Levage : <ul style="list-style-type: none"> - Nombre - Positionnement 			
Contrôle après coulage			
	C	NC	Actions
<ul style="list-style-type: none"> ● Aspect général : <ul style="list-style-type: none"> - Couleur - Bullage - Arêtes ● Dimensions : <ul style="list-style-type: none"> - Suivant norme ● Inserts : <ul style="list-style-type: none"> - Nombre - Positionnement ● Levage : <ul style="list-style-type: none"> - Nombre - Positionnement 			
Contrôle après coulage			
	C	NC	
<ul style="list-style-type: none"> ● Type de finition : 			
FICHE DE NON CONFORMITÉ			
<input type="checkbox"/> NON		<input type="checkbox"/> OUI	
N° FICHE :			<input style="width: 150px;" type="text"/>
Pièce prête à livrer <input type="checkbox"/>	Pièce nécessitant une réparation sur parc <input type="checkbox"/>	Visa	
Pièce mise au rebut <input type="checkbox"/>	Pièce nécessitant une opération lourde <input type="checkbox"/>		

▲ Figure 47 : Exemple de fiche de contrôle qualité

4.5. • Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Pour la conception des produits, les valeurs de tolérances suivantes doivent être retenues par défaut (classe A au sens de la norme NF EN 14992).



▲ Figure 48 : Exemple de fiche de contrôle dimensionnel sur produit fini



La classe A est la seule classe compatible avec les panneaux sandwichs. Elle ne pose pas de problème de fabrication dans le cas de processus industrialisé.

4.6. • Finitions et aspect

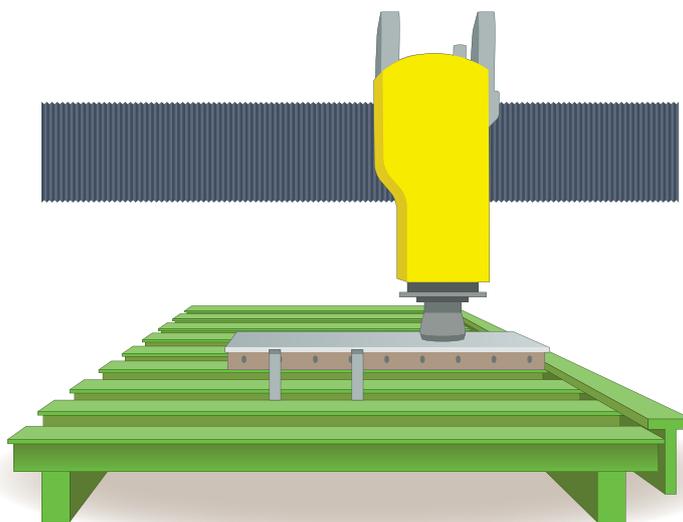
La face extérieure des éléments est de type béton brut ou tout autre type de parement (béton désactivé, béton acidé, béton matricé, polissage, sablage, etc.).



▲ Figure 49 : Sablage



▲ Figure 50 : Polissage manuel



▲ Figure 51 : Polissage automatique

Béton désactivé

- Application, sur la peau coffrante du moule, d'un retardateur de prise (\pm puissant en fonction du \varnothing des granulats et de la profondeur souhaitée du lavage).
- Après maturité du béton (\pm 16 h), décoffrage.
- Lavage à l'eau haute pression de la face à désactiver.



Béton acidé

- Après maturité du béton (± 16 h), décoffrage.
- Décapage de la face parement à l'aide d'un acide soit par trempage, soit par brossage.
- Rinçage abondant à l'eau.



La finition de type béton acidé pose des problèmes d'utilisations de produits dangereux, qui nécessitent que l'usine soit munie de piscines de rétention de l'acide et qu'elle mette en place des procédures particulières pour préserver la santé du personnel.

Finition sablée

- Après maturité du béton (± 16 h) décoffrage.
- Après environ 3 jours de séchage, sablage de la surface à l'aide de matériaux abrasifs (sable siliceux, corindon, grenaille, etc.).

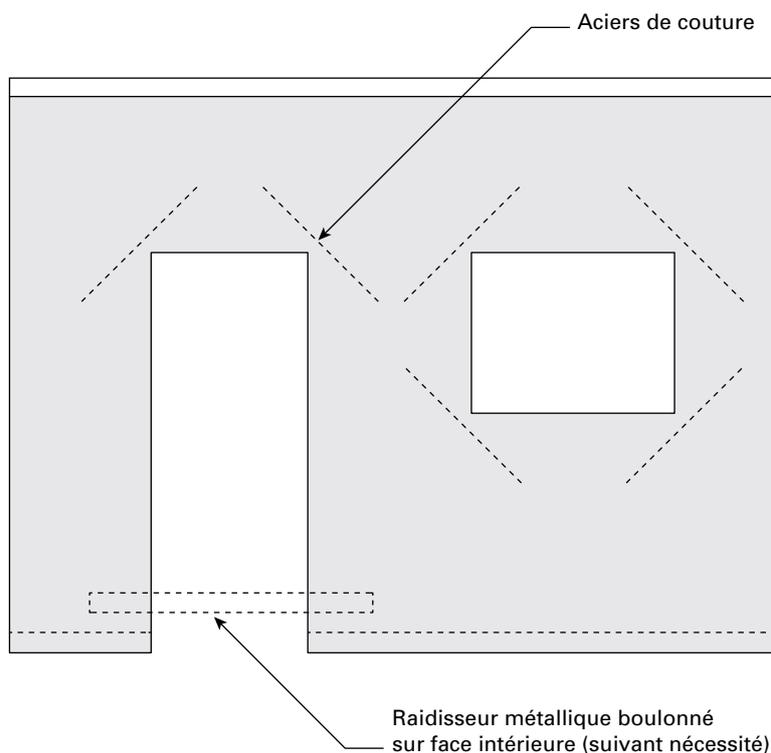
Finition polie

- Après maturité du béton (± 16 h), décoffrage.
- Après environ 4 à 5 jours de séchage, opération de polissage :
 - meule diamant pour trancher les graviers ;
 - meules successives de grains de plus en plus fins pour obtenir la brillance souhaitée.

Béton matricé

C'est la peau coffrante qui, équipée d'une matrice (élastomère, polystyrène, bois, etc.), reproduit un motif sur la paroi coffrée.

4.7. • Dispositions de ferrailage forfaitaire pour éviter les fissures en bord et en angle



▲ Figure 52 : Positionnement du ferrailage forfaitaire

Bien que non prévu par les notes de calcul, il convient de compléter systématiquement le ferrailage des peaux extérieures par des aciers de couture (une armature de type HA 10) au droit de tous les angles rentrants. Cette disposition permet de limiter les risques importants de fissuration, tant en phase définitive qu'en phase de fabrication des panneaux.



5

Aspects de mise en œuvre



Les méthodes, appareillages et matériaux utilisés lors de la mise en œuvre doivent permettre de réaliser des ouvrages de qualité constante et de respecter les tolérances admises indépendamment des conditions particulières de situation du chantier ou de niveau de montage.

Cette règle concerne spécialement toutes les opérations de réglage des éléments, de réalisation de joints ou liaisons devant assurer la transmission d'efforts, de mise en place des organes ou matériaux devant compléter les dispositifs d'étanchéité, de mise en place des matériaux de correction des points faibles thermiques, etc.

Elle concerne également les opérations de raccordement et de finition qui doivent être exécutées avec soin afin que soient obtenues les qualités de confort et d'aspect intérieur et extérieur que permettent le procédé.

5.1. • Spécificités du chantier

5.1.1. • Sécurité des travailleurs

Les processus de fabrication, de manutention et de pose doivent être tels qu'ils n'impliquent pas d'opération contraire aux principes généraux applicables en matière de prévention des accidents.

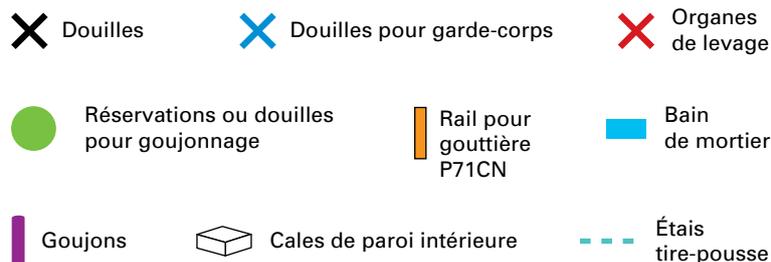
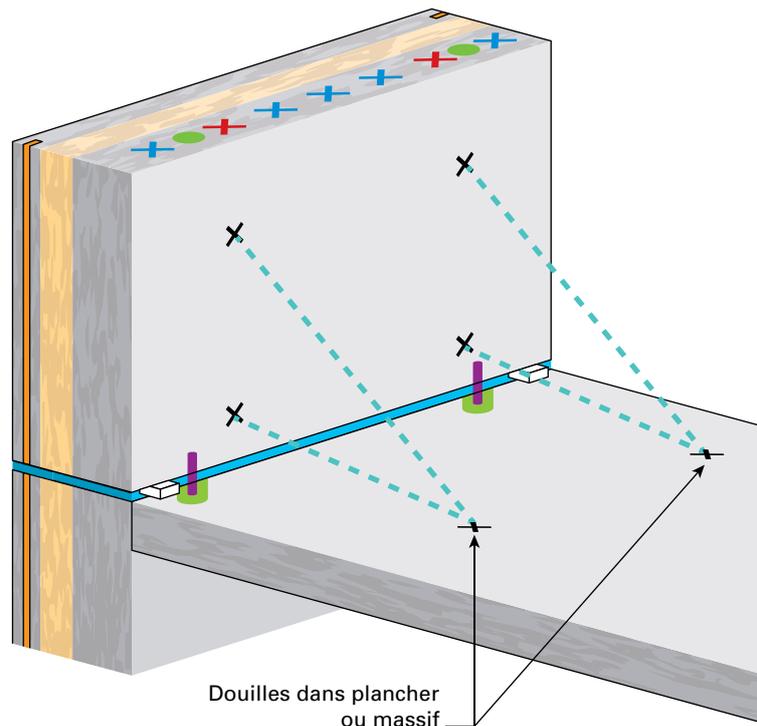
La sécurité des travailleurs est assurée par les dispositions suivantes :

- non-survol par la grue en charge d'un panneau ;
- côté paroi intérieure, mise en place de 2 goujons (généralement 0 16) par panneau, en pied de panneau, destinés à s'enquiller dans 2 douilles (généralement M 25) remplies de coulis de mortier sans retrait et à empêcher le pied de panneau de chasser, le panneau étant posé soit sur cales soit à bain de mortier. Dans le



cas d'une pose sur cales permettant une meilleure précision de réglage en 3 dimensions du panneau avec l'aide des étais tire-pousse, le mortier d'appui en enfoncé à refus sous le panneau, puis les cales sont retirées ;

- deux douilles sont prévues sur la paroi intérieure de chaque panneau ainsi que dans le plancher sur lequel le panneau est posé. Ces quatre douilles permettent la fixation d'étais tire-pousse assurant la stabilité du panneau au vent.



▲ Figure 53 : Localisation des douilles et organes de levage

5.1.2. •Transport, manutention

Il appartient aux entrepreneurs de prendre toutes mesures pour que puissent être respectés ces principes d'application générale. En particulier, l'attention est attirée sur :

- le risque de renversement intempestif de moule ou d'élément en cours de démoulage ;
- les sections, rayons de courbure et nuances des aciers constituant les anneaux ou crochets de manutention ;



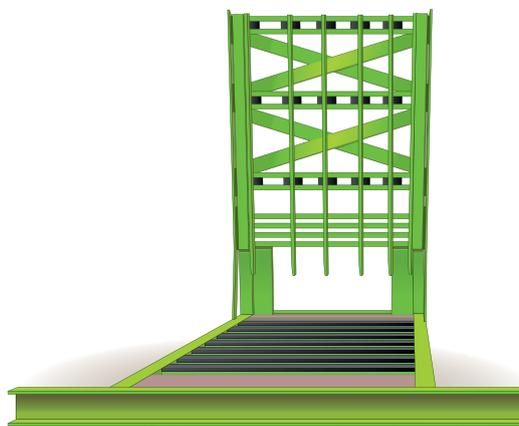
- la longueur d'ancrage de ces aciers, compte tenu de l'âge du béton au moment des premières manutentions ;
- les sections et fixations des étais sollicités en traction et en compression ;
- les risques de chute d'éléments de plancher échappant à leurs appuis ;
- la protection des ouvriers procédant aux opérations de réglage ;
- la nécessité d'étudier l'ordre de mise en place des éléments, de façon à éviter toute opération dangereuse, compte tenu des particularités de la construction.

Le transport est fait sur des camions à chevalets ou à racks.

La manutention est effectuée à l'aide d'élingues fixées sur des ancrages ou des boucles de levage prévues dans la paroi intérieure.



▲ Figure 54 : Manutention avec élingues de levage



▲ Figure 55 : Principes de levage

5.1.3. • Réception

À la livraison des panneaux sur chantier, une réception contradictoire entre représentants du fabricant et de l'entreprise de gros œuvre aura lieu.

Sont examinés visuellement : teintes, texture, épaufrures, fissures, éclats, salissures.

Les panneaux non conformes présentant des épaufrures importantes seront refusés.

Les raisons des non-conformités seront portées sur le bon de livraison.

Les épaufrures acceptées par la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage seront réparés directement sur chantier après pose.

5.1.4. • Stockage

Le stockage se fait sur des chevalets prévus à cet effet dans l'aire de stockage du chantier. Les becquets reposent en général sur un lit de sable.

5.1.5. • Protection des préfabriqués

Les préfabriqués étant posés sur des chevalets n'ont pas à être protégés. Pour éviter des chocs à la manutention on peut les protéger par un matériau absorbant les chocs et collé à la paroi extérieure.

Le système doit être tel qu'à tout moment les bâtiments en cours de montage soient stables.

Si les éléments de contreventement définitif ne sont pas montés ou liés au reste de la construction à mesure que celle-ci s'élève, il doit être mis en place un contreventement provisoire capable de résister aux efforts horizontaux normaux et aux efforts accidentels pouvant résulter du montage.

5.2. • Choix des matériaux

5.2.1. • Matériaux d'étanchéité

Les joints entre les parois extérieures de 2 panneaux sont décrits au chapitre 3.

Le joint de type « gouttière » est de mise en œuvre fiable et permet de bien garantir une peau extérieure librement dilatable.

Par ailleurs, ce type de joint présente une meilleure durabilité et moins d'entretien que les joints de type élastomère.

Les joints sont mis à l'avancement des panneaux.

5.2.2. • Béton des liaisons et chaînages

Le béton des liaisons verticales et des chaînages entre paroi intérieure des panneaux et les planchers est un béton C25/30 à agrégats de petit diamètre.

5.2.3. • Mortier de ragréage

Les parois extérieures devant régner, l'ajustement éventuel se fait sur les parois intérieures, par rattrapage avec l'enduit de peintre.



5.2.4. • Mortiers de bourrage des joints

Il s'agit de mortier sans retrait devant reprendre les charges. Le mortier sera de consistance sèche pour pouvoir effectuer le bourrage en pied de panneau.



Les cales de pose des panneaux doivent impérativement être enlevées à l'avancement de la mise en œuvre du mortier de bourrage.

Les joints remplis de mortier ne doivent concerner uniquement la paroi intérieure.

5.3. • Manutention des panneaux

5.3.1. • Règles de manutention avec les crochets du commerce et sujétions d'intégration de ces crochets dans les panneaux (positionnement et enrobages)

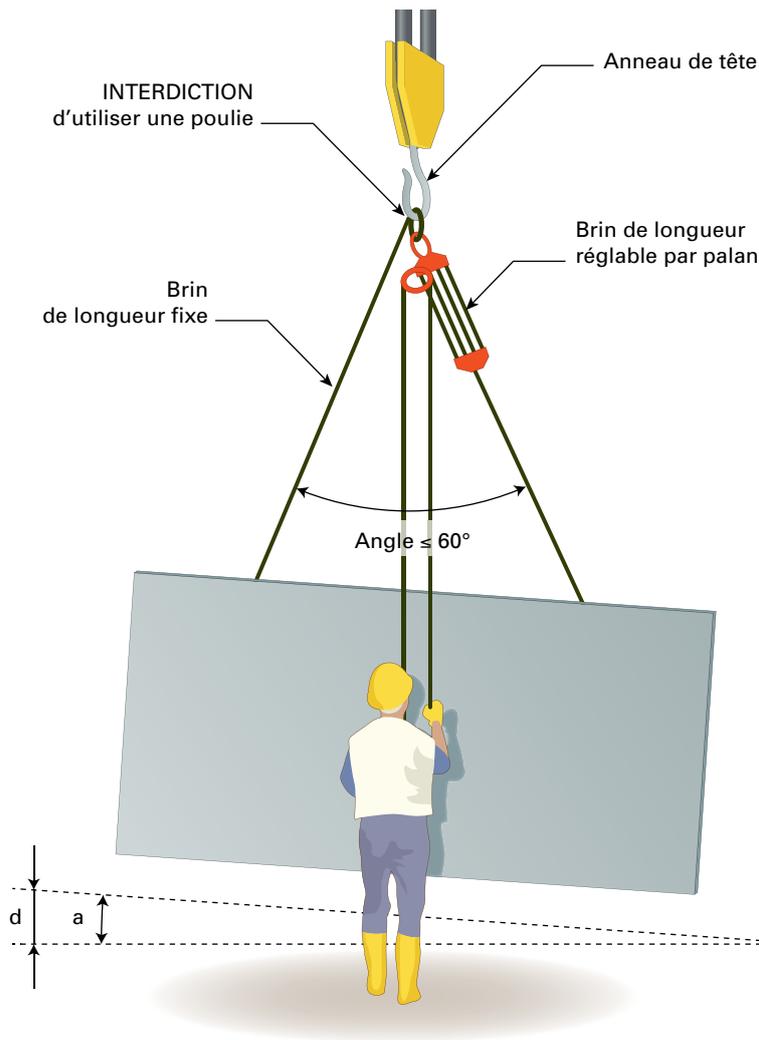
Les panneaux seront manutentionnés avec des élingues d'angle inférieur à 60° selon les bons usages en vigueur, afin en particulier de limiter les efforts de compression dans le buton fictif reprenant la composante horizontale du poids du panneau dans le béton de la paroi structurelle.

Les élingues seront fixées par des crochets allant chercher des ancrages ou des systèmes à douilles calculés pour reprendre la charge verticale du poids du panneau ; ils sont dimensionnés et suffisamment enrobés dans le béton de la paroi intérieure suivant les prescriptions de la documentation technique du fabricant d'ancres ou de douilles.

Les ancrages ou douilles seront parfaitement recouverts avec des aciers formant suspentes, eux aussi dimensionnés pour reprendre le poids du panneau et suffisamment ancrés pour que le relais soit assuré par recouvrements d'aciers avec les armatures du panneau.



Le crochet de la grue, de même que la capacité de celle-ci, seront adaptés au poids des panneaux qui est beaucoup plus élevé que les charges d'éléments préfabriqués classiques des chantiers de bâtiment.



▲ Figure 56

5.3.2. • Prise en compte de la stabilité des panneaux lors de leur livraison sur chantier

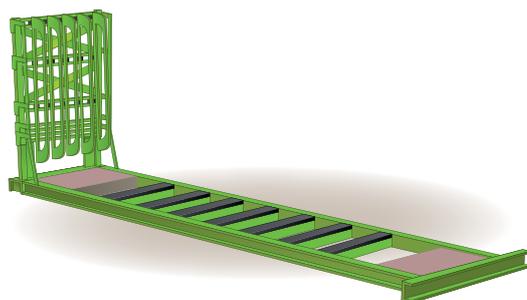
La pose des panneaux après réception contradictoire et acceptation par l'entreprise de gros-œuvre se fait sur chevalets disposés à cet effet sur une aire de stockage.

Une attention particulière sera portée aux becquets de pied de panneaux, particulièrement fragiles, afin d'éviter de générer des épaufrures du fait du stockage (panneaux accrochés aux chevalets sans contact possible des pieds de panneaux avec le sol, pose des panneaux sur chevalets avec pieds de panneaux sur lit de sable suffisamment épais et entretenu, etc.).

Une solution plus rapide, pour autant que le chantier dispose d'une surface suffisante pour former aire de stockage, consiste à livrer les panneaux sur des racks mis en place par des camions adaptés ; cette solution présente aussi l'avantage d'offrir la possibilité de présenter les panneaux dans l'ordre de pose, pour autant que l'équipe gros-œuvre et le fabricant se soient coordonnés sur l'ordre de pose.



▲ Figure 57



▲ Figure 58

5.3.3. • Douilles pour positionnement en phase provisoire

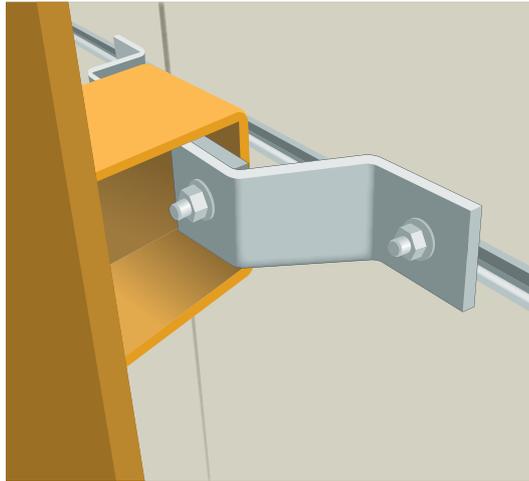
Des douilles sont prévues en partie haute et basse des panneaux pour fixation des étais tire-pousse assurant la stabilité des panneaux en phase provisoire.

Des douilles sont également prévues dans le plancher (niveau pied de panneau) pour fixation des étais tire-pousse (l'implantation de ces douilles dans le plancher est à faire vérifier par le BE structures de l'entreprise, à partir des données d'efforts et d'angles d'étalement fournies par le fabricant)

Des douilles spécifiques sont prévues en tête de paroi intérieure pour la fixation de garde-corps.

5.3.4. • Types de fixations des panneaux non porteurs à la structure

Les fixations utilisées doivent permettre de compenser les imperfections de fabrication et d'implantation de la structure. Elles sont généralement insérées dans des rails intégrés dès la fabrication dans les panneaux.



▲ Figure 59 : Exemple de fixation par système de « crapaud » entre la structure métallique et le rail d'ancrage du panneau

5.4. • Pose des panneaux

Afin d'assurer une pose correcte du système, la précision de la pose du premier niveau est fondamentale. Il convient d'effectuer le traçage complet de la position des panneaux (épaisseur de la paroi intérieure + isolant + repos de la paroi extérieure) sur une façade complète avec les premiers retours de chaque côté.

Les épaisseurs de joints sont également tracées.

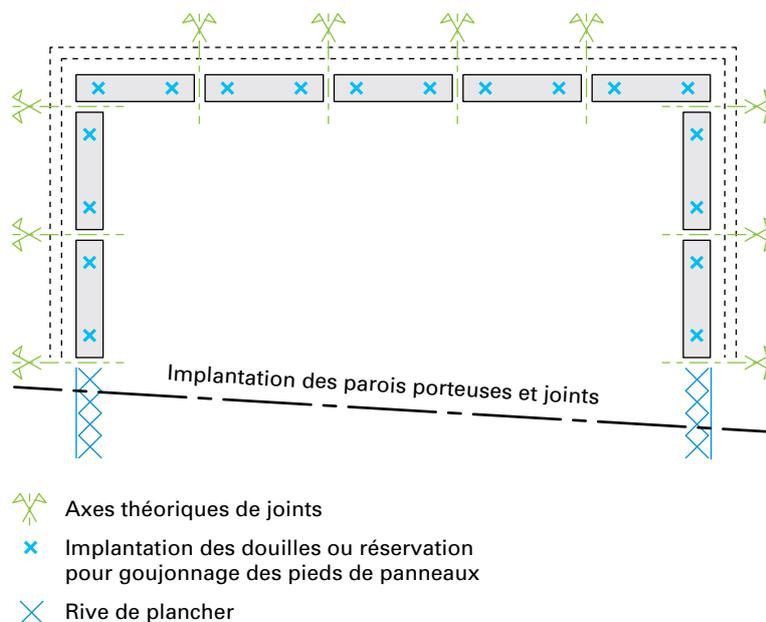
Ce traçage permettra d'assurer la précision de la pose de la première levée de panneaux.

La compensation des épaisseurs de joints se fait à ce niveau pour rattraper les écarts entre les cotes théoriques du gros œuvre servant d'assise et les cotes réelles.

Une fois cette compensation faite, les joints des parois extérieures devront avoir une verticalité satisfaisante.

La paroi intérieure des panneaux de grande hauteur devra comporter une ligne de douilles supplémentaires pour mise en place d'une ligne complémentaire d'étais tire-pousse.

Des aciers sont généralement prévus en tête de paroi intérieure pour assurer la liaison de tête de panneau avec le plancher, une réservation ayant été prévue, soit ponctuellement à raison de 2 par panneau, soit linéairement, permettant le bétonnage différé du chaînage panneau/plancher entre la tête de la paroi intérieure et le plancher préalablement coulé. Ce clavetage de paroi intérieure du panneau avec le plancher peut également se faire au coulage du plancher.



▲ Figure 60

5.4.1. • Pose sur cales

Les cales sont en bois ou en plastique. Elles sont positionnées en fonction du traçage préalable des panneaux.

Une fois les panneaux bien calés et étayés sur le plancher, la mise en œuvre à refus du mortier d'assise dont les caractéristiques sont définies par le bureau d'étude structures peut avoir lieu. Le retrait des cales est effectué lorsque le mortier est susceptible de porter le poids du panneau et du plancher supérieur.

Après retrait des cales, un matage complémentaire au mortier sans retrait est fait dans les empreintes.

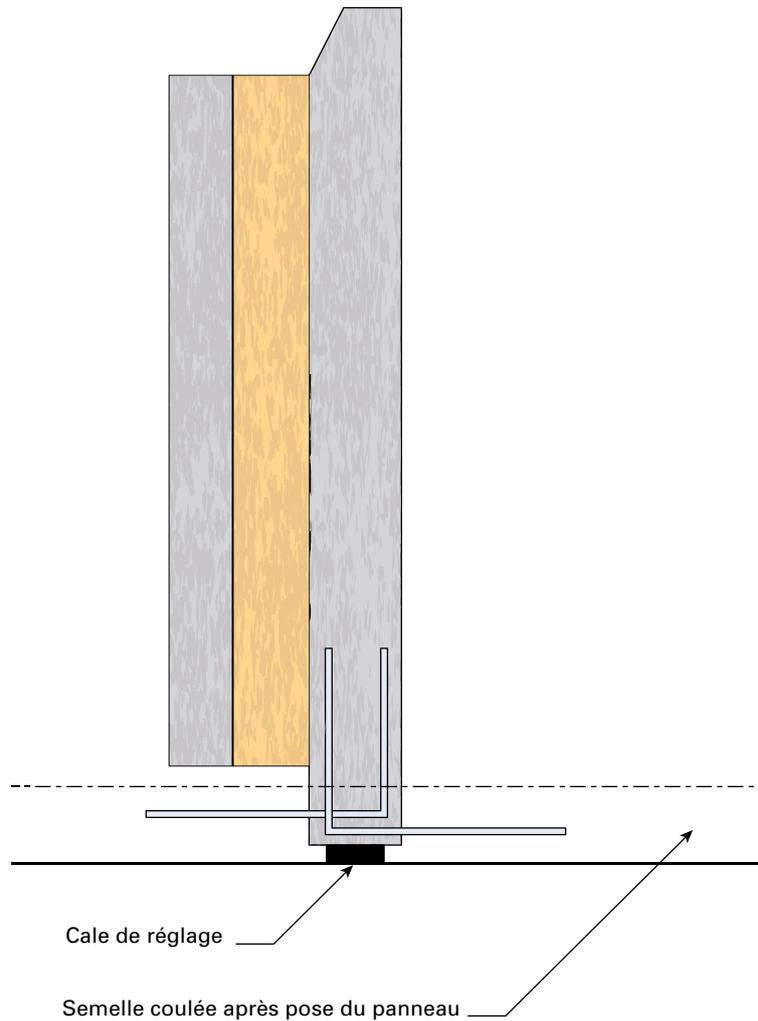


▲ Figure 61 : Pose sur cale avec système de brochage

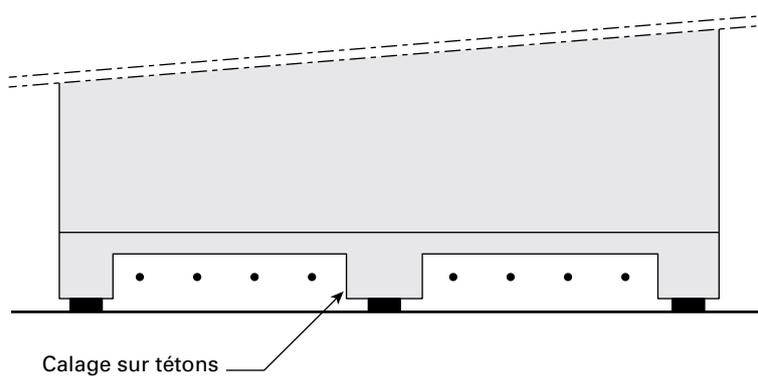
5.4.2. • Pose avec clavetage en sous-œuvre

Dans le cas où il faut réaliser un encastrement en pied important, il est possible de mettre des armatures en attente proches des bords des

peaux de la paroi intérieure. Dans ce cas, le panneau est positionné sur ces cales ponctuelles avant le coulage du plancher bas.



▲ Figure 62



▲ Figure 63

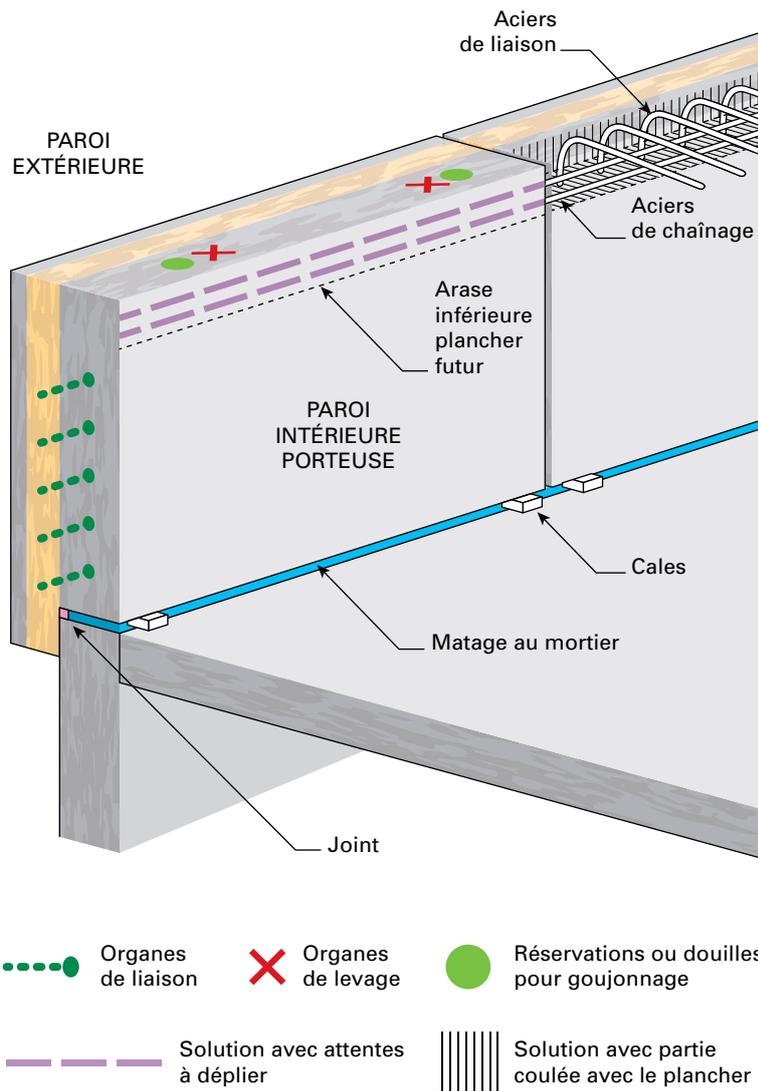
Cette pose est à déconseiller, pour des raisons de phasage de chantier et pour des problèmes de stabilité en phase provisoire.



5.4.3. • Jonction entre panneaux

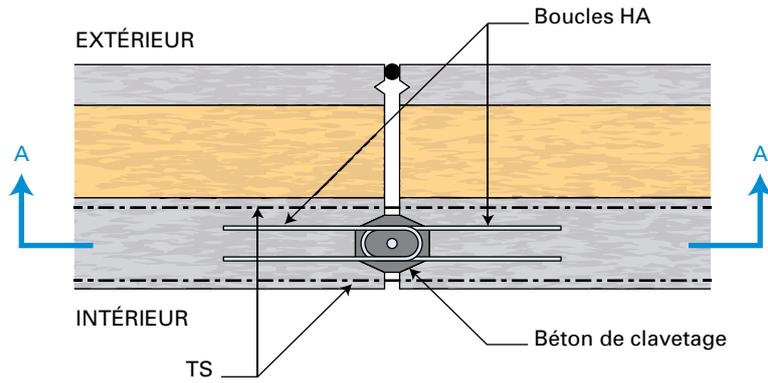
5.4.3.1. • Panneaux porteurs

Des aciers sont généralement prévus en tête de paroi intérieure pour assurer la liaison de tête de panneau avec le plancher, une réservation ayant été prévue, soit ponctuellement à raison de 2 par panneau, soit linéairement, permettant le bétonnage différé du chaînage panneau/plancher entre la tête de la paroi intérieure et le plancher préalablement coulé. Ce clavetage de paroi intérieure du panneau avec le plancher peut également se faire au coulage du plancher.



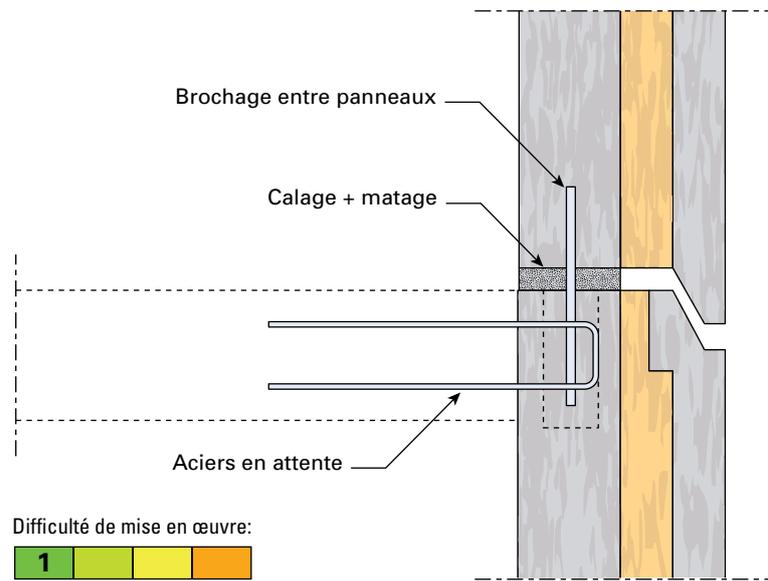
▲ Figure 64

Pour les panneaux porteurs, ces derniers reprennent entre autres les charges verticales apportées par les plancher. Les liaisons sont en général des clavetages béton armé mais peuvent également être réalisées avec des liaisons mécaniques.

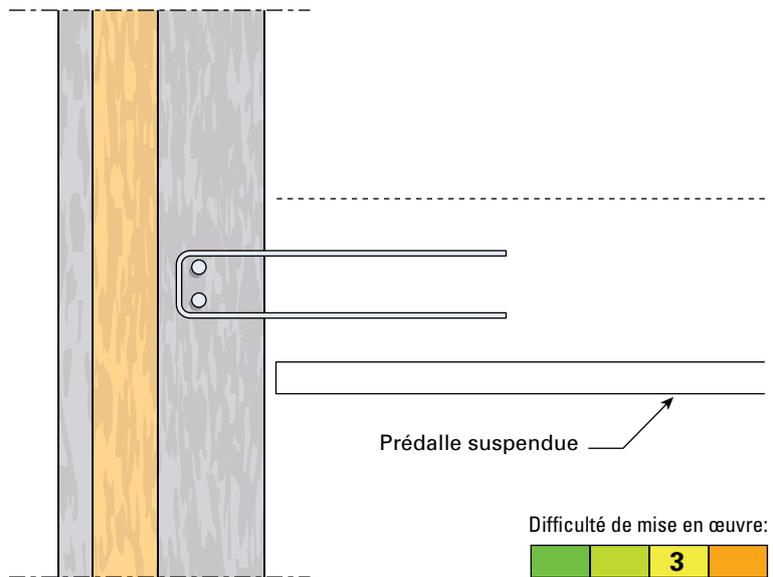


▲ Figure 65

Liaisons horizontales

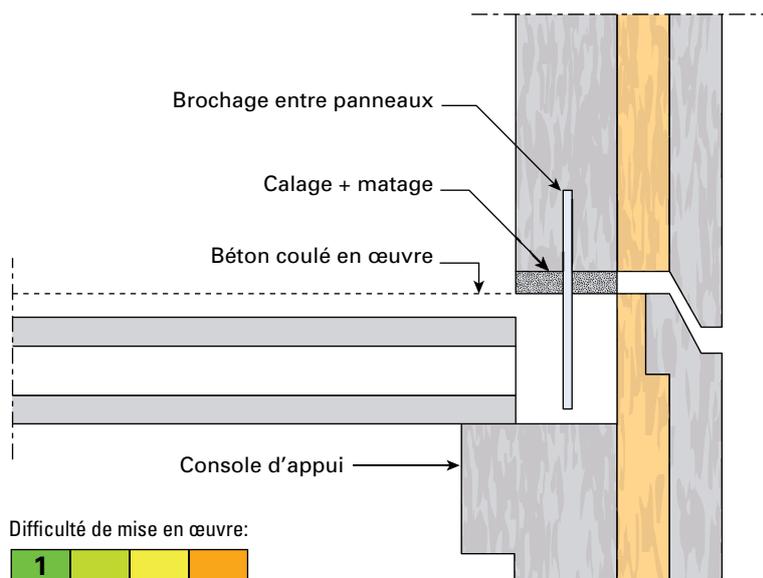


▲ Figure 66 : Cas de pose avec dalles pleines — Difficulté de mise en œuvre 1/4



▲ Figure 67 : Cas de pose avec dalles alvéolaires — Difficulté de mise en œuvre 3/4



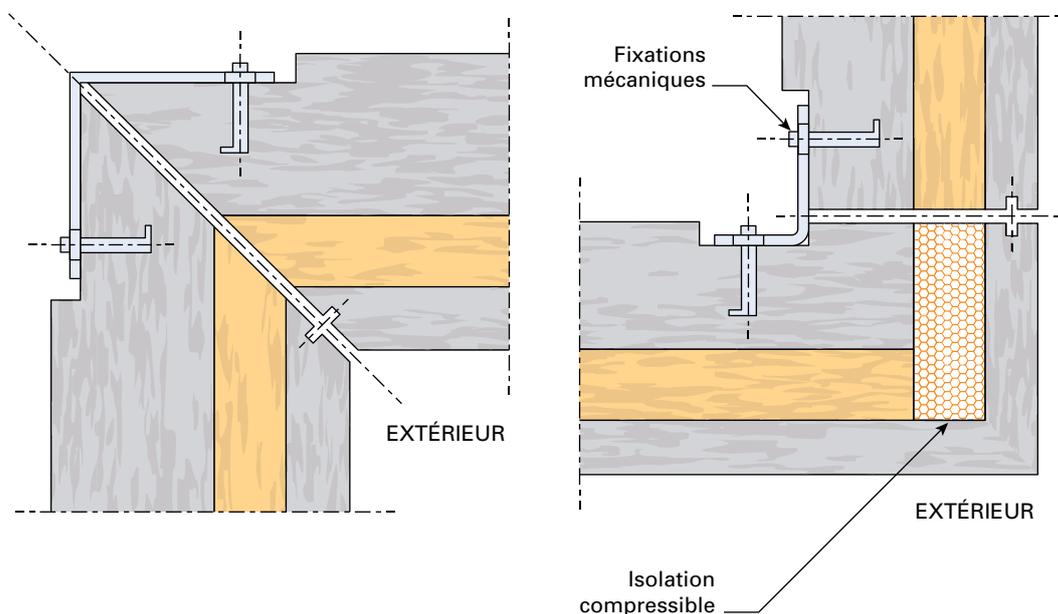


▲ Figure 68 : Cas de pose avec dalles alvéolaires — Difficulté de mise en œuvre 1/4

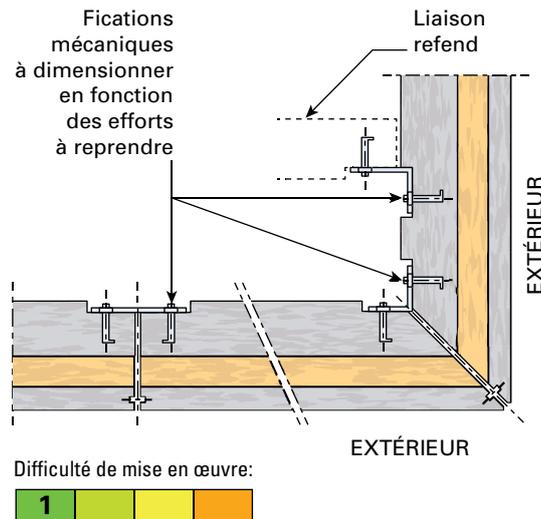
Liaisons verticales

Dans le cas de murs non porteurs, les liaisons peuvent être assurées par des pièces métalliques, sans clavetage.

L'étanchéité doit être assurée par la mise en œuvre d'un joint sur la paroi intérieure.



▲ Figure 69 : Liaisons d'angle



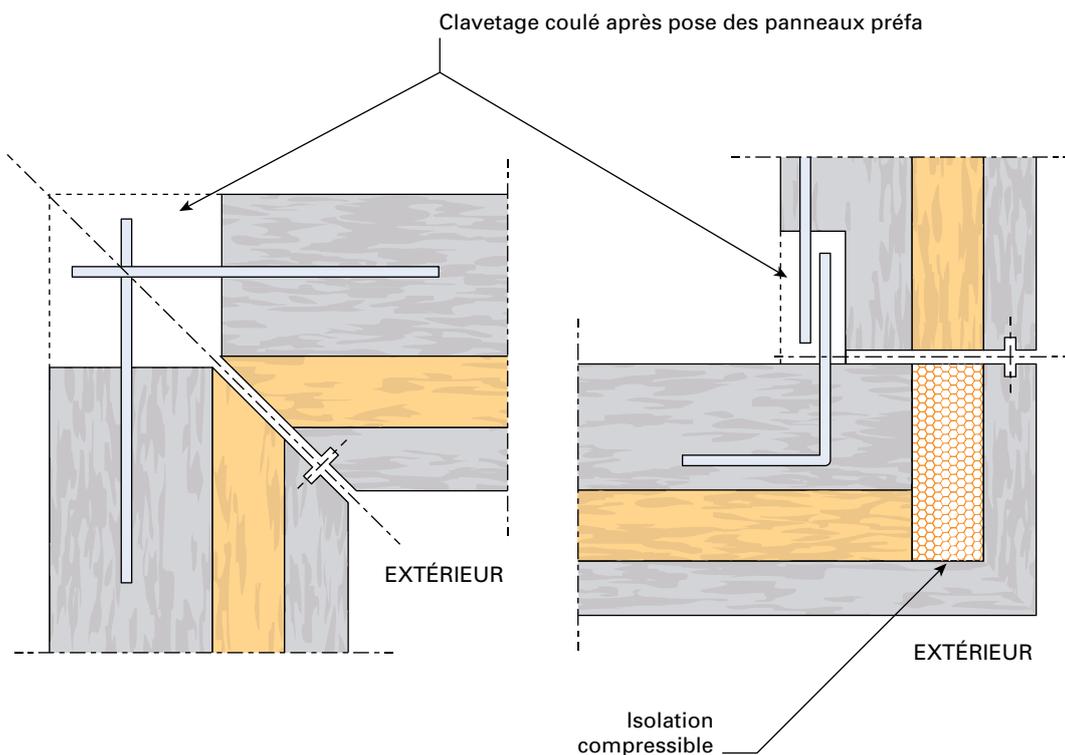
▲ Figure 70 : Liaison entre panneaux et avec les murs de refends

Ce principe de fixation est courant pour les bâtiments industriels. Dans le cas d'exigences de finitions côté intérieur, il faut prévoir de masquer les fixations.

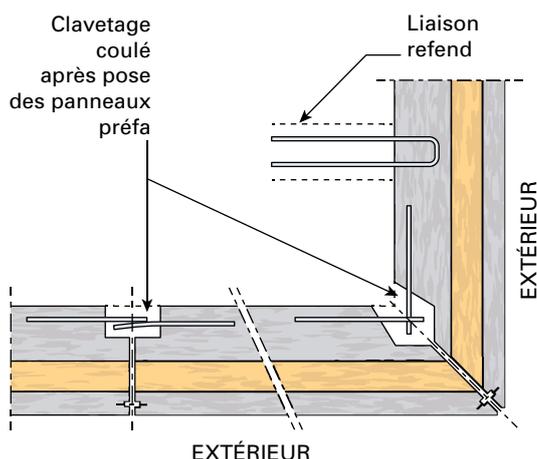
Ces mêmes fixations doivent recevoir une protection au feu (de type flocage ou protection par un parement rapporté) dans le cas d'exigence de stabilité s'appliquant sur les panneaux.

Difficulté de mise en œuvre des panneaux : 1/4

Il est possible également de liasonner les panneaux par l'intermédiaire de broches clavetées. Dans ce cas, l'étanchéité du joint vertical peut être assurée par le joint de clavetage. Cette disposition n'est pas compatible avec les exigences sismiques.



▲ Figure 71 : Liaisons d'angle



▲ Figure 72 : Liaison entre panneaux et avec les murs de refends

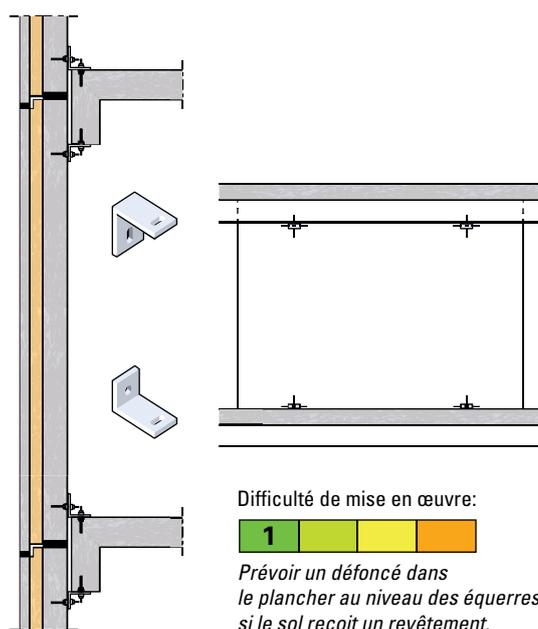
Difficulté de mise en œuvre : 2/4 (planches de coffrage à mettre en œuvre, recouvrement des armatures à respecter).

5.4.3.2. • Liaisons des panneaux non porteurs à la structure

Les panneaux non porteurs sont supportés par une ossature (béton, métal, etc.).

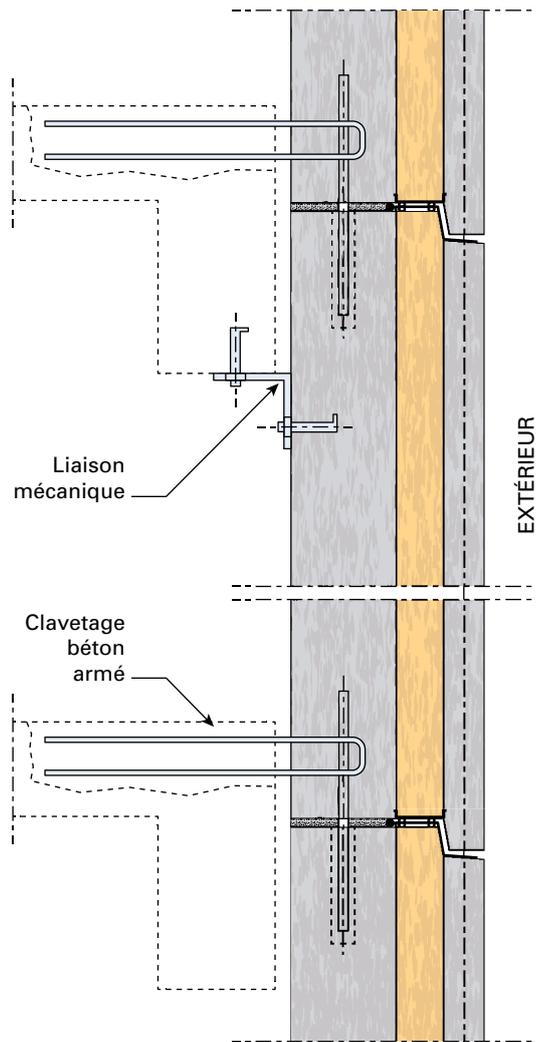
Les liaisons sont de type « mécanique ». Les organes de fixations peuvent être chevillées au gros-œuvre ou clavetés.

Les dispositions et la conception de ces organes de fixations doivent permettre des déplacements dans le plan des panneaux afin de ne pas les charger par blocage de la déformation du gros-œuvre. À cet effet, des dispositifs à trous oblongs et/ou rails d'inserts peuvent être utilisés.



▲ Figure 73 : Exemple de liaison mécanique par équerres métalliques et rails d'insert

Difficulté de mise en œuvre : 1/4. Prévoir un défoncé dans le plancher au niveau des équerres si le sol reçoit un revêtement.



Difficulté de mise en œuvre:



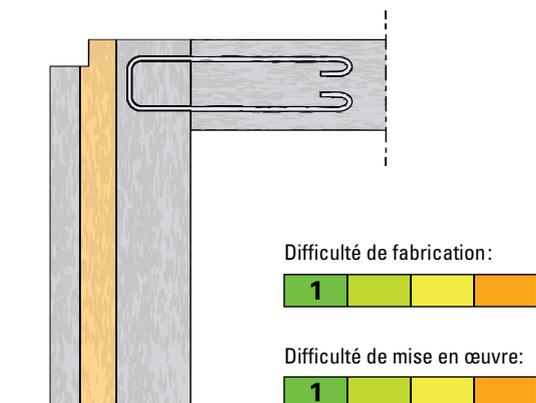
Avantage: liaison en pied cachée.

▲ Figure 74 : Liaison mixte mécanique et béton armé

Difficulté de mise en œuvre : 1/4

Avantage : liaison en pied cachée.

5.4.4. • Détails de liaison entre panneaux porteurs et planchers



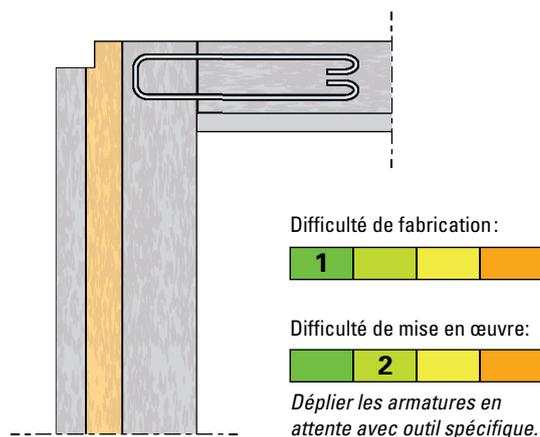
Difficulté de fabrication:



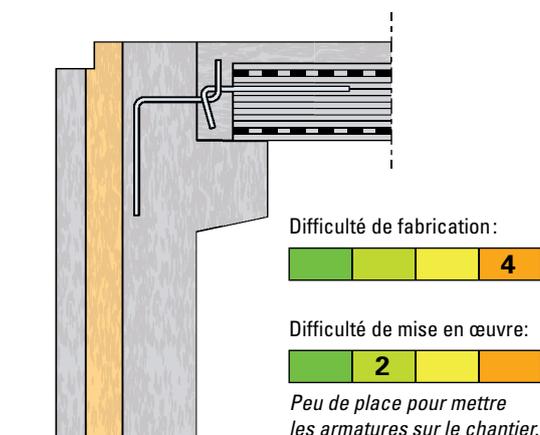
Difficulté de mise en œuvre:



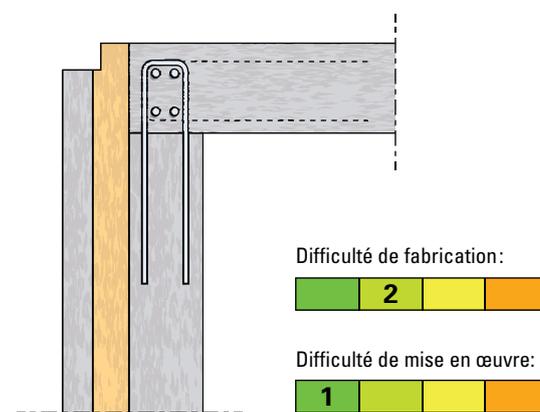
▲ Figure 75 : Fabrication 1/4 – Mise en œuvre 1/4



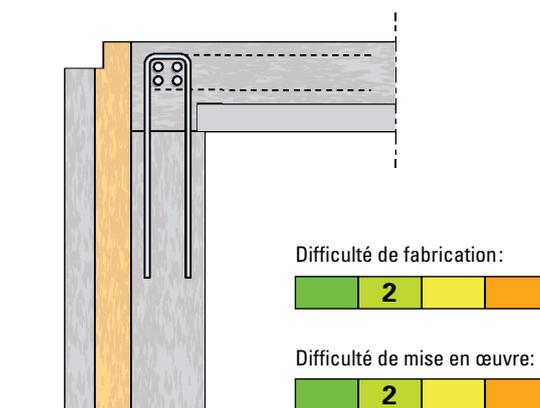
▲ Figure 76 : Fabrication 1/4 – Mise en œuvre 3/4 (déplier les armatures en attente avec outil spécifique)



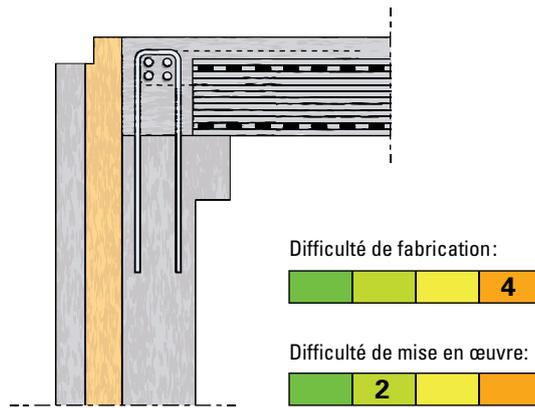
▲ Figure 77 : Fabrication 4/4 – Mise en œuvre 2/4 (peu de place pour mettre armatures sur chantier)



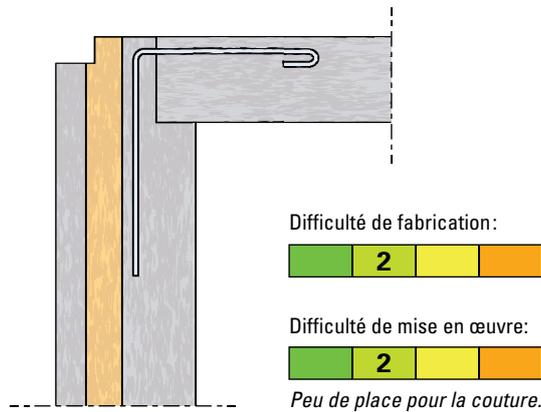
▲ Figure 78 : Fabrication 2/4 – Mise en œuvre 1/4



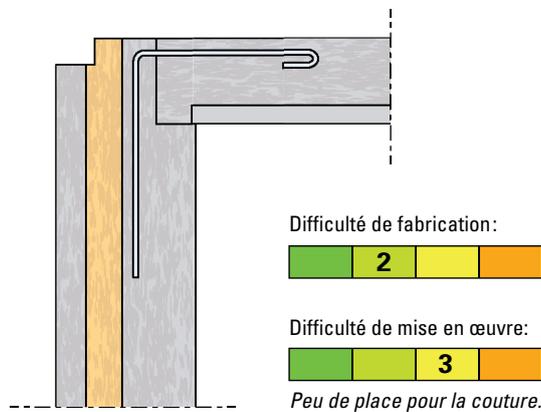
▲ Figure 79 : Fabrication 2/4 – Mise en œuvre 2/4



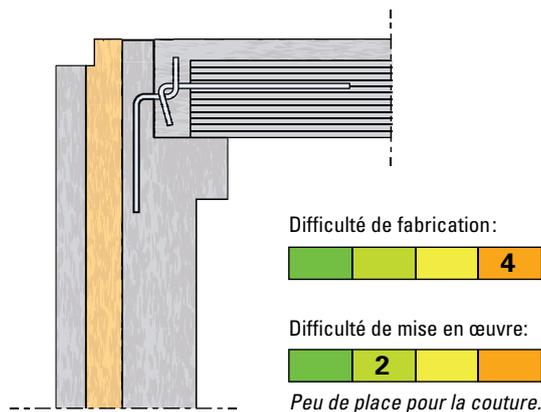
▲ Figure 80 : Fabrication 4/4 – Mise en œuvre 2/4



▲ Figure 81 : Fabrication 1/4 – Mise en œuvre 2/4 (peu de place pour la couture)



▲ Figure 82 : Fabrication 1/4 – Mise en œuvre 3/4 (peu de place pour la couture)



▲ Figure 83 : Fabrication : 4/4 – Mise en œuvre 2/4 (peu de place pour la couture)



Figures 79 et 80 : Attention, l'isolant en tête de mur est plus haut que les arases des deux peaux béton, ce qui rend plus vulnérable à la dégradation lors des phases de manutention et de réalisation des liaisons avec le plancher.

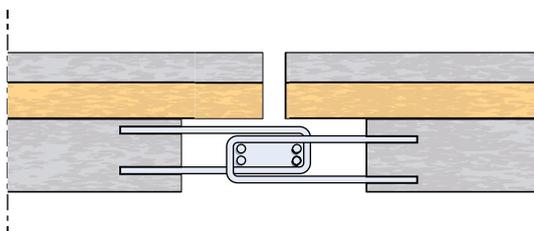
5.4.5. • Mise en œuvre sur chantier des armatures en attente pour les panneaux sandwichs, en particulier ceux pour les exigences sismiques (couture entre panneaux)

En zone sismique, les joints des parois intérieures peuvent être soumis à des flux de cisaillement, ce qui conduit à mettre en œuvre des jonctions à boucles horizontales verrouillées par des barres verticales.

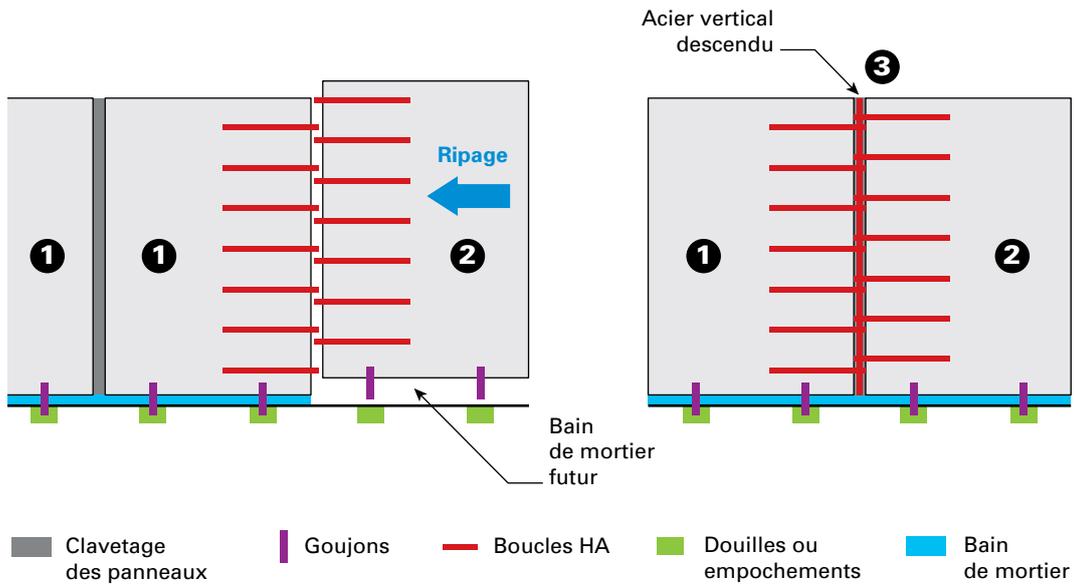
La mise en œuvre de panneaux sandwichs assemblés de la sorte est particulièrement délicate puisqu'il faut ripper horizontalement le panneau $n + 1$ vers le panneau n déjà en place, tout en assurant la tenue de pied des panneaux par goujonnage.

Une fois le panneau ripé puis descendu, les barres verticales sont mises en place entre les boucles et le clavetage est coffré si nécessaire et coulé. Le béton mis en œuvre est défini par les calculs au minimum C25/30 et de consistance S4 voire S5.

Clavetage vertical en zone sismique:



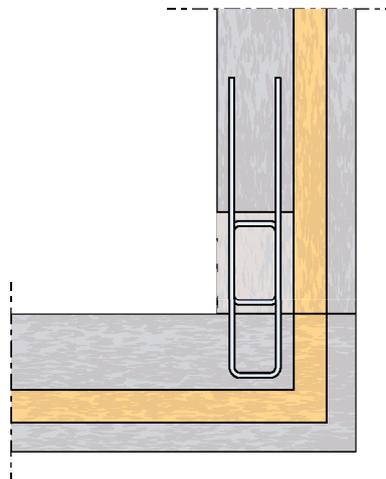
▲ Figure 84 : Clavetage vertical en zone sismique — Liaisons entre panneaux



- ❶ Panneaux posés clavetés
- ❷ Panneau ripé puis descendu sur bain de mortier ou sur cales avant matage du mortier
- ❸ Mise en place acier vertical entre boucles et clavetage des panneaux

▲ Figure 85 : Cinématique de pose des panneaux

Difficulté de mise en œuvre : 3/4. Phasage de pose en deux mouvements (un horizontal, puis un vertical), demande de main d'œuvre qualifiée, coffrage, remplissage du clavetage difficile.

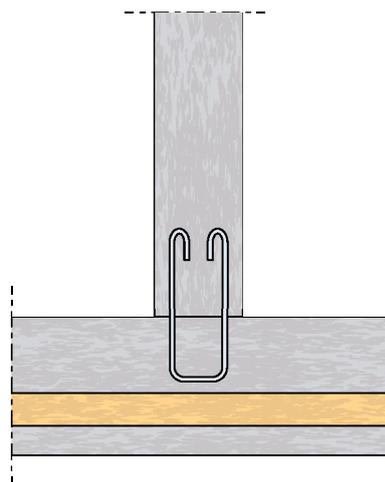


▲ Figure 86 : Liaison d'angle entre panneaux



Alerte : la réalisation de telles liaisons nécessitent une mise en œuvre des panneaux par ripage pour pouvoir recouvrir les boucles.





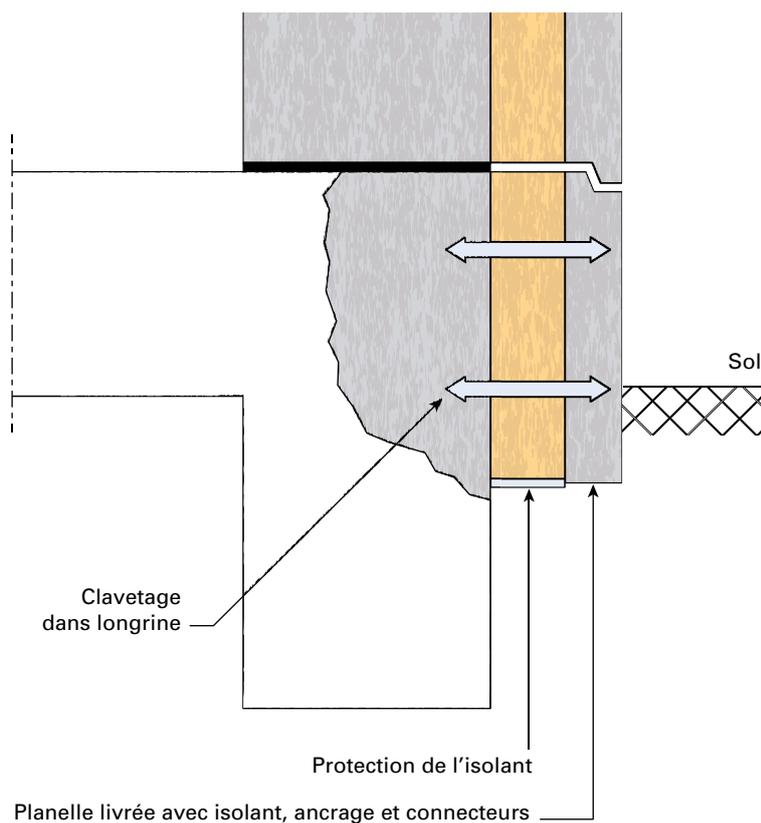
▲ Figure 87 : Liaison avec refend

Difficulté de mise en œuvre : 1/4.

5.4.6. • Traitement de coffrage de points singuliers (nez de plancher bas par exemple)

Dans certains cas, le traitement du pont thermique du plancher bas peut être traité par un élément rapporté dont le parement est identique à celui des panneaux supérieurs. Cet élément n'a pas de rôle structural mais juste esthétique. Il sert cependant à protéger l'isolant des chocs. Il peut être liaisonné à la structure par clavetage.

Planelles isolées sur longrines:



▲ Figure 88 : Planelles isolées sur longrines



Les longueurs d'ancrage des armatures de liaison doivent être compatibles avec les encombrements de ferrailage, en particulier au niveau du chaînage. Des boîtes d'attente spécifiques permettent de garantir un bon ancrage de ces armatures.

5.5. • Réparation des épaufrures et défauts d'aspects

Les reprises feront l'objet d'une procédure spécifique adaptée aux différents cas rencontrés. Les compositions des mortiers de reprise y seront précisées ainsi que la méthodologie de reprise.

À titre d'exemple : préparation des matériaux et matériel pour intervention de reprise.

Matériaux nécessaires (pour chaque parement) :

- Ciment (identique au ciment utilisé pour la réalisation du chantier)
- Colorants (identique à ceux utilisés par la centrale)
- Sable tamisé identique au sable entrant dans la composition du béton (tamis 0,1 mm type tamis de labo)
- Gravier, grains < 12 mm, identique au gravier entrant dans la composition des bétons
- Résine d'accrochage acrylique (impérativement)
- Trichloréthylène (5 litres)
- Acide chlorhydrique (2 litres)

Matériel nécessaire :

- Une auge de malaxage propre
- Un verre doseur en plastique pour le ciment et les granulats
- Une petite cuillère pour le dosage des colorants (avec référence poids)
- Éponge végétale (pas de la mousse)
- Spatules largeur 60 mm et 250 mm
- Un marteau + un burin plat
- Un marteau à boucharder
- Un nettoyeur HP (si possible eau chaude)
- Chiffons blancs propres
- Pinceaux largeur 30 et 60 mm
- Toile émeri (grain fin et gros grain)
- Pierre à poncer (grain fin et gros grain)





Procédures de reprise :

- Bouchonnage :
 1. Laver à l'eau chaude HP (120 bars) toute la surface en éliminant au grattoir toutes les coulures de ciment
 2. Éliminer les balèvres et surépaisseurs
 3. Faire une reprise des épaufrures et des nids de graviers avec un mortier de reprise
 4. Faire un bouchonnage de la surface avec une éponge végétale en essuyant bien avec un chiffon toutes traces de surépaisseurs
 5. Si des taches subsistent, faire une deuxième application avec un intervalle minimum de 24 heures
 - Préparation du mélange :
 - 2 mesures de sable
 - 1,5 mesure de ciment
 - Malaxer avec un mélange 50 % eau + 50 % résine (aspect crémeux de la pâte)
 - Épaufrures :
 1. Dégager au burin les parties non adhérentes
 2. Dépoussiérer
 3. Appliquer au pinceau de la résine de reprise
 4. Mettre en œuvre le mortier en coffrant si nécessaire
 5. Lisser la surface avec une cale de polystyrène
 6. Protéger avec un chiffon humide des rayonnements solaires
 - Préparation du mélange :
 - 1 mesure de sable
 - 1 mesure de gravier
 - 1,5 mesure de ciment
 - Malaxer avec un mélange 50 % eau + 50 % résine (aspect ferme de la pâte)

5.6. • Réalisation des dispositifs d'étanchéité des joints

Les dispositifs d'étanchéité des joints sont réalisés au fur et à mesure de la mise en place des panneaux.

Horizontalement, dès que deux panneaux mitoyens seront posés et après retrait des cales, les bavettes de rejet d'eau horizontales seront mises en place immédiatement après le clavetage vertical entre parois

intérieures s'il existe et coulage de la partie de plancher éventuellement nécessaire à son assise (solution traditionnelle sans boîtes d'attentes).

Verticalement les clés des joints gouttière de la paroi extérieure seront posées à l'avancement.

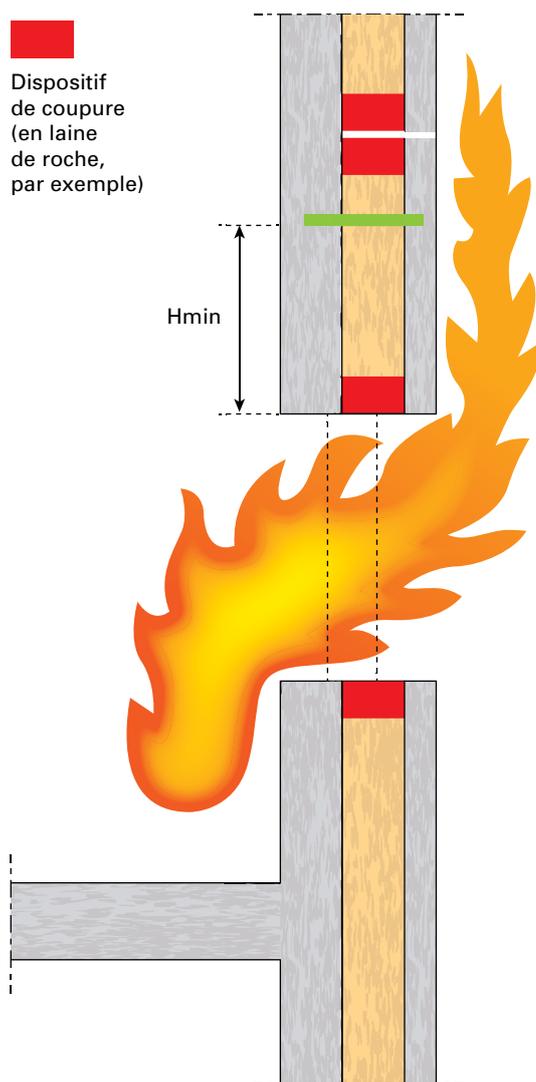
Une butée sera prévue pour éviter la descente de ces clés.

Lorsque des joints horizontaux seront demandés par l'architecte, ils seront posés en laissant vide l'intersection avec les joints verticaux afin de drainer une éventuelle entrée d'eau. Ces joints seront suffisamment souples pour absorber les variations dimensionnelles des parois extérieures et leur conserver leur caractère de libre dilatation.

Alerte : une attention particulière sera apportée tant au droit des joints de menuiseries qu'aux croisements de joints.

5.7. • Dispositions constructives de protection vis-à-vis d'une propagation de l'incendie entre locaux

Pour éviter la propagation du feu pour répondre aux exigences de l'IT 249 au droit de l'isolant (effet cheminée), le pourtour des ouvertures devra être protégé par un matériau non combustible (laine de roche par exemple). Une barrière de protection devra également être positionnée à chaque niveau pour les locaux dits de sommeil (hôtels, hôpitaux, etc.).



▲ Figure 89 : Propagation d'un feu intérieur par une façade

En partie courante, la lame isolante des panneaux sandwichs est protégée par l'épaisseur du béton de la paroi extérieure. En revanche, au droit des ouvertures, en cas de feu intérieur, elle peut être sollicitée au niveau du cadre des ouvertures. De plus si le panache thermique se propage verticalement côté extérieur, c'est au niveau des joints entre panneaux que l'isolant peut être échauffé et conduire à un éventuel effet de cheminée.

Aussi, lorsque l'isolant utilisé n'est pas incombustible, il est nécessaire de mettre en place des dispositifs de coupure dans ces zones, qui peuvent par exemple être constitués de laine de roche de haute densité mise en place de façon à assurer le maintien de l'isolant en cas d'agression thermique.

Par ailleurs, étant donné la faible épaisseur de la paroi extérieure, les ancrs ne doivent pas être disposées à la verticale des ouvertures sur une hauteur minimale au-dessus des linteaux de sorte à éviter l'échauffement du béton du voile extérieur au niveau des ancrs en cas de flammes et panache sortant par ces ouvertures.

L'ensemble de ces dispositions sont précisées au cas par cas dans les Appréciations de Laboratoires des procédés de panneaux sandwichs visés.

Les panneaux sandwichs lourds non porteurs ne comportent pas de liaisons mécaniques avec les refends ou les planchers. De ce fait, les transmissions latérales (isolement acoustique entre deux locaux contigus en façade) par rapport à des murs porteurs sont modifiées.

Deux cas pourront être dimensionnés :

- Le premier quand le séparatif (horizontal ou vertical) est à une jonction de panneau. Il est alors possible de réaliser une mise en œuvre permettant un découplage vibratoire important entre panneau (en interposant un matériau résilient bien dimensionné) et diminuer ainsi très fortement les chemins de transmissions latérales. Si la jonction est réalisée au mortier de matage, le voile intérieur sera considéré comme continu de part et d'autre du séparatif, il faudra alors se reporter au second cas ;
- le second cas correspond à un séparatif (horizontal ou vertical) dans la partie courante du panneau non porteur, ici une approche de type $D_{n,f}$ sera possible pour évaluer les transmissions latérales.

Performance produit pour un panneau sandwich non-porteur : $D_{n,f,w} + C$ en dB du voile béton intérieur

La mesure est réalisée selon la norme NF EN ISO 10848-2.

Celui-ci sera d'autant plus défavorable que le voile intérieur sera de faible épaisseur.

Il sera représentatif d'un séparatif présent dans la partie courante du panneau.

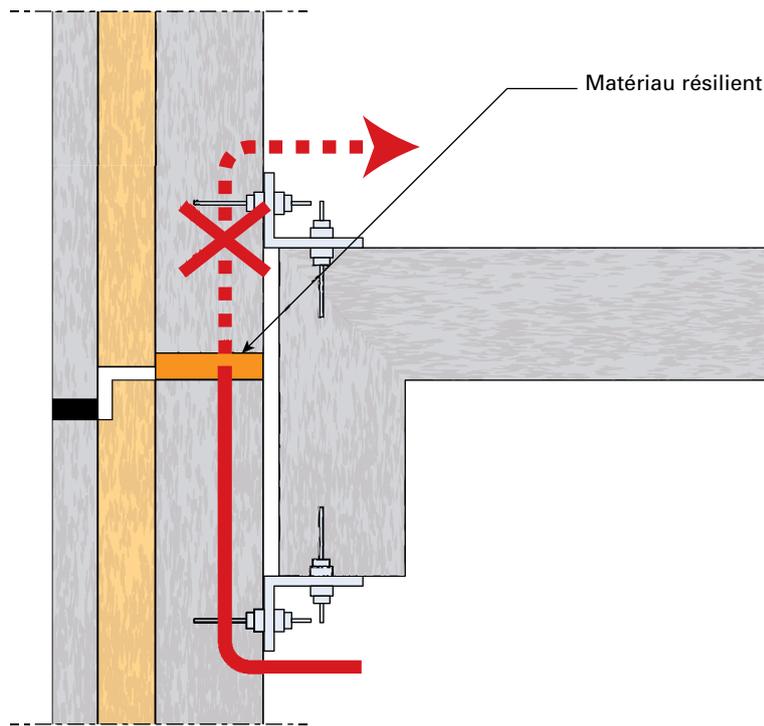
À notre connaissance, il existe très peu de données à ce jour.

Performance in situ : Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A} = D_{n,T,w} + C$ en dB

Niveau réglementaire : les principaux isolements réglementaires dans le logement collectif sont typiquement compris entre 50 et 58 dB.

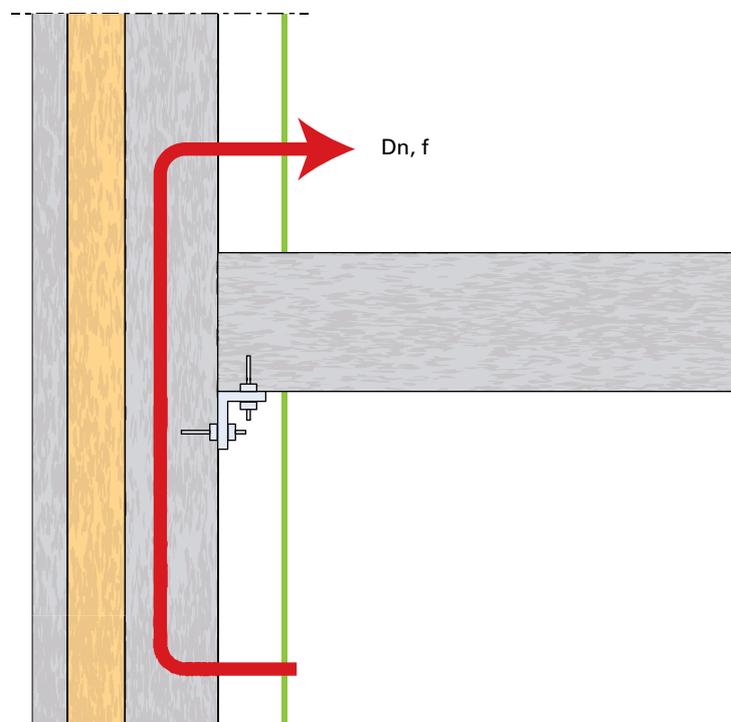


Cas du séparatif à la jonction entre panneaux



▲ Figure 90 : Jonction de panneaux non porteurs avec un matériau résilient adapté (suffisamment souple pour éviter les reports de charges du panneau supérieur sur le panneau inférieur) — discontinuité vibratoire

Cas du séparatif en partie courante de panneau

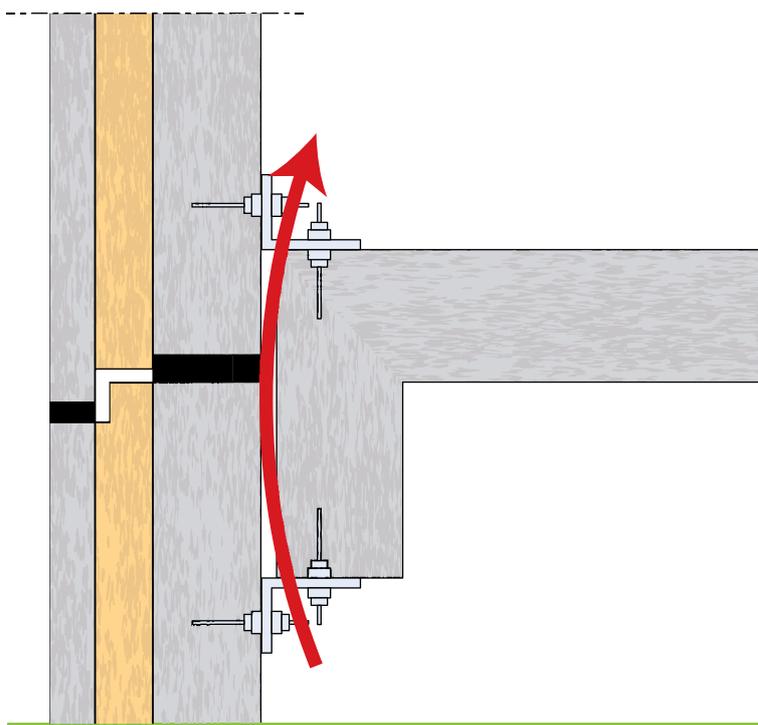


▲ Figure 91 : Jonction entre panneau et refend en partie courante de panneau

Il faut avoir en tête que tous autres paramètres égaux par ailleurs, un bâtiment avec des panneaux sandwichs non porteurs avec des séparatifs en partie courante de panneaux nécessitera un voile de béton

intérieur d'épaisseur supérieure à celle d'un système porteur pour atteindre une performance équivalente.

Enfin dans le système non porteur, une attention toute particulière devra être apportée au traitement de la jonction en nez de refend ou de plancher pour éviter toute fuite aérienne et défaut d'isolation. Idéalement une bande de laine minérale (entre panneau et séparatif), complétée par un dispositif d'étanchéité des deux côtés du séparatif répondrait au problème.



▲ Figure 92 : Jonction entre séparatif et panneau non porteur : prévoir un traitement par un matériau résilient adapté pour éviter les transmissions acoustiques directes

5.8. • Aspects intégration des menuiseries

5.8.1. • Généralités

Le tableau suivant récapitule les principaux cas rencontrés pour la mise en œuvre d'une fenêtre ou d'une porte en travaux neufs. Il reprend le vocabulaire de l'annexe A du NF DTU 36.5 P1-1.

▲ Tableau 11 : Les différents cas de figure de mise en œuvre d'une fenêtre en travaux neufs

Cas	Situation de pose	Emplacement du calfeutrement au gros œuvre	Disposition de la fixation des montants	Autres
1	en tableau	en tunnel	en tableau	dormant large
2	en tableau	en tunnel	en tableau	dormant étroit
3	en tableau	en tunnel	en tableau	bloc-baie
4	en tableau	en tunnel	en tableau	seuil réduit

Les dispositions de mise en œuvre des fenêtres ou des portes extérieures dans un panneau sandwich sont conformes aux dispositions décrites dans le NF DTU 36-5 P1-1 et P1-2. L'ensemble de ces dispositions ne doivent pas perturber le fonctionnement normal de la fenêtre ou de la porte extérieure (par exemple, la mise en place de la bavette en partie basse ne doit pas obstruer les orifices de drainage).

Lorsque la pièce d'appui de la fenêtre ne reprend pas l'épaisseur totale (cas 2 et 3), la tranche supérieure de l'isolant et de la paroi extérieure mince est recouverte par une bavette rapportée, cette bavette devant respecter les exigences décrites au paragraphe 5.1.7 du NF DTU 36.5 P1-1. Un mastic polyuréthane SNJF 1^{re} catégorie disposé en cordons permet de solidariser la bavette au système et d'améliorer l'adhérence et l'étanchéité à l'air (le mastic doit être compatible avec les matériaux constituant la bavette et l'isolant). De plus, une deuxième fixation mécanique de la bavette (patte-équerre par exemple) est nécessaire à la jonction entre bavettes ou pour des bavettes de longueur supérieure ou égale à 3 m.

Note : Pour les cas 2 et 3, le dormant de la fenêtre doit comporter un profil formant rejet d'eau en traverse basse, permettant de satisfaire les exigences du NF DTU 36.5. Ce profil sert également à fixer la bavette recouvrant la partie supérieure de l'isolant.

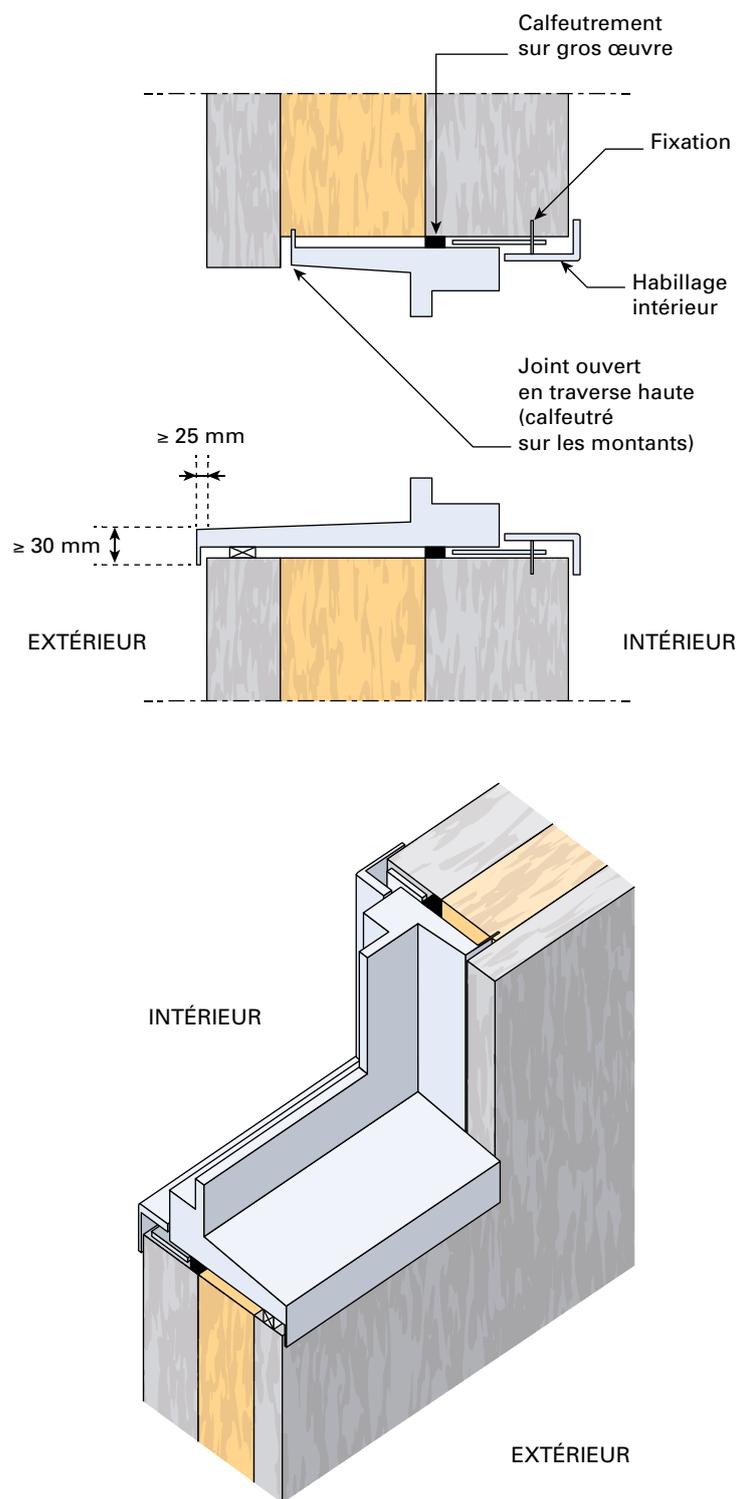
Lorsque le mode de mise en œuvre nécessite l'utilisation de bavettes (cas 2 et 3), celles-ci ne doivent pas perturber les performances acoustiques de la fenêtre.

Des dispositions doivent être prévues pour évacuer les éventuelles eaux d'infiltrations pouvant s'accumuler en traverse haute, au droit de l'isolant.

Dans tous les cas de mise en œuvre, le calfeutrement et les fixations de la fenêtre doivent être systématiquement mis en place sur la paroi intérieure du panneau sandwich, le calfeutrement devant se trouver au nu extérieur de la paroi intérieure.

Le joint entre la face intérieure de la paroi extérieure mince et la fenêtre (extrémité dormant ou habillages) est calfeutré sur les montants mais laissé libre en traverse haute.

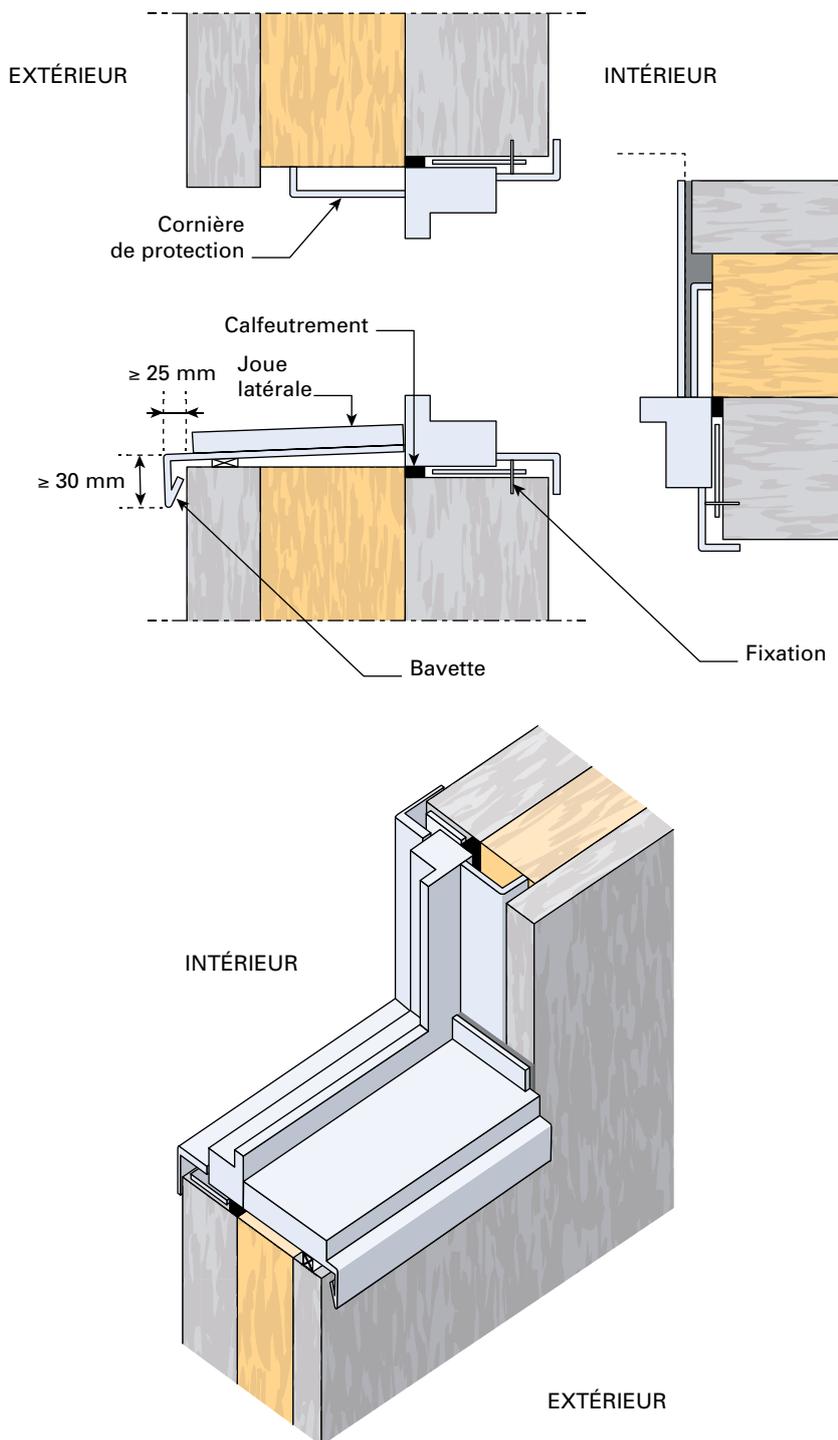
5.8.2. • Mise en œuvre d'une menuiserie avec dormant large sans précadre (cas n° 1)



▲ Figure 93 : Solution 1 : Cas d'une menuiserie avec dormant large sans précadre



5.8.3. • Mise en œuvre d'une menuiserie avec habillage et sans précadre (cas n° 2)

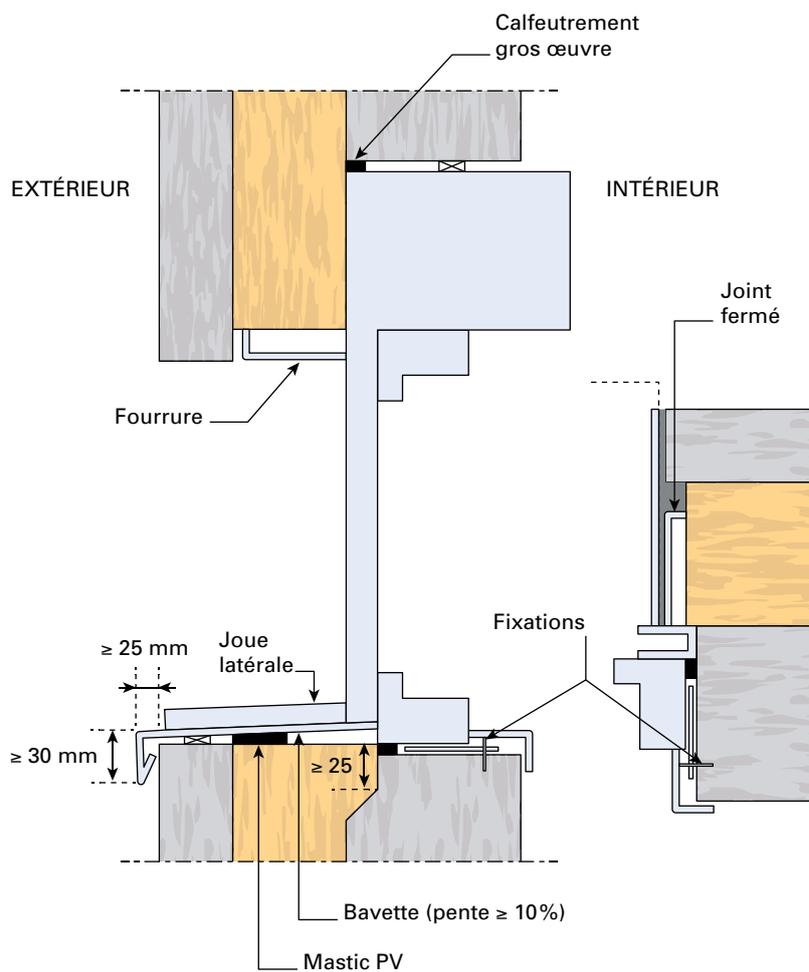


▲ Figure 94 : Cas d'une menuiserie avec habillage sans précadre

5.8.4. • Mise en œuvre d'un bloc-baie (cas n° 3)

La continuité du calfeutrement est à assurer entre la partie haute du coffre et le dormant de la fenêtre.

Un décalage pouvant se produire, une réservation dans la paroi intérieure est à réaliser (rejingot 25 mm).

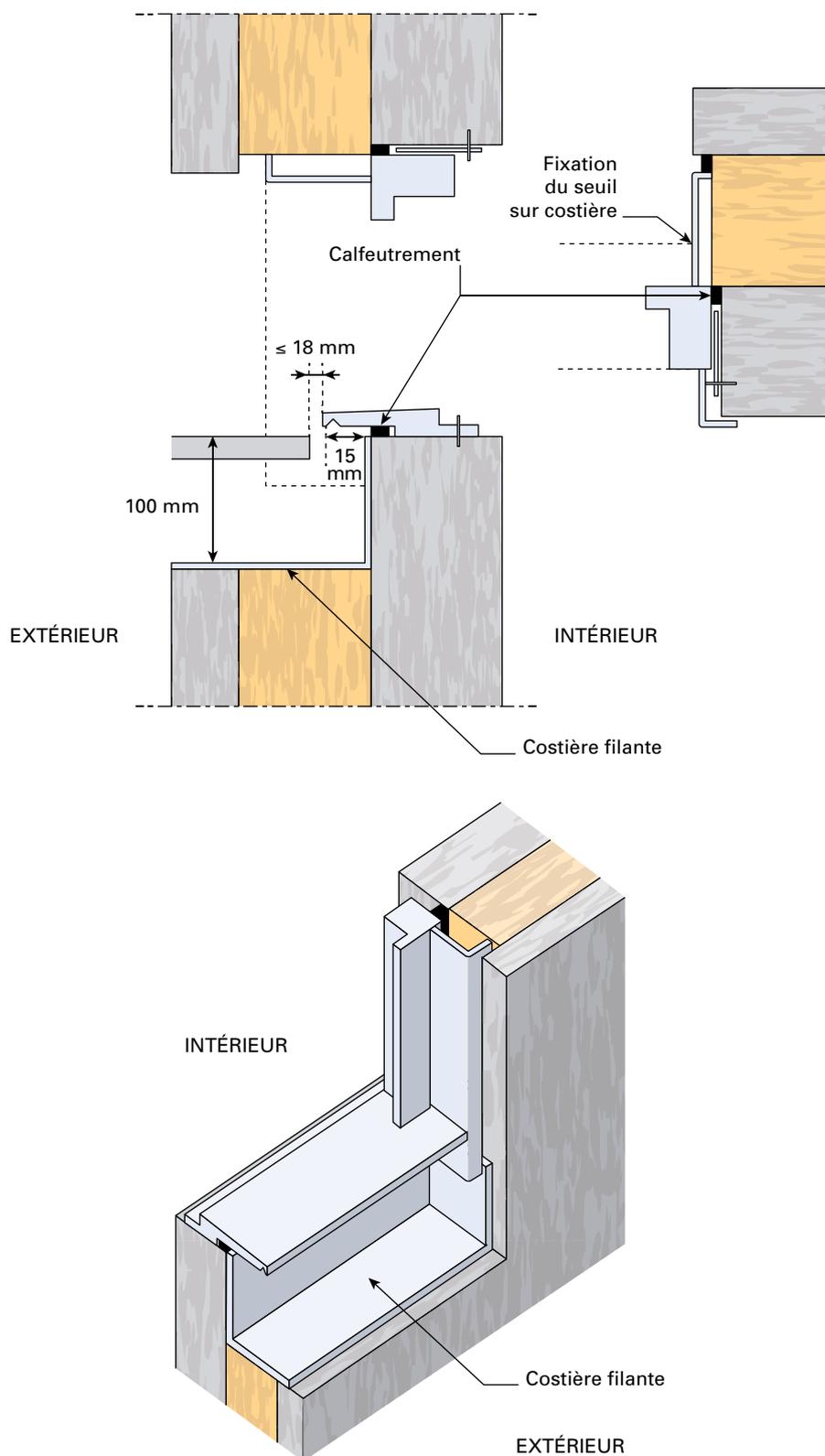


▲ Figure 95 : Cas d'une menuiserie avec habillage sans précadre



5.8.5 • Mise en œuvre d'une porte avec seuil réduit (cas n° 4)

La fourrure extérieure est prolongée sous le seuil afin d'assurer une continuité du calfeutrement avec la costière filante permettant le recueil des eaux. Un système d'étanchéité liquide (SEL) est ensuite mis en place.



▲ Figure 96 : Cas d'une porte avec seuil réduit



5.9. • Finitions

5.9.1. • Dispositions spécifiques pour le retrait des cales de maintien de la peau extérieure sur chantier

Pas de cales sur la peau extérieure.

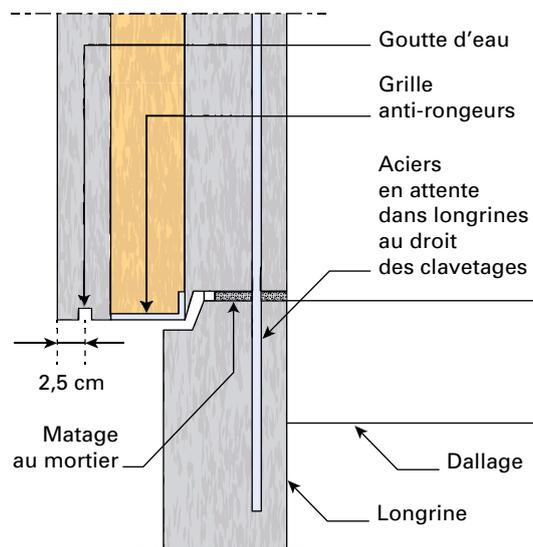
Dans la cas où des cales seraient quand même mises en œuvre, OBLIGATION de les retirer sous peine d'empêcher la libre dilatation de la paroi extérieure, sous peine de désordre important de cette paroi.

5.9.2. • Dispositions spécifiques pour les enduits intérieurs

Les parois extérieures sont calées pour obtenir une façade sans désaffleurement. En conséquence, le désaffleurement se retrouve du côté intérieur. À rattraper avec un enduit approprié en fonction des choix des finitions.

5.9.3. • Dispositions spécifiques des éléments enterrés

Croquis de jonction avec infrastructure.



▲ Figure 97 : Croquis avec une paroi extérieure partiellement enterrée



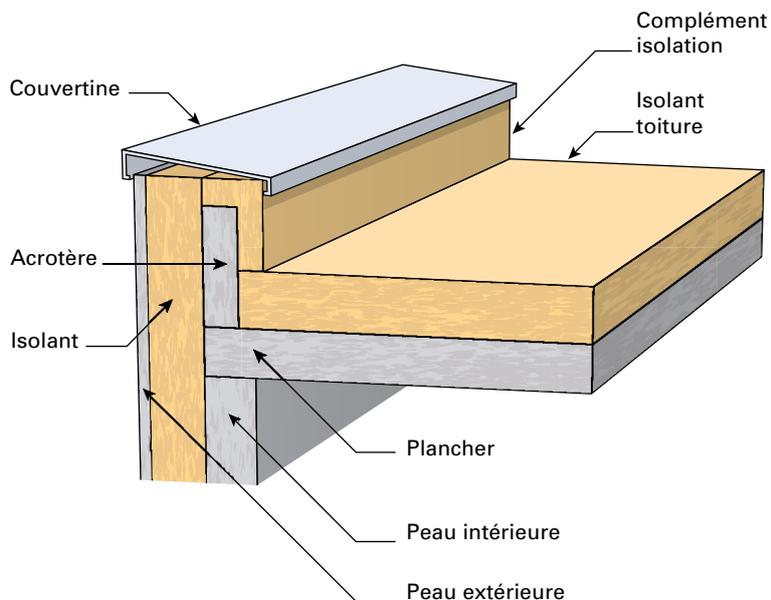
5.10. • Dispositions constructives au niveau des points singuliers

5.10.1. • Acrotère

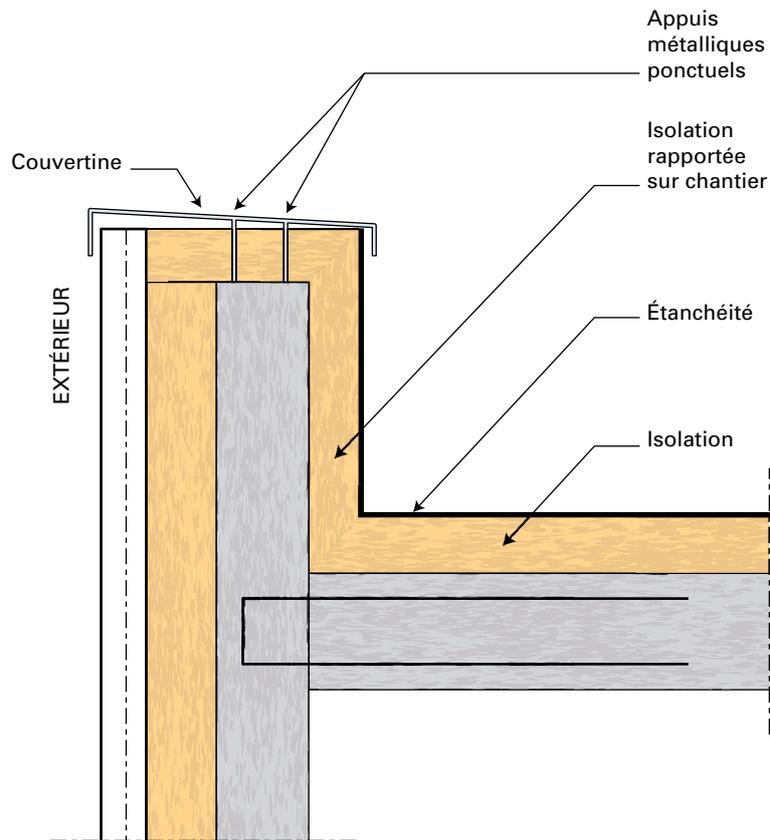
La conception des acrotères doit répondre aux prescriptions générales du DTU 20.12 et aux prescriptions particulières ci-après.

Les acrotères peuvent être constitués par un prolongement des panneaux du dernier niveau. Dans ce cas des dispositifs de boîtes d'attentes doivent être inclus dans le mur afin de reprendre les planchers. Le dimensionnement de ces dispositifs est à étudier en fonction du plancher considéré. Dans ce cas, il est nécessaire de :

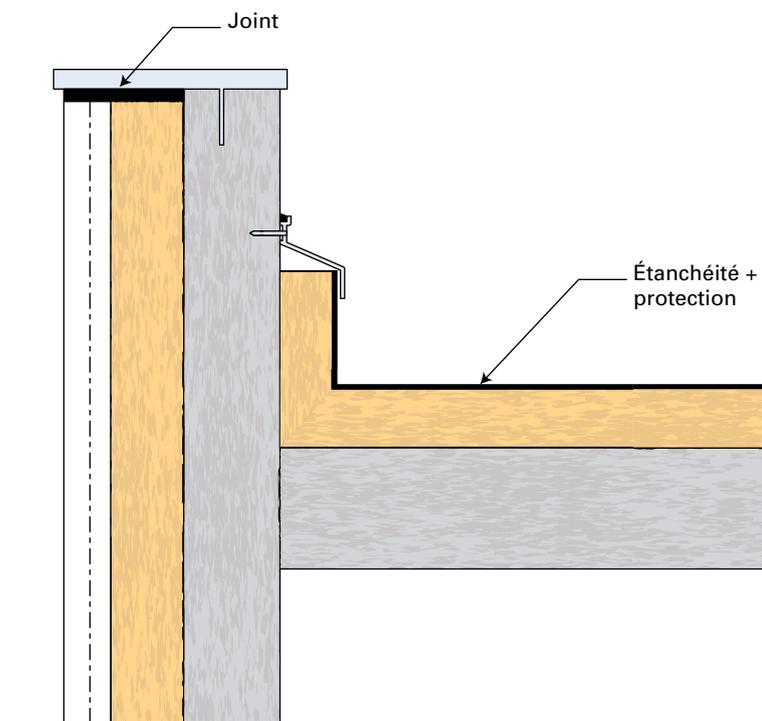
- reconstituer l'isolation thermique autour de la partie porteuse de mur située en extérieur ;
- assurer l'étanchéité conformément aux prescriptions du DTU 20.12.



▲ Figure 98 : Principe d'isolation d'un acrotère



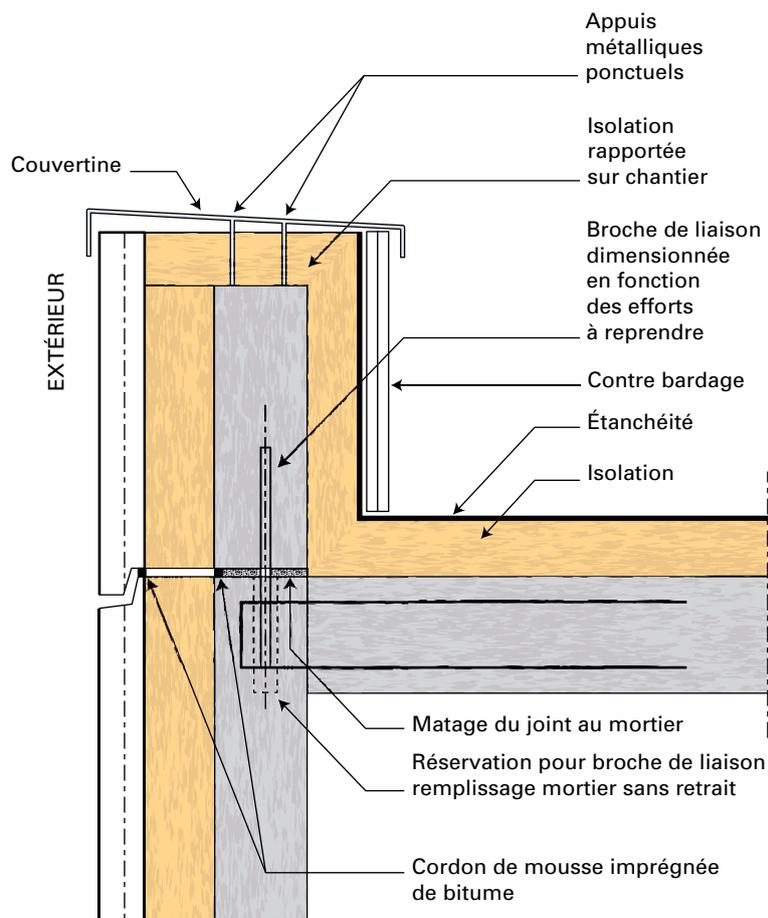
▲ Figure 99 : Acrotère dans la prolongation du panneau avec retour de l'isolant sur toute la hauteur de l'acrotère



▲ Figure 100 : Acrotère dans la prolongation du panneau avec arrêt de l'isolant sur bande de solin

Dans le cas d'acrotères réalisés dans la prolongation d'un panneau, la continuité du ferrailage permet d'assurer un fort encastrement du pied de l'acrotère. L'acrotère peut ainsi résister à des moments importants. Dans le cas où l'acrotère est réalisé avec un panneau indépendant, le système de liaison au panneau inférieur limite les possibilités

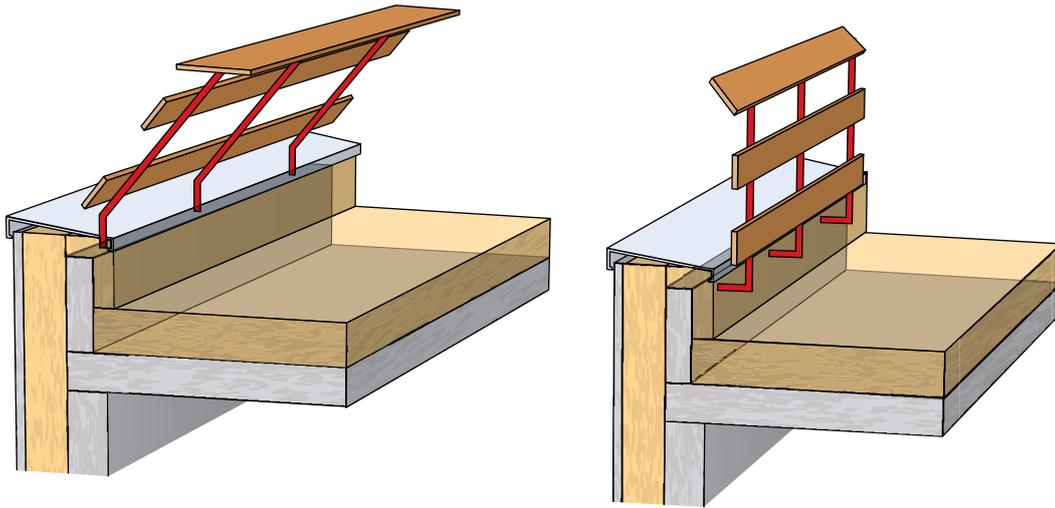
de résister à des moments importants. Cette dernière solution doit donc être limitée à des acrotères peu sollicités.



▲ Figure 101 : Acrotère avec panneau indépendant

Le ferrailage de la partie structurale de l'acrotère doit comprendre des armatures longitudinales de section suffisante pour éviter une fissuration préjudiciable au système d'étanchéité choisi. Un taux de ferrailage de 0,4 % de la section de béton convient dans le cas courant.

Lorsque des garde-corps sont nécessaires au-dessus des acrotères, toutes les mesures doivent être prises afin que les couvertines ne servent pas de zone de stationnement normale ou précaire au sens de la norme « NF P01-012 (juillet 1988) : Dimensions des garde-corps – Règles de sécurité relatives aux dimensions des garde-corps et rampes d'escalier ». Le garde-corps doit être fixé dans les ouvrages de structure directement.

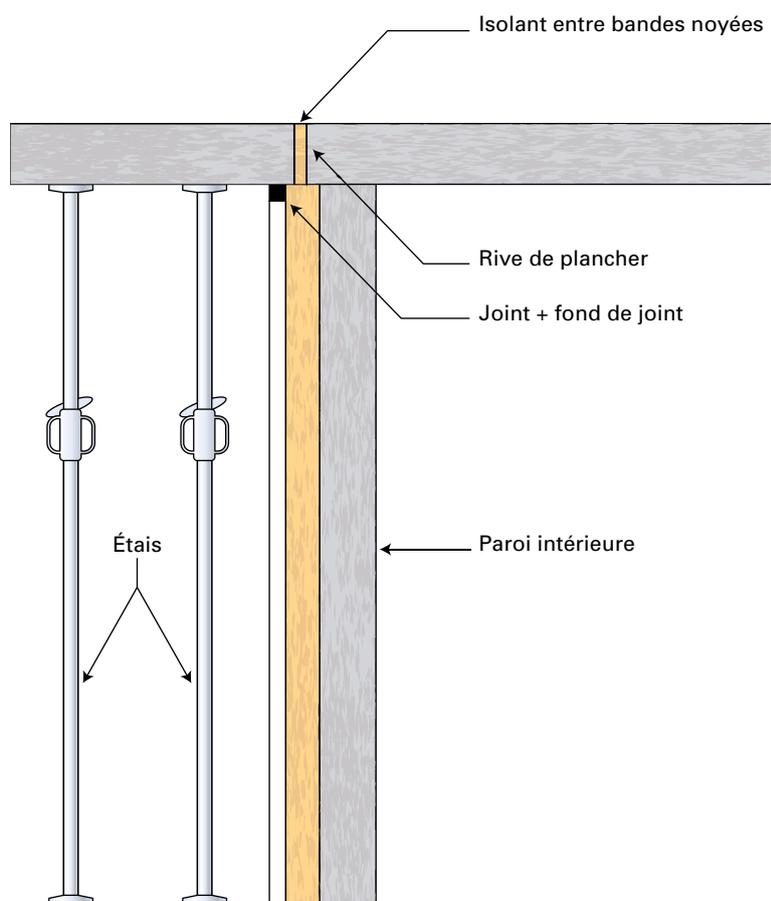
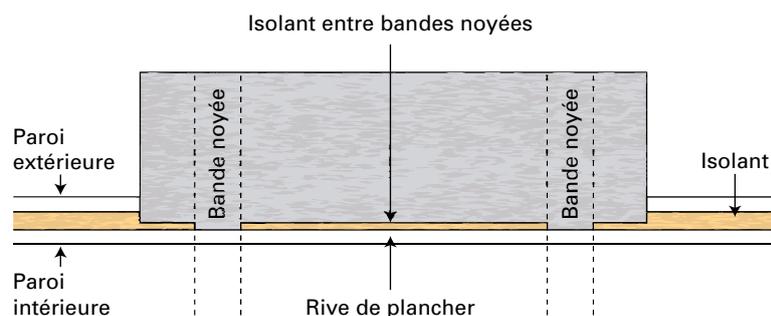


▲ Figure 102 : Acrotère avec garde-corps métallique rapporté

Les acrotères peuvent également être constitués d'éléments spécifiques. Dans ce cas l'isolation thermique peut être assurée par l'intermédiaire de rupteurs de ponts thermiques. Ces derniers doivent être utilisés dans les conditions prévues par l'Avis Technique dont ils relèvent notamment au niveau de la pose de l'étanchéité de toiture.

5.10.2. • Balcon

Afin de limiter les ponts thermiques linéiques, il est recommandé de limiter le porte-à-faux du balcon et de prévoir 2 bandes pleines en porte-à-faux sur lesquelles la dalle de balcon porte parallèlement aux façades. Cette disposition permet d'assurer la continuité de l'isolation thermique sur la plus grande partie de l'interface balcon/façade.



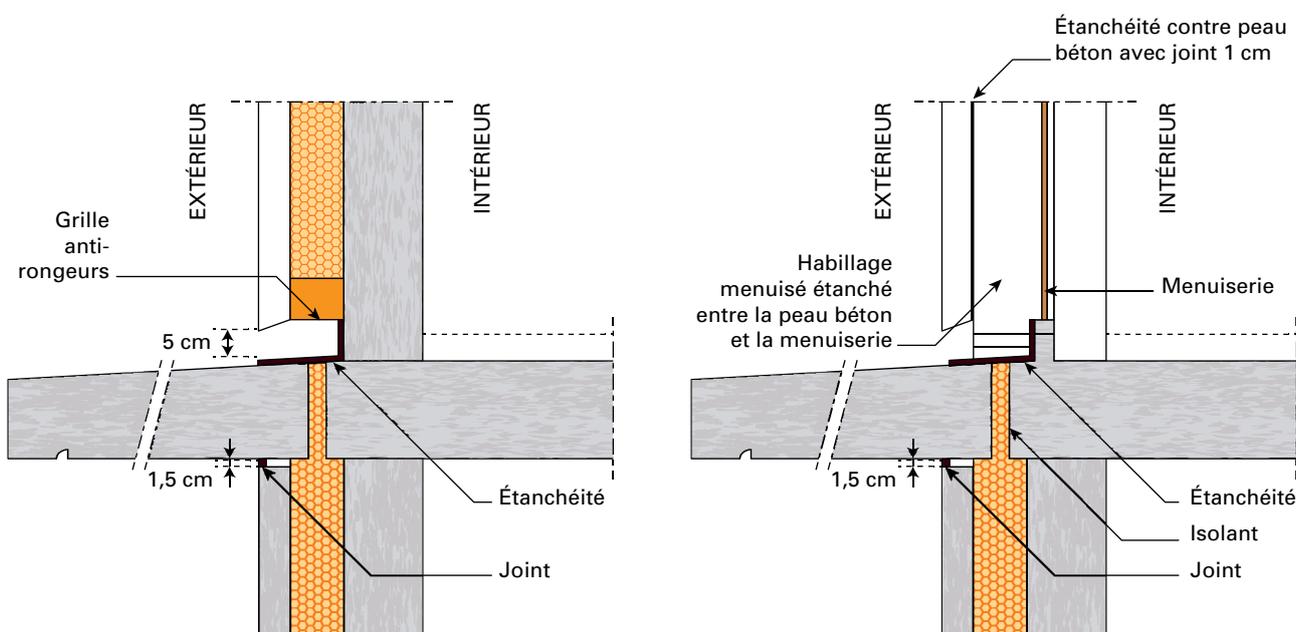
▲ Figure 103 : Principe de réalisation des balcons

Les dispositions sont les suivantes :

- que les balcons soient préfabriqués ou coulés en place, ils doivent être étayés pendant le temps nécessaire à la prise du béton dans la dalle servant à l'équilibrage ;
- les balcons doivent reposer sur la paroi intérieure sans mettre en charge la paroi extérieure qui doit rester librement dilatable. Un jeu de 1,5 cm entre la paroi extérieure et la sous-face du balcon permet de répondre habituellement à ce critère.

La découpe des parois au droit du balcon se fera sur les panneaux du dessous, avec les dispositions constructives suivantes :

- jeu de 5 cm minimum entre la paroi extérieure et l'arase supérieure du balcon ;
- étanchéité des tableaux entre la paroi extérieure et la menuiserie ;
- l'étanchéité à la pluie sera assurée par mise en œuvre d'un joint mastic élastomère 1^{re} catégorie sur fond de joint. Ce joint sera filant sur toute la longueur du balcon, y compris au droit des bandes pleines. L'étanchéité en sous-face de balcon sera assurée de la même façon ; on veillera à l'étanchéité verticale sur les 2 chants du balcon ;
- dans tous les cas, les sous-faces de balcons comporteront une goutte d'eau sur 3 faces et les surfaces seront pentées vers l'extérieur.



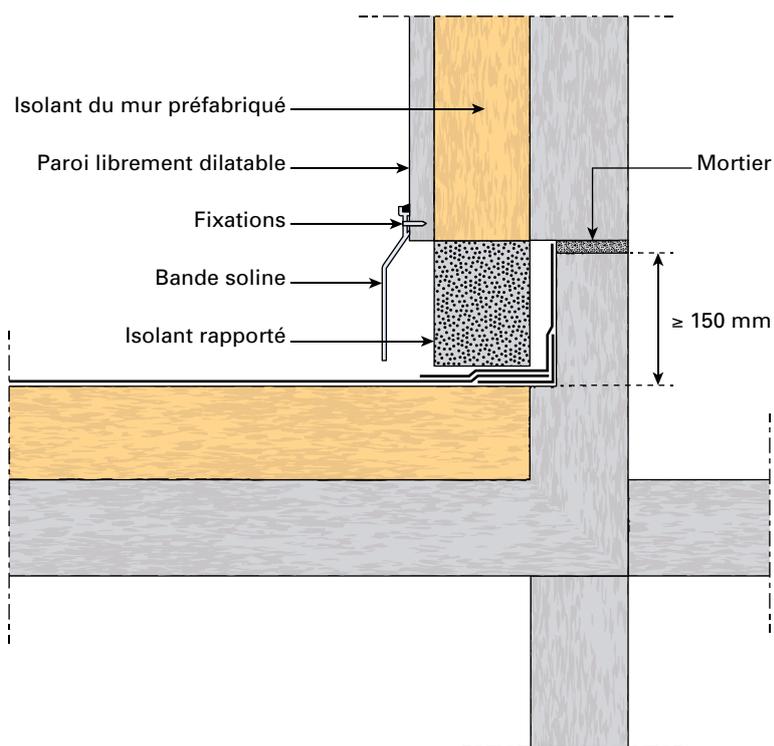
▲ Figure 104 : à gauche : détail sur balcon en partie courante ; à droite : détail sur ouverture sur balcon avec joint de 1 cm sur le montant



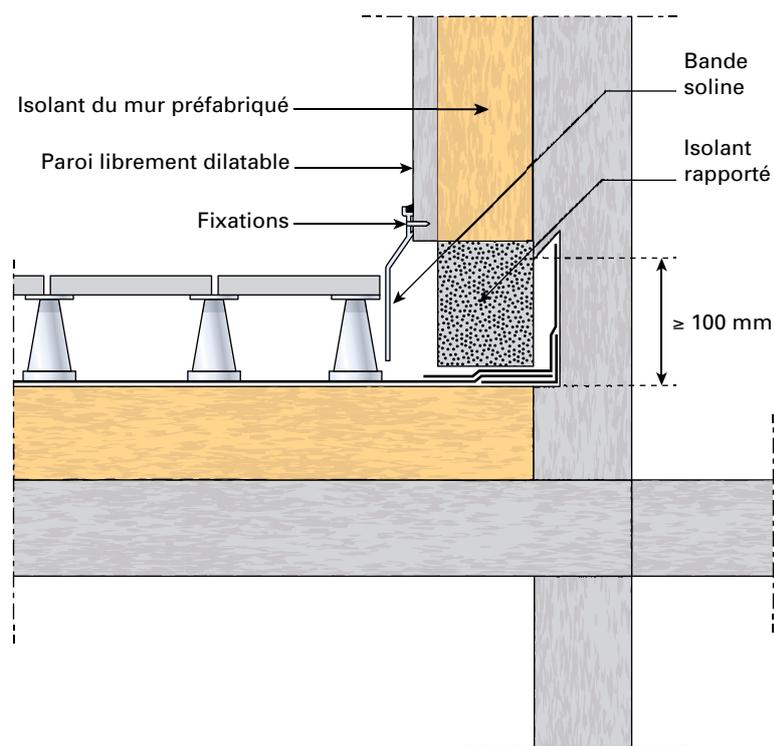
La réalisation d'une pente de balcon vers l'extérieur permet de limiter la présence d'eau en pied de mur, et donc de limiter le risque élevé de corrosion des armatures structurales.

5.10.3. • Toiture-terrasse

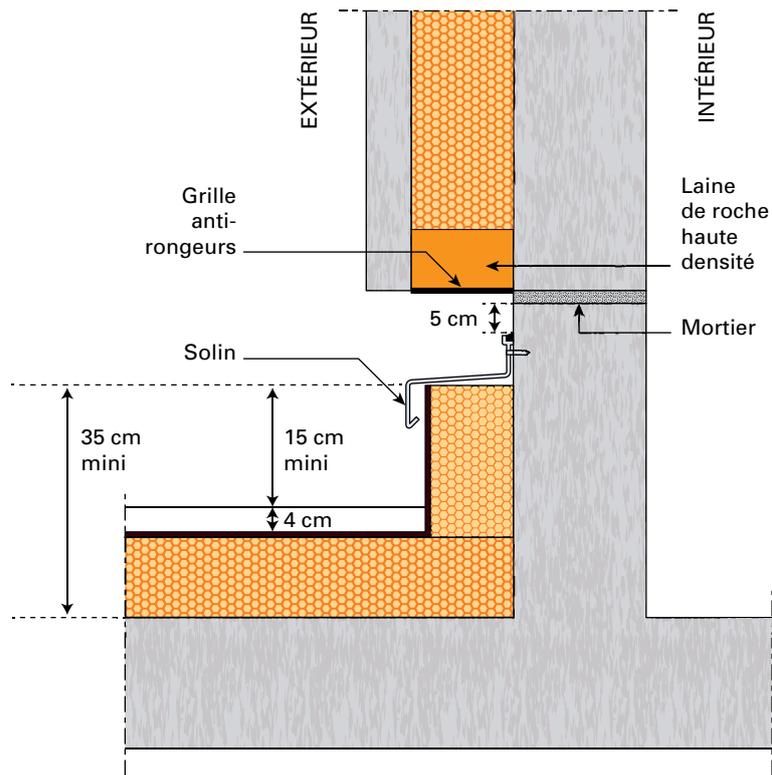
Lorsque des murs sandwichs sont implantés au-dessus d'une toiture-terrasse, le procédé d'étanchéité doit être fixé verticalement sur une costière indépendante du voile librement dilatable. Ce dernier doit donc être arrêté au moins 150 mm au-dessus de la face supérieure de la terrasse et contenir un larmier en partie basse.



▲ Figure 105 : Exemple de toiture-terrasse sans dalles sur plots

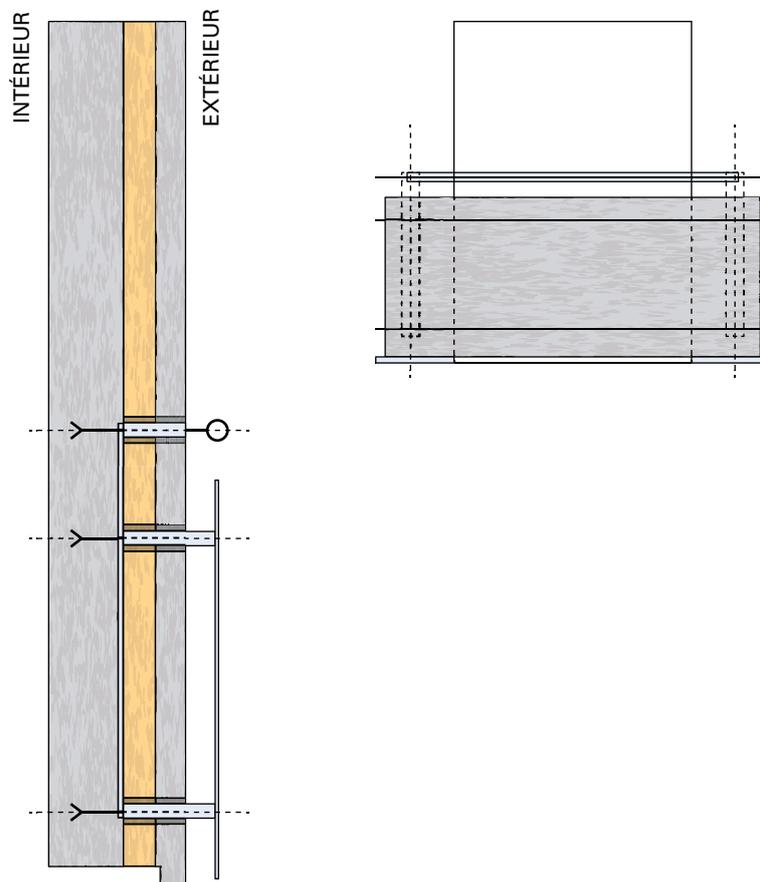


▲ Figure 106 : Exemple de toiture-terrasse avec dalles sur plots



▲ Figure 107 : Exemple de pose de panneau sur rehausse béton, sans traitement du pont thermique au niveau du solin

5.10.4. • Garde-corps



▲ Figure 108 : Principe de fixation des garde-corps

La fixation du garde-corps doit se faire dans la paroi intérieure, sans empêcher la libre dilatation de la paroi extérieure. Le scellement des fixations est à prévoir en phase de fabrication.





Réglementation, normes et autres documents de référence



Produits (marquage CE)

- NF EN 14992+A1 : Produits préfabriqués en béton – Éléments de mur, août 2012.
- NF EN 15258 : Produits préfabriqués en béton – Éléments de murs de soutènement, janvier 2009.

Béton (matériaux)

- NF EN 206-1/CN : Béton – Partie 1 : spécification, performance, production et conformité – Complément national à la norme NF EN 206-1, décembre 2012.
- NF EN 771-3/CN : Spécification pour éléments de maçonnerie – Partie 3 : éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers) – Complément national à la NF EN 771-3:2011, mars 2012.
- NF EN 15498 : Produits préfabriqués en béton – Blocs de coffrage en béton utilisant des copeaux de bois comme granulat – Propriétés et performances des produits, octobre 2008.
- P18-503 : Surfaces et parements de béton – Éléments d'identification, novembre 1989.

Acier (matériaux)

- NF A35-080-1 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 1 : barres et couronnes, octobre 2010.
- NF A35-080-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 2 : treillis soudés, octobre 2010.
- NF EN 10080 : Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités, septembre 2009.



Acier inoxydable (matériaux)

- NF EN 10088-1 : Aciers inoxydables – Partie 1 : liste des aciers inoxydables, septembre 2005.
- NF EN 10088-2 : Aciers inoxydables – Partie 2 : conditions techniques de livraison des tôles et bandes en acier de résistance à la corrosion pour usage général, septembre 2005.
- NF EN 10088-3 : Aciers inoxydables – Partie 3 : conditions techniques de livraison pour les demi-produits, barres, fils machines, fils tréfilés, profils et produits transformés à froid en acier résistant à la corrosion pour usage général, septembre 2005.
- NF EN 10088-4 : Aciers inoxydables – Partie 4 : conditions techniques de livraison des tôles et bandes en acier résistant à la corrosion pour usage de construction, août 2009.
- NF EN 10088-5 : Aciers inoxydables – Partie 5 : conditions techniques des livraisons pour les barres, fils tréfilés, profils et produits transformés à froid en acier résistant à la corrosion pour usage de construction, juillet 2009.

Fibre de verre

- (durabilité, AR) – ICC/ICBO Acceptance Criteria for Concrete with synthetic fibers AC32, octobre 2003.
- ASTM C1018-97 Standard Test Method for Flexural Toughness and First– Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third– Point Loading), mai 2006.

Isolant

- Guide ISOLE : Définition et Exemples d'usages des propriétés certifiées ISOLE, juillet 2007.

Mortier

- NF EN 998-2 : Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie – Partie 2 : mortiers de montage des éléments de maçonnerie, décembre 2010.
- DTU 20.1 P1-2 (NF P10-202-1-2) : Travaux de bâtiment – Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs – Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux, octobre 2008.

Conception : actions

- Arrêté du 20 octobre 2010
- Arrêté du 19 juillet 2011
- Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010.
- Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010.

- EN 1990 – Eurocode 0 – Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures, mars 2003.
- EN 1991 – Eurocode 1 – Eurocode 1 – Actions sur les structures, mars 2003.
- EN 1998 – Eurocode 8 – Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes, septembre 2009.
- NF P06-001 : Bases de calcul des constructions – Charges d'exploitation des bâtiments, juin 1986.
- DTU 21 (NF P 18-201) : Exécution des ouvrages en béton – Cahier des clauses techniques, mars 2004.
- NF 418 : Éléments architecturaux en béton fabriqués en usine, octobre 2010.

Sécurité au feu

- P 92-701 : Règles de calcul FB – Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton, décembre 1993.
- EN 1992-1-2 – Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : règles générales – Calcul du comportement au feu, octobre 2005.
- EN 13501-1 : Classement au feu des produits et éléments de construction, février 2013.

Conception : résistance

- Cahier 3690 : Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré, e-cahiers du CSTB, Cahier n° 3690, mai 2011.
- NF A35-080-1 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 1 : barres et couronnes, octobre 2010.
- NF A35-080-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables – Partie 2 : treillis soudés, octobre 2010.
- NF EN 1992 – Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments, octobre 2005.
- Directives UEAtc pour l'Agrément des procédés de construction par grands panneaux lourds préfabriqués, juin 1966.
- Recommandations CEB-CIB-UEAtc – Recommandations RILEM/CEB/FIP pour l'acier d'armature pour béton armé, décembre 1981.

Parasismique

- NF EN 1998 – Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, septembre 2005.





- NF P 06-013 Règles de construction parasismique – Règles PS applicables aux bâtiments, dites règles PS 92, décembre 1995.
- Règles PSMI (NF P 06-014) : Règles de construction parasismiques des maisons individuelles et des bâtiments assimilés », mars 1995.
- NF DTU 20.1 P3 : Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs – Partie 3 : Guide pour le choix des types de murs de façades en fonction du site, octobre 2008.

Étanchéité

- NF EN 13969 : Feuilles souples d'étanchéité – Feuilles bitumineuses empêchant les remontées d'humidité du sol – Définitions et caractéristiques, septembre 2005.
- NF EN 13967 : Feuilles souples d'étanchéité – Feuilles plastiques et élastomères empêchant les remontées capillaires du sol – Définitions et caractéristiques, août 2012.

Fixations chevilles métalliques

- ATE selon ETAG 001 – Guide d'Agrément technique européen relatif aux généralités sur les chevilles de fixation, mai 2009.
- XP CEN/TS 1992-4-3 : 2009 – Conception-calcul des éléments de fixation pour béton – Partie 4-3 : rails d'ancrage, juillet 2009.
- Fixations pour panneaux sandwich et murs à coffrages intégrés isolés protocole essais sismiques, octobre 2012.
- Cahier 1661-V2 : Détermination sur chantier de la charge maximale admissible applicable à une fixation mécanique de bardage rapporté, e-cahiers du CSTB, cahier n° 1661, février 2011.

Isolation acoustique

- NF EN ISO 10140-3 : Acoustique – Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction – Partie 3 : mesurage de l'isolation au bruit de choc, mars 2013.
- EN ISO 140-6 : Acoustique – Mesurage de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : détermination, vérification et application des données de fidélité, novembre 1993.
- EN ISO 717-1 : Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 : isolement aux bruits aériens, mai 2013.
- EN ISO 717-2 : Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : protection contre le bruit de choc, mai 2013.

- NF EN 12354-1 : Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 1 : isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux, août 2000.
- NF EN 12354-2 : Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 2 : isolement acoustique au bruit de choc entre des locaux, septembre 2000.
- NF EN 12354-3 : Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 3 : isolement aux bruits aériens venus de l'extérieur, juin 2000.
- NF EN 12354-4 : Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 4 : transmission du bruit intérieur à l'extérieur, décembre 2000.
- Réglementation R01.004 sur le confort acoustique, juin 2011.
- Référentiel Millésime 2012 – Synthèse Qualitel Habitat & Environnement, mars 2012.
- NF EN ISO 10848-2 : Acoustique – Mesurage en laboratoire des transmissions latérales du bruit aérien et des bruits de choc entre pièces adjacentes – Partie 2 : application aux éléments légers lorsque la jonction a une faible influence, novembre 2006.

Isolation thermique

- EN ISO 10456 : Matériaux et produits pour le bâtiment – Propriétés hygrothermiques – Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles, juin 2008.
- Réglementation Thermique 2005 – Règles Th-U pour les bâtiments existants, mars 2005.
- DTU P 50-702 – Règles Th-K : Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction, janvier 1997.
- Arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments
- Méthode de calcul Th-CE, mars 2006.

Mise en œuvre menuiseries

- Cahier du CSTB n° 3521 : Menuiseries en PVC faisant l'objet d'un Avis Technique – Conditions générales de mise en œuvre en travaux neufs et sur dormants existants, e-cahiers du CSTB, cahier n° 3521, juillet 2005.



- DTU 22.1 (NF P10-210) : Murs extérieurs en panneaux préfabriqués de grandes dimensions du type plaque pleine ou nervurée en béton ordinaire, mars 2001.
- Cahier du CSTB n° 2159, Prescriptions techniques communes aux procédés de mur ou de gros œuvre, cahier n° 2159, livraison 279, mai 1987.
- Le cahier des charges FIB « Guide pour l'utilisation d'éléments en béton architectonique dans les projets d'architecture », mai 2001.

Durabilité

- Fascicule 65 du Cahier des Clauses Techniques Générales des marchés publics de travaux
- Cahier du CSTB n° 3690 : Cahier des prescriptions techniques communes aux procédés de murs à coffrage intégré, e-cahiers du CSTB, cahier n° 3690, mai 2011.

Résistance aux chocs

- NF P 08-302 : Murs extérieurs des bâtiments – Résistance aux chocs – Méthodes d'essais et critères, octobre 1990.



Glossaire



Acrotère

Muret en béton ou en maçonnerie couronnant généralement une terrasse, et destiné à recevoir les relevés d'étanchéité et éventuellement à masquer les éléments en saillie sur une toiture à faible pente. L'acrotère favorisant l'accumulation de la neige, il y a lieu d'en tenir compte, éventuellement, pour les surcharges.

Allège

Ce sont traditionnellement les parties de la façade situées sous les baies. Elles peuvent faire partie intégrante des éléments de façade ou être des éléments indépendants, passant ou non devant les planchers. Par extension, on appelle également allèges les éléments indépendants débordant de part et d'autre des baies jusqu'à former des bandes filant horizontalement et dont le bord supérieur se trouve au niveau des appuis de baie.

Ancre

Organe de liaison rigide entre deux parois préfabriquées.

Architectonique (façades/panneaux)

Se dit des éléments de construction en béton qui participent à la construction architecturale d'un ouvrage.

Baie

Ouverture pratiquée dans un mur ou dans un assemblage de charpente pour y recevoir généralement une porte ou une fenêtre.

Bavette de rejet d'eau

Bande ou feuille étroite de métal rapportée sur un ouvrage ou une jonction d'ouvrages, pour les abriter des ruissellements de l'eau de pluie.



Becquet

Petite pièce métallique fixée sur un égout de toiture pour l'écoulement des eaux de pluie.

Calepinage

Croquis ou plan de détail coté très précisément en vue de la préparation des commandes de matériaux et de leur mise en œuvre. On appelle calepinage une nomenclature des détails en plan, élévation et coupe, représentés à grande échelle, d'un ensemble décomposé en ses éléments simples.

Calfeutrement

Opération consistant à obturer par divers moyens les vides existants aux raccordements entre les parois, la toiture, les baies, les portes d'un bâtiment.

Capillarité

Remontée des molécules d'eau dans le béton par les interstices entre les molécules de béton.

Chaînage

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

Clavetage

Méthode de liaison entre deux panneaux consistant à couler du béton pour lier les armatures entrecroisées des panneaux.

Coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique Ψ en W/m.K

Coefficient caractérisant la transmission de chaleur en fonction de la longueur.

Coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique χ en W/K

Coefficient caractérisant la transmission de chaleur en un point.

Coefficient de transmission thermique surfacique U_p en W/m².K

Coefficient caractérisant la transmission de chaleur en fonction de la surface.

Conductivité thermique du matériau λ en W/m.K

Coefficient caractérisant la transmission de chaleur d'un matériau en fonction de son épaisseur.

Confort d'été

Assurance que l'isolation maintenant la chaleur l'hiver empêchera par la même occasion le réchauffement excessif du logement l'été.

Connecteurs

Organe de liaison souple entre deux parois préfabriquées.

Costière

Pièce sur laquelle s'appuie la rive d'une couverture, autour d'une trémie, d'un lanterneau. La costière sert en même temps de support aux dispositifs d'étanchéité et d'écoulement des eaux.

Couvertine

Couronnement d'un mur à une ou deux pentes pour le protéger de la pluie et des infiltrations.

Désaffleurement

Un désaffleurement est un décalage de niveaux entre deux assemblages qui laisse apparaître une discontinuité dans l'ouvrage.

Dièdre

Figure formée par deux demi-plans issus d'une même droite.

Douilles

Élément métallique inséré dans le panneau afin d'y fixer les étais destinés à le maintenir à la pose.

Élément non structural

Au sens de l'Eurocode 8, élément ne participant pas au contreventement.

Élément porteur

Élément de construction qui participe à la stabilité d'un bâtiment.

Élément non porteur

Élément de construction qui ne participe pas à la stabilité d'un bâtiment.

Élingue

Accessoire de levage formé d'un cordage, d'un câble, d'une chaîne ou d'une sangle dont la longueur est adaptée à la charge à soulever, et qui se termine généralement par une ou deux boucles ou par un ou deux crochets ou anneaux.

Épaufrure

Éclat d'un bord de parement à la suite d'un choc.

Finitions

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



Fond de joint

Matériau rapporté qui limite la profondeur du mastic et définit le profil arrière du mastic.

Gouttière

Système permettant de recevoir puis de conduire l'eau hors de la zone que l'on souhaite protéger de l'humidité.

Gradient de température

Expression numérique de la variation de température. Il est représenté graphiquement par un vecteur tangent en un point de la courbe de température dont la norme indique l'évolution de la température en ce point.

Insert de levage

Pièce de formes variées, fixée à l'extrémité d'un tirant, d'un chaînage, pour constituer avec ceux-ci un ensemble destiné à maintenir l'écartement de deux éléments de maçonnerie ou de charpente. Lorsqu'elle est fixée à l'extrémité d'une tige de tirant, elle permet de retenir un mur ou un élément de charpente. Permet aussi de pouvoir le hisser lors de sa mise en place.

Isolant

Corps qui, étant mauvais conducteur du son et/ou de la chaleur, permet d'isoler, jusqu'à un certain point, du milieu ambiant, des phénomènes sonores ou calorifiques.

Isolement acoustique

Ensemble des procédés mis en œuvre pour obtenir des isolements acoustiques déterminés.

Laitance

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

Larmier

Cannelure située en dessous d'un ouvrage en saillie, au sommet d'un mur ou au-dessus d'une fenêtre, d'une entrée, et destinée à faire dévier l'eau de pluie de manière à ce qu'elle ne ruisselle pas sur la construction.

Mastic

Matériau malléable non préformé, utilisé pour le jointoiment et destiné à empêcher le passage de poussière, d'humidité, de vent, etc.

Mode de ruine

Il peut être un déplacement excessif, une contrainte supérieure à une valeur de référence, ou plus simplement lorsque la sollicitation est

supérieure à la résistance. Il s'exprime en termes d'écart entre une réalisation d'un état mécanique de l'élément et une réalisation d'un état ultime de résistance.

Moment fléchissant

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

Mortier de matage

Mortier servant à calfeutrer une cavité dans une surface dure.

Mortier sans retrait

Mortier ayant la propriété de compenser le retrait final d'origine hydraulique grâce à un gonflement initial de même valeur.

Mur de refend

Mur de séparation intérieure d'un bâtiment qui est ordinairement un mur porteur pouvant supporter une partie des charges. Mur séparatif intérieur d'un bâtiment, servant à réduire les portées des poutres ou solives, et à adosser les conduits de fumée, et, éventuellement, à contreventer. Mur porteur situé à l'intérieur du bâtiment et reliant deux façades, ou formant séparation entre deux bâtiments adjacents situés sur une seule propriété ou deux propriétés distinctes. Il est situé à l'intérieur du périmètre des murs extérieurs.

Noyau

Épaisseur de béton coulée en place lors de la pose des murs à coffrage et isolation intégrée. Le noyau se situe entre la paroi intérieure du mur et l'isolant qu'il contient.

Organes de liaison

Élément permettant de relier les deux parois d'un panneau sandwich.

Paroi préfabriquée

Voile réalisé en usine constituant l'une des deux parois d'un panneau sandwich.

Pont thermique

Élément conducteur de la chaleur reliant accidentellement deux parties d'une construction destinées à être isolées l'une de l'autre. Les ponts thermiques nuisent à une bonne isolation des constructions. Les ponts thermiques sont présents principalement au niveau des jonctions murs de refend/mur extérieurs et nez de plancher.

Rack

Système de stockage et de maintien du panneau permettant de le transporter de l'usine jusqu'au chantier.



Rejingot

Saillie affectant toute la longueur de la tranche inférieure d'un élément. Dans le cas d'un élément de mur extérieur, la retombée est généralement dans le plan du parement extérieur.

Retombée

Saillie affectant toute la longueur de la tranche inférieure d'un élément. Dans le cas d'un élément de mur extérieur, la retombée est généralement dans le plan du parement extérieur.

Seuil

Élément transversal inférieur d'un cadre de fenêtre ou de porte, incliné à l'extérieur pour écarter la pluie.

Table (processus de fabrication des panneaux sandwichs)

Appareil permettant de retourner le mur en cours de fabrication.

Tolérances

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

Trappe de tirage

Ouverture effectuée au droit du joint afin d'aider à la descente des armatures dans le noyau des murs à coffrage et isolation intégrée.

Treillis

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

Treillis raidisseur

Structure métallique bi- ou tridimensionnelle comprenant une membrure supérieure, une ou plusieurs membrures inférieures et des diagonales continues ou discontinues qui sont soudées ou assemblées mécaniquement aux membrures.

Trémie

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

Trumeau

Partie de mur extérieur ou intérieur entre deux baies. Dans une façade légère, le trumeau est un panneau totalement aveugle de façade-panneau. Éventuellement, les trumeaux peuvent ne pas être sur un même aplomb. S'il s'agit de façade-rideau, le trumeau descend du haut en bas de la façade.

Verrou

On désigne sous ce terme une partie d'ouvrage assurant une liaison mécanique rigide localisée en un nœud du réseau formé par les rives des éléments d'un pan de contreventement.

Vide/chambre de décompression

Terme conventionnel désignant le vide continu ménagé dans un joint entre les extrémités des panneaux, mis en communication avec l'extérieur et jouant différents rôles dans l'étanchéité des joints (équilibre des pressions, coupure de la capillarité, drainage, ventilation).

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



PROCÉDÉS DE PANNEAUX
SANDWICHSPANNEAUX BÉTON ISOLÉS
À PEAU EXTÉRIEURE LIBREMENT
DILATABLE

JUILLET 2014

NEUF

Évolution des murs préfabriqués classiques en béton visés dans le DTU 22.1, les panneaux sandwichs lourds en béton sont des éléments de grande dimension (généralement 12 mètres de long et 4 mètres de hauteur maximum) entièrement préfabriqués en usine.

Ces panneaux associent :

- une paroi intérieure (de l'ordre de 10 à 25 cm d'épaisseur) préfabriquée en béton armé ;
- une paroi extérieure mince (généralement de 7 cm d'épaisseur) préfabriquée en béton armé, maintenue par un système de liaison permettant à la paroi de se dilater sous les variations de température ;
- un matériau isolant (de l'ordre de 4 à 20 cm d'épaisseur) entre ces deux parois.

Le présent guide rassemble les informations pertinentes, depuis la phase de conception jusqu'à la mise en œuvre des panneaux sur chantier, permettant de garantir les performances et la durabilité des ouvrages réalisés avec ce procédé.