

Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **16/09-581**

*Procédé constructif de mur
en blocs de coffrage
isolants*

Nudura

Relevant de l'Agrément
Technique Européen

ATE-07/0034

- Titulaire :** Société Nudura Corporation
27 Hooper Road Unit 10.
barrie, Ontario
Canada L4N 9S3
Tél. : (705) 726-9499
E-mail : info@nudura.com
- Fabricant :** Société Nudura Corporation
27 Hooper Road Unit 10.
barrie, Ontario
Canada L4N 9S3
Tél. : (705) 726-9499
E-mail : info@nudura.com
- Distributeur :** Société Neobat
14 Rue Ernest Renan
FR-21300 Chenove
Tél. : 03 80 52 39 95.
E-mail : adh@neobat.biz
Internet : www.neobat.biz
- Usine :** Société Plastiques Cellulaires Polyform Inc./Polymax
454 Rue Edouard
Granby, Québec
Canada J2G3Z3
Tél. : (450) 378-9093
E-mail : saudet@nudura.com

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

Groupe Spécialisé n° 16

Produits et procédés spéciaux pour la maçonnerie
Vu pour enregistrement le 10 juin 2009



Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Le Groupe Spécialisé n° 16 de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné le 1^{er} avril 2009, le procédé de mur en blocs coffrages isolants NUDURA présenté par la Société NUDURA. Le présent document, auquel est annexé le Dossier Technique établi par le demandeur, transcrit l'Avis formulé par le Groupe Spécialisé qui rassemble les informations complémentaires utiles aux utilisateurs du procédé quant au domaine d'emploi, aux dispositions de conception et de mise en œuvre proposées propres à assurer un comportement normal des ouvrages. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France Européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Procédé de mur en blocs coffrages en polystyrène expansé, destinés à la réalisation de murs par empilage à sec et remplissage de béton de granulats courants. L'épaisseur du voile béton est comprise entre 10 et 30 cm. L'épaisseur totale du mur non enduit est comprise entre 23.5 cm et 43.8 cm. Les deux parois des blocs coffrages sont solidarisiées par des entretoises en polypropylène.

Ces blocs sont spécialement destinés à être revêtus extérieurement par des systèmes d'enduits minces sur isolants, dans les conditions visées par le document « Cahier des Prescriptions Techniques d'emploi et de mise en œuvre des systèmes d'isolation thermique extérieure avec enduit mince sur polystyrène expansé », (Cahier du CSTB 3035 d'avril 1998) et Modificatif n° 1 (Cahier du CSTB 3399 de mars 2002).

Revêtements intérieurs : plaques de parement en plâtre.

1.2 Mise sur le marché

Les produits visés dans le présent Avis sont soumis, pour leur mise sur le marché, aux dispositions de l'arrêté du 30 avril 2004 portant application pour les kits/systèmes de coffrage permanent non porteur du décret n°92-647 du 8 juillet 1992 concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction, modifié par les décrets n° 95-1051 du 20 septembre 1995 et n°2003-947 du 3 octobre 2003.

1.3 Identification des composants

Les Blocs coffrages NUDURA sont identifiables d'après leur aspect extérieur (couleur vert clair) et leurs caractéristiques techniques spécifiques : dimensions, blocs pliables, modules d'angles, modules de refends.

Les produits sont assortis du marquage CE accompagné des informations prévues par l'Agrément Technique Européen ETA-07/0034.

2. AVIS

2.1 Domaine d'emploi accepté

Limité à la réalisation de murs de bâtiments d'habitation jusqu'à la troisième famille comprise, ainsi qu'aux bâtiments industriels, agricoles et établissements recevant du public. Les limitations du domaine d'emploi résultent alors du respect de la réglementation en vigueur applicable à ces bâtiments.

Les conditions d'exposition sont limitées à celles prévues pour un mur de type XII par les "Conditions générales d'emploi des systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur faisant l'objet d'un Avis Technique" (Cahier du CSTB n° 1833, mars 1983).

Les ouvrages enterrés (y compris murs de soubassement) réalisés avec le procédé NUDURA sont exclus du domaine d'emploi.

2.2 Appréciation sur le procédé

2.2.1 Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

Stabilité

Les murs réalisés avec le procédé NUDURA sont de type continu au sens du guide d'agrément technique européen n°9. La stabilité des bâtiments peut être normalement assurée moyennant le respect des prescriptions données au paragraphe 2.31 du présent Avis.

Utilisation en zone sismique

La possibilité d'incorporer des armatures horizontales et verticales supplémentaires peut permettre de satisfaire aux dispositions des règles PS 92. Les bâtiments visés dans le domaine d'application de la norme NF P 06-014 (règles PS MI 89 révisées 92) peuvent en particulier être conçus et réalisés en éléments NUDURA en accord avec ces mêmes règles.

Sécurité incendie

Le voile en béton constituant l'âme du mur présente une épaisseur comprise entre 10 et 30 cm. La stabilité au feu peut, par référence à l'annexe C du Guide d'Agrément Technique Européen n°9, être appréciée à REI 30 pour le voile de 10 cm d'épaisseur et à 2 heures pour le voile de 15 cm d'épaisseur.

Compte tenu de l'existence du polystyrène en parement extérieur, avec sa masse combustible mobilisable, la règle du "C + D" est satisfaite si C + D est supérieur ou égal à 80 cm. La valeur de l'indice C résulte de l'addition de la hauteur de l'allège en béton, augmentée de l'épaisseur du plancher et de 16 cm pour les traverses basses du précadre et de la fenêtre, dans le cas où les précadres sont métalliques traversants.

Isolation thermique

Le procédé peut permettre pour sa part de satisfaire à la réglementation.

La vérification est à effectuer selon les Règles Th-U en prenant le coefficient de transmission surfacique U_p égal à 0,26 W/(m².K) pour les éléments de 23.5 à 28.6 cm d'épaisseur et à 0,25 W/(m².K) pour les éléments d'épaisseurs supérieures.

Les coefficients de transmission linéiques mur-plancher sont égaux respectivement à 0.12 W/(m.K) pour les liaisons mur-plancher intermédiaire et à 0.19 W/(m.K) pour les liaisons mur-plancher bas.

Isolement acoustique

Le procédé peut permettre de satisfaire à la réglementation en matière d'isolement contre les bruits de l'espace extérieur. L'utilisation du procédé en mur séparatif de logements requiert une étude particulière.

Etanchéité des murs extérieurs

Elle peut être considérée comme normalement assurée moyennant le respect des prescriptions pour la réalisation des points singuliers et des calfeutremments (cf. Cahier des Prescriptions Techniques).

Risque de condensation superficielle

Le procédé permet d'éviter tout pont thermique et élimine par suite les risques de condensations superficielles.

Confort d'été

Pour la détermination des classes d'inertie thermique des logements, qui constituent un facteur important du confort d'été, pris en compte par ailleurs dans le calcul du coefficient de besoins de chauffage des logements, les murs extérieurs de ce procédé appartiennent à la catégorie des parois en béton revêtues d'un isolant intérieur, dont la faible inertie thermique peut être compensée par leur association à des parois intérieures massives (planchers et refends principalement).

Finitions - aspect

Les finitions prévues sont celles classiques pour cette famille de procédés.

2.2.2 Durabilité - entretien

Les matériaux constitutifs du mur, béton et isolant, ne posent pas de problème de durabilité intrinsèque.

La durabilité des parements intérieurs en plaques de plâtre, correctement exécutés, peut être estimée similaire à celle des parements identiques appliqués sur des supports traditionnels.

Ces parois, comme les parois en béton banché auxquelles elles s'apparentent, ne devraient donc pas poser de problème particulier de durabilité autre que celui des revêtements extérieurs associés pour lesquels il convient de se référer aux documents d'évaluation dont ils relèvent.

2.2.3 Fabrication

Effectuée en usine par la Société Plastiques Cellulaires Polyform/Polymax pour le compte de NUDURA Corporation, elle nécessite les contrôles usuels propres à la fabrication des blocs coffrages en polystyrène. Le fabricant transmettra périodiquement au tenant du système les résultats de l'autocontrôle.

2.24 Mise en œuvre

L'empilage à sec ne pose pas de problème particulier. La mise en œuvre nécessite le respect scrupuleux des dispositions retenues au Dossier Technique, notamment en ce qui concerne la qualité du béton employé et l'exécution du revêtement extérieur qui doit être appliqué par des entreprises spécialisées et dans le respect du dossier technique établi par le demandeur.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

2.31 Conditions de conception

Les voiles en béton ou en béton armé doivent être conçus conformément au DTU 23.1 (NF P 18-210), exception faite des armatures de peau qui ne sont pas nécessaires. La stabilité des voiles doit être justifiée par l'application des Règles de Calcul figurant au chapitre 4 de ce même DTU.

2.32 Conditions de fabrication

Il n'y a pas de prescription particulière par rapport aux opérations définies dans le Dossier Technique établi par le demandeur.

2.33 Conditions de mise en oeuvre

La mise en œuvre des parois en béton banché doit être conforme au chapitre 3 du Cahier des Clauses Techniques du DTU 23.1.

La mise en œuvre des revêtements extérieurs doit être faite conformément aux dispositions retenues dans le document « Cahier des Prescriptions Techniques d'emploi et de mise en œuvre des systèmes d'isolation thermique extérieure avec enduit mince sur polystyrène expansé », (Cahier du CSTB 3035 d'avril 1998) et Modificatif n° 1 (Cahier du CSTB 3399 de mars 2002).

Le titulaire du présent Avis doit proposer une formation pour l'assemblage des éléments NUDURA, en particulier aux entreprises mettant en œuvre le procédé (diffusion de l'Avis Technique, respect des prescriptions qui y sont attachées, ...).

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Il s'agit d'un procédé de la famille des blocs coffrages isolants en polystyrène expansé, présentant un certain nombre de particularités dont les entretoises munies d'articulations permettant un gain de place en phase de transport et de stockage. L'attention des plaquistes est attirée sur le mode de fixation des plaques de plâtre par vissage dans les entretoises, la position de ces dernières étant repérée à l'aide de dessins moulés sur les faces extérieures des panneaux.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 16
Nicolas RUAUX

Conclusions

Appréciation globale

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

Validité

Celle de l'agrément technique européen ETA-07/0034, soit jusqu'au 31 mars 2012.

Pour le Groupe Spécialisé n° 16
Le Président
Eric DURAND

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Description

Le procédé NUDURA est destiné à la réalisation de murs de maisons individuelles, de petits collectifs et de bâtiments industriels et commerciaux.

Le mur de NUDURA est un mur monolithique en béton contenu entre deux panneaux de PSE (PolyStyrène Expandé), de 67 mm d'épaisseur chacun, formant coffrage. Les coffrages isolants NUDURA sont disponibles en plusieurs épaisseurs de voile de béton, en fonction des besoins des différents projets. La face intérieure des panneaux en PSE, qui est en contact avec le béton, est rainurée pour garantir une bonne adhérence au béton. Des entretoises de fixation reliant les deux panneaux sont moulées dans le PSE.

2. Matériaux et éléments constitutifs

2.1 Éléments NUDURA

Les blocs de coffrage en polystyrène expansé NUDURA relèvent de l'ATE 07-0034. Ils sont conformes aux figures ci-après, fabriqués par moulage par la Société Plastiques Cellulaires Polyform, pour le compte de NUDURA Corporation, Unit 10, Barrie, Ontario, Canada.

La gamme des Blocs Coffrages Isolants NUDURA répond aux caractéristiques suivantes :

- Tous les blocs sont totalement réversibles, ne comportant ni haut, ni bas, ni intérieur ni extérieur.
- Ils sont tous constitués de deux panneaux de PSE de 67 mm d'épaisseur chacun, reliés entre eux par des entretoises en polypropylène, moulées dans les panneaux et positionnées tous les 203 mm. Les entretoises servent de support et assurent la structure verticale du mur. Elles permettent par ailleurs le bon positionnement et le maintien des barres d'armature en acier par enclenchement dans des encoches prévues à cet effet. On peut y fixer par vis, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, des parements, panneaux de plâtre et autres accessoires. Ces entretoises, articulées grâce à des axes de rotation en acier inoxydable, constituent enfin un système permettant de replier un panneau de polystyrène sur l'autre, facilitant ainsi le transport et la manutention.

Selon l'épaisseur de l'âme de béton choisie, les entretoises reliant 2 panneaux de polystyrène sont de largeur différente : 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm.

Chaque montant d'entretoise présente à chacune de ses extrémités, haute et basse, un ergot. Ces ergots participent à solidariser verticalement les coffrages entre eux par un système d'encliquetage et empêchent ainsi tout déplacement lors de la mise en place du béton (voir photos en annexe).

Dans chaque largeur de cavité centrale, la gamme NUDURA comporte les modules suivants :

- Blocs standards : 2438 mm de longueur par 457 mm de hauteur. Ces modules sont utilisés pour les élévations de murs droits.
- Blocs coffrages à 90° : de 803 mm à 956 mm et de 397 mm à 549 mm de longueur pour chacun des côtés de l'angle (selon l'épaisseur du voile de béton) par 457 mm de hauteur. Ces modules constituent des angles de murs à 90° d'une seule pièce (sécurité au coulage du béton). Totalement réversibles, ils permettent un empilage alterné.
- Blocs coffrages à 45° : de 673 mm à 775 mm et de 267 à 368 mm de longueur pour chacun des côtés (idem ci-dessus) par 457 mm de hauteur. De la même manière, ces modules constituent des angles de murs à 45° d'une seule pièce. Totalement réversibles, ils permettent un empilage alterné.
- Coffrages en « T » : ils sont constitués de 2 Blocs NUDURA de dimensions différentes pour un empilage dans les règles de l'art.
 - Type L : longueurs respectives du mur principal de 1270 mm et du mur de refend de 111 mm.
 - Type C : longueurs respectives du mur extérieur de 457 mm à 660 mm et du mur de refend de 518 mm.

De la même façon que pour les angles, les modules en « T » permettent de liasonner le mur principal et le mur de refend, sans rupture et sans risque au coulage du béton.

- Blocs coffrages pour corniche et support de parements : de 349 mm à 552 mm de large en partie supérieure et de 2438 mm de longueur

par 457 mm de hauteur. Grâce à leur partie supérieure élargie d'un côté, ces modules servent de support stable aux éléments de corniche. Existent également en version élargie des 2 côtés du Bloc Coffrage Isolant.

- Coffrages pour murs courbes fabriqués sur mesure :
 - Panneau isolant extérieur : plaques de 2438 mm de longueur par 457 mm de hauteur.
 - Panneau isolant intérieur : fourniture de panneaux à assembler, fabriqués sur mesure, de 457 mm de hauteur et de largeur variable adaptée au rayon de courbure intérieur du mur à réaliser.

Ces coffrages sur mesure permettent de réaliser tous types de murs courbes, en fonction des rayons de courbure souhaités.

2.2 Accessoires

Le procédé de construction intégrée NUDURA comporte les éléments accessoires suivants :

- Embouts de murs : de 457 mm de hauteur et d'une largeur allant de 100 mm à 300 mm selon la largeur de la cavité centrale choisie. Ces embouts de 67 mm d'épaisseur servent à fermer la cavité centrale en bout de mur et en tableaux de fenêtres et de portes en s'insérant dans les rainures verticales intérieures des panneaux.
- Éléments ajusteurs de hauteur : de 815 mm de longueur et de 75 mm de hauteur, ces modules permettent d'ajuster la hauteur des murs lorsque nécessaire en évitant de « gaspiller » des blocs standards. Ces éléments sont livrés avec des entretoises séparées à insérer.

2.3 Autres composants

- clips de liaison : tige de métal pliée vers l'intérieur aux deux extrémités et permettant de solidariser horizontalement deux blocs coffrages successifs d'un même rang par enclenchement dans les logements prévus à cet effet aux extrémités hautes et basses, intérieures et extérieures des supports d'entretoises de chacun des deux coffrages" (voir photo jointe). Les clips sont utilisés pour solidariser horizontalement, tous les blocs coffrages du premier rang ainsi que les blocs d'angle et les blocs en « T » pour refends de tous les rangs et ainsi empêcher tout déplacement lors de la mise en place du béton.
- mousse polyuréthane NUDURA à faible expansion, conditionnée en bombes de 750 ml, utilisée pour coller, boucher ou sceller les modules entre eux. La mousse est mise en œuvre à l'aide d'un pistolet applicateur. Plage de température d'application : entre -5 et 35°C.
- supports de fixation spécifiques de poutres et solives, à insérer dans le polystyrène avant coulage du béton
- système complet d'alignement et de maintien des murs, composé de rails verticaux et d'étais ajustables, de mise en œuvre rapide, servant aussi d'échafaudage, viennent compléter la gamme NUDURA (voir photos en annexe).

3. Mise en œuvre

3.1 Mise en place des éléments NUDURA

Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'établir toutes les fondations des murs sur le bon sol.

Par ailleurs, il fera étudier et calculer par des bureaux d'études spécialisés, à ses risques et à ses frais, les fondations et tous les éléments en béton armé.

Préparation des assises

Il convient de :

- toujours exécuter ou vérifier le tracé des murs avant de déposer les outils et le matériel sur le chantier. Dans la majorité des sites de construction, il convient de travailler à partir de l'intérieur de la périphérie des murs.
- s'assurer que les coffrages Nudura seront accessibles là où on en aura besoin, tout en maintenant une zone libre de 2 mètres autour de la périphérie.

Des fers verticaux, en attente, destinés à assurer la liaison entre les murs et la dalle ou la semelle, d'environ 1 m de hauteur, sont positionnés, tous les 0,80 m, de façon à se situer dans le milieu de la masse monolithique du futur mur de béton.

Mise en œuvre du premier rang

Le temps passé à installer correctement le premier rang permet de gagner du temps pour les rangs suivants et réduit le besoin de supports additionnels et de découpage non nécessaire des coffrages.

Le premier rang est installé sur la fondation ou le plancher nivelé, protégé par un hydrofuge sans action sur le PSE (norme NF P 18-339). Il convient de commencer par les coins du mur le plus long et de progresser vers le milieu de la longueur en réalisant un joint vertical si nécessaire. Pratiquer de façon identique pour les autres murs en vérifiant le respect du tracé des murs et l'équerrage du bâtiment.

Pour le premier rang, il convient de rendre tous les blocs solidaires horizontalement en insérant, à chaque jonction de 2 blocs, un clip de liaison de chaque côté du coffrage, en haut et en bas (4 clips). (Voir photos en annexe).

Placement des barres d'armature

Le type et le placement des barres d'armature sont conformes aux plans et spécifications préparées par un concepteur qualifié. Les barres d'armature horizontales sont installées dans les encoches prévues à cet effet dans les entretoises, permettant leur positionnement et leur maintien. Les barres horizontales sont installées après montage de chaque rang de coffrages, créant ainsi un chaînage horizontal tous les 0,45 m.

Il convient d'alterner la position des barres horizontales, d'un rang à l'autre, afin de créer une cage qui maintiendra l'alignement des barres verticales.

Les barres d'armatures sont les encoches des entretoises situées de part et d'autre du centre du mur pour l'élévation.

On installe les barres de renforcement vertical, après avoir installé tous les coffrages de l'étage concerné et avant le coulage du béton, en les insérant dans l'espace créé entre les rangs de barres horizontales. Elles sont positionnées tous les 0,40 m (toutes les deux entretoises) et sont coupées de façon à arriver à 0,10 m du haut du mur, de manière à ne pas gêner lors du coulage du béton.

Mise en œuvre du deuxième rang

Il convient de commencer le second rang par le même coin que le 1^{er} rang. Le coffrage de coin sera inversé afin de créer un décalage de 0,40 m entre les joints verticaux.

Emboîter fermement (avec un maillet) les coffrages du 2^{ème} rang dans ceux du 1^{er} rang afin que les ergots des entretoises s'enclenchent correctement, assurant ainsi la liaison verticale des 2 rangs.

Conservé autant que possible un décalage régulier des joints verticaux de 0,40 m.

Quand ce n'est pas possible, les joints verticaux concernés devront recevoir un support additionnel constitué d'une planchette de bois vissée dans les montants des entretoises adjacentes de part et d'autre du joint, des deux côtés du mur.

Placer les barres d'armatures horizontales dans les encoches opposées, par rapport au centre du mur, à celles du premier rang.

Mise à niveau : après la pose des 2 premiers rangs de coffrages NUDURA il convient de contrôler que l'ensemble des murs est bien de niveau. A l'aide d'un niveau laser, retenir le point le plus haut comme le point de référence et compenser les parties plus basses par des calages sous les coffrages.

Empilage des rangs suivants

Les assises successives sont empilées à sec. Les rangs suivants sont montés à l'identique des deux premiers rangs. Les premier, troisième, cinquième rangs... doivent être identiques, de même que les deuxième, quatrième, sixième rangs ..., excepté pour les ouvertures et les pénétrations.

Parachèvement des joints verticaux

De façon à liasonner parfaitement les blocs coffrages isolants au niveau des joints verticaux et éviter ainsi tout déplacement, il convient de « mousser » ceux-ci, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, à l'aide d'un pistolet adapté dispensant la mousse à faible expansion NUDURA.

Ajustement en longueur

Pour réaliser l'ajustement du mur en longueur, le dernier coffrage standard qui termine le mur est coupé sur une des lignes de coupe marquée dans le PSE (tous les 25 mm), ceci pour s'assurer que les mécanismes d'enclenchement vertical des entretoises continuent à s'aligner. Dans le cas du respect impératif de certaines dimensions, on peut cependant créer un joint "hors ligne de coupe" dans le dernier coffrage standard posé, et en laissant au moins 2 entretoises intactes avant un coffrage d'angle.

Le joint vertical "hors ligne de coupe" ainsi créé reçoit un support additionnel constitué d'une planchette de bois vissée dans les montants des entretoises adjacentes de part et d'autre du joint, des deux côtés du mur.

Par ailleurs, il convient de ne pas couper les coffrages d'angles, mais plutôt de couper les coffrages standards adjacents à ceux-ci.

Ajustement en hauteur

L'ajustement du mur en hauteur se fait au niveau de la première assise dont la hauteur est calculée et les blocs coffrages coupés horizontalement, en fonction de la hauteur totale du mur à réaliser, de façon à ce que tous les rangs suivants forment un multiple entier de 457 mm.

Une fois les murs montés entièrement, on en vérifiera l'aplomb et le parfait alignement et on pourra, à ce moment, « mousser » la base des murs de façon à la sceller à la semelle et à boucher les espaces dus aux imperfections de planéité de celle-ci.

Conditions d'étayage

Le système NUDURA de renforcement, d'alignement et d'échafaudage est conçu pour offrir ces trois fonctions en une seule application.

Le système consiste en des rails verticaux qui sont fixés aux coffrages (une vis par assise suffit, dans l'épaisseur de l'entretoise).

Des axes de diamètre 12,5 mm, verrouillés dans les rails verticaux, viennent ensuite assurer la liaison de ces rails avec des étais ajustables en longueur (permettant de régler l'alignement des murs) et servent, d'autre part, de points d'accroche aux supports d'échafaudage. (voir photos en annexe). Les platines formant la base des étais ajustables sont fixées au béton de la dalle ou dans le sol par une attache appropriée (vis à béton, fer d'armature...)

D'une façon générale, il convient de positionner 1 appui tous les 2 mètres de mur environ, plus 1 appui pour chaque coin ainsi que de chaque côté des ouvertures.

Les systèmes de renforcement, d'alignement et d'échafaudage NUDURA sont généralement installés après la mise en place de la 4^{ème} assise et peuvent être retirés après un temps de prise du béton suffisant.

Caractéristiques du béton de remplissage, consistance

Les caractéristiques et spécifications principales du béton utilisé avec les coffrages NUDURA sont les suivantes:

- béton ayant une consistance plastique, de classe S3 selon la norme NF EN 206-1, soit un taux d'affaissement sur le chantier : 150 mm
- classe d'exposition XC1 (à adapter selon la carte de France des zones de gel/dégel).
- dosage en ciment préconisé de 350kg/m³ environ
- classe de résistance minimum C20-25
- ratio eau / ciment maximum : 0,60
- la taille maximale recommandée du granulat est de 10 mm à 13 mm pour les murs de béton jusqu'à une épaisseur nominale de noyau de 150 mm et un granulat de 19 mm pour une épaisseur nominale de noyau de 200 mm et plus.
- densité du béton frais : ± 2 400 kg/m³
- temps de prise (fonction de la température) : 3 à 7 heures

Hauteur de coulage

Le volume délimité par les coffrages NUDURA peut être rempli de béton sur la hauteur maximale de 4,00 m (cf. Tests BBA - Agrément Technique Européen 07/0034 – Ch.II, §2.2.2 : Résistance mécanique et stabilité) d'un étage (maximum 3,50 m), en utilisant une pompe à béton articulée comportant un coude en « S ».

Il est recommandé de ne pas excéder une hauteur de coulage de plus de 1,50 m à la fois (environ 3 assises de coffrages). L'entrepreneur doit éviter de terminer un coulage contre un pré-dormant d'ouverture ou dans un coin.

Mise en place du béton

Selon ETA 07/0034 – Ch.II, § 1.1 : le béton peut contenir un adjuvant conforme à la norme EN 934-2 / 2001, pour permettre la mise en place soit par écoulement libre soit par damage et accorder suffisamment de temps pour la mise en œuvre sur le site. On peut utiliser du matériel vibrant avec soin. Le béton ayant une bonne consistance plastique peut être mis en place sans vibration; l'opérateur veillera au bon remplissage des blocs lors du coulage.

3.2 Exécution des points singuliers

3.2.1 Réalisation des angles

La gamme de produits NUDURA offre des coffrages pré-moulés d'angles de murs à 90° et à 45°. Chacun de ces coffrages d'angles présente un côté long et un côté court ce qui permet, dans la mesure où les coffrages NUDURA sont totalement réversibles, de les empiler en les alternant et de constituer ainsi un angle de mur homogène et parfaitement liaisonné. (Voir Chapitre 3-1. Mise en place des éléments NUDURA). (voir photos en annexe).

3.2.2 Jonctions façade-refend

De la même façon, des coffrages pré-moulés assurant la jonction mur principal-mur de refend sont proposés dans la gamme NUDURA. Ils

sont fournis en 2 dimensions : un élément « T » court et un autre élément « T » long, ce qui permet de les alterner au moment de l'empilage des assises successives.

Pour la 1^{ère} assise, on emploiera un « T » court, la partie la plus longue de cet élément constituera le mur principal.

Pour la 2^{ème} assise, on positionnera un « T » long, la partie la plus longue de cet élément constituera le mur de refend. On continuera à placer alternativement un « T » court et un « T » long pour les rangs suivants.

Ces coffrages en « T » seront liaisonnés aux éléments standards de mur (Voir chapitre 3-1. Mise en place des éléments NUDURA), à l'instar des éléments d'angles.

Ils sont disponibles dans toutes les combinaisons d'épaisseurs de mur principal et mur de refend.

Les murs de refends peuvent aussi être réalisés en maçonnerie traditionnelle.

3.23 Jonction mur-toiture

La connexion mur-toiture est réalisée simplement par ancrage d'une lisse d'assise de toit, positionnée en haut du mur (réserver un espace de 3 à 4 cm de hauteur, vide de béton, au niveau de l'arase et fixée à l'aide de goujons noyés dans le béton à l'issue du coulage.

La lisse d'assise de toit est normalement enfoncée dans le coffrage d'environ 3cm à 4cm de façon à ce que l'entrait de ferme de la char-pente repose, en même temps, sur la lisse et sur l'isolant intérieur PSE du mur et réduise ainsi le pont thermique. Une fois la lisse d'assise installée, l'assemblage du toit est similaire celui d'une construction conventionnelle.

Les pointes de pignons sont construites avec NUDURA. Les coffrages standards sont coupés à l'angle désiré. La réversibilité des coffrages NUDURA limitent les pertes de matériel de coffrage (utilisation du morceau coupé pour la réalisation du côté opposé). Si la pente de toiture est forte, il peut être nécessaire d'utiliser un béton présentant un affaissement légèrement inférieur à 15 cm. L'arase finale est faite à la truelle.

3.24 Réalisation des linteaux

Les linteaux sont réalisés comme pour un coffrage classique : les panneaux isolants formant les coffrages latéraux et une pièce de bois, étayée, de la largeur du cœur de béton, forme la base. Les exigences de renforcement des linteaux varieront en fonction de la charge imposée, de la profondeur du linteau, de la largeur de l'ouverture, de l'épaisseur du mur et de la force de compression de référence du béton. Le calcul des linteaux sera réalisé par un bureau d'études.

3.25 Murs arrondis

Les murs courbes ou arrondis sont réalisés à l'aide des coffrages fabriqués, sur mesure, par NUDURA.

La face externe du mur est constituée de panneaux de PSE de 2438 mm de longueur par 457 mm de hauteur que l'on courbera à volonté (coups de scie éventuels pour forts rayons de courbure).

La face interne du coffrage (partie la plus courte) est coupée dans notre usine, en fonction du rayon de courbure demandé par l'utilisateur. Le montage s'effectue selon un principe d'emboîtement par languette et rainure, offrant un coffrage propre et solide avant, pendant et après le coulage.

Des planches-guides, en contreplaqué, sont généralement fixées à la semelle pour générer le rayon désiré.

3.26 Pourtours de planchers

Une variété de connexions mur-plancher pour les différents types de planchers est possible avec les murs NUDURA.

Dans le cas de la réalisation d'un plancher béton il convient de découper l'isolant intérieur du coffrage standard du dernier rang de la hauteur du plancher à réaliser. On prendra soin de protéger par un adhésif NUDURA les formes moulées d'emboîtement du panneau extérieur, laissé entier, jouant le rôle de planelle.

On peut alors couler la dalle liaisonnée avec le béton du mur par des fers qu'on aura laissés en attente.

On procédera ensuite à l'élévation du mur d'étage liaisonné par des aciers d'armature enfoncés dans le béton du mur inférieur tous les 0, 80, après le coulage de ce mur.

Le bas du panneau PSE intérieur des blocs du 1^{er} rang de l'étage reposera sur la dalle alors que le panneau extérieur sera emboîté dans le haut du panneau extérieur du dernier rang de l'étage inférieur, laissé en attente. On préservera ainsi la continuité de l'isolation. (Voir en annexe « Détails de construction » et photo)

3.27 Réalisation des baies

Les tableaux des ouvertures, fenêtres et portes peuvent être réalisés en ayant recours à tout type de pré-cadre adapté, ou grâce aux accessoires appelés « embouts de murs » qui s'insèrent dans les extrémités verticales des coffrages pour fermer les murs et former les tableaux.

Selon les types de fenêtres,

- Les châssis peuvent être installés « en tunnel » sur pré-cadre ou vissés dans le béton à travers les armatures centrales en polypropylène des « *embouts de murs* » ou encore fixés sur un pré-dormant bois positionné entre les panneaux de polystyrène grâce aux « *glissières pour tableaux* » NUDURA, avant coulage du béton (Voir schémas d'installation et photos en annexe).

- Pour une installation « en applique » ou en « feuillure », après positionnement et réglage, les châssis dormants sont fixés par vis, directement dans le béton du mur à l'aide de pattes de fixation appropriées (voir schéma d'installation et photos en annexe).

L'ordre des opérations est le suivant :

- découpe d'encoches dans le panneau de PSE intérieur pour positionner les pattes de fixation, contre le béton, tous les 50 cm environ, sur la hauteur (voir photo en annexe)
- mise en place d'un Compriband, réglage du châssis et fixation des pattes dans le béton, puis mise en place de l'étanchéité selon les règles de l'art,
- recollage de l'isolant découpé côté intérieur,
- calfeutrement au pistolet (mastic sur fond de joint) ou à la mousse à faible expansion.

- en dehors de l'utilisation de pré-cadres traversants, ou de fenêtres équipées d'appuis en aluminium clipsés, les appuis de fenêtres et de portes-fenêtres font l'objet d'une réservation dans le coffrage concerné, au niveau de l'allège, avant le coulage du mur. Le panneau extérieur du coffrage est ainsi découpé de la hauteur de l'appui qui sera coulé ou scellé au béton du mur et dont le talon viendra s'appuyer en butée contre le panneau de coffrage intérieur, préservant ainsi l'isolation thermique (voir schéma en annexe).

On prendra soin d'étayer verticalement et horizontalement les ouvertures en fonction de leurs dimensions.

3.28 Réservations

La réalisation d'une réservation pour une pénétration de service se fait par découpe d'un trou dans le PSE à l'aide d'une scie à guichet ou d'un couteau chauffant pour permettre l'insertion d'un manchon approprié. Autant que possible, il convient de ne pas couper une entretoise.

Il convient de positionner un manchon de réservation un peu plus grand que la pénétration requise. Ceci permettra aux corps d'état secondaires d'installer les tuyaux, gaines, etc... sans difficultés. Une fois le tuyau définitif installé, on utilisera la mousse à faible expansion pour obturer complètement le jeu résiduel autour du tuyau. Une autre méthode consiste à placer directement le conduit définitif. Dans ce cas, l'installateur s'assurera que le conduit est suffisamment long pour permettre d'utiliser des coupleurs ou des raccords de tuyauterie de chaque côté.

Pour réaliser une réservation de poutre dans un mur ou dans un pignon, il convient d'insérer à l'endroit voulu, dans le coffrage concerné, des « *embouts de murs* » de façon à créer, dans le mur, le vide nécessaire respectant les dimensions de la poutre.

3.3 Utilisation en zones sismiques

Deux barres verticales d'armatures supplémentaires, de même diamètre que celles utilisées pour l'armature verticale du mur, sont installées dans tous les angles. De plus, on installe deux barres verticales de diamètre 10 mm de chaque côté des ouvertures, en conservant un enrobage minimal de 50 mm de béton. En outre, deux barres horizontales de Ø 10 mm sont installées à la base de l'ouverture.

3.4 Revêtements

3.4.1 Revêtements intérieurs

Les revêtements intérieurs doivent être appliqués sur le PSE en respectant les normes et la réglementation en vigueur.

La cloison sèche de plaques de plâtre de 13 mm est la forme de fini intérieur destinée à être appliquée sur le mur NUDURA.

Compte tenu du fait qu'il est possible d'obtenir une bonne rectitude des murs grâce au système d'alignement NUDURA, les cloisons de doublage en plaques de plâtre sont fixées directement sur les panneaux polystyrène intérieurs par vissage dans les fourrures verticales des entretoises moulées dans le polystyrène tous les 20 cm (Cf. ATE Ch II - § 1.1) et repérées, chacune, par un marquage vertical sur le panneau. (Voir photo en annexe). Les plaques peuvent également être mises en œuvre de manière classique par collage.

Les joints des cloisons sèches n'ont pas besoin d'être alignés sur une fourrure de fixation puisque le PSE offrira suffisamment de support par lui-même. D'autres finis peuvent être appliqués conformément aux exigences de barrière thermique.

3.4.2 Revêtements extérieurs

Les revêtements extérieurs sont appliqués directement sur la surface du coffrage de PSE en respectant les normes et la réglementation en vigueur. On utilise des enduits minces.

Les conditions de mise en œuvre de ces revêtements sont celles visées dans le document « Cahier des Prescriptions Techniques d'emploi et de mise en œuvre des systèmes d'isolation thermique extérieure avec enduit mince sur polystyrène expansé », (Cahier du CSTB 3035 d'avril 1998) et Modificatif n° 1 (Cahier du CSTB 3399 de mars 2002).

Classiquement, l'ordre des opérations est le suivant :

- nettoyer et poncer le PSE extérieur destiné à recevoir l'enduit à l'aide d'une râpe adaptée, de façon à obtenir une surface propre, parfaitement plane et « accrocheuse ».
- étaler une couche l'enduit de base sur les murs, dans laquelle est noyé un grillage d'armature en fibre de verre.
- après séchage, appliquer la couche d'enduit de finition, à la truelle, en lui donnant le fini désiré.

Les revêtements extérieurs applicables sur support NUDURA, avec l'accord des fabricants, sont tout enduit minéral ou organique applicable sur les murs réalisés à base de blocs coffrages en polystyrène expansé et faisant l'objet d'un Agrément Technique Européen complété par un Document Technique d'Application.

Parmi ces produits on peut citer :

StoTherm Classic QS1 DTA 7/05-1390*V1

StoTherm Classic QS2 DTA 7/05-1391*V1

Terratherm PPE-PR DTA 7/04-1379*V1

Terratherm PPE DTA 7/04-1380*V1

Terratherm Motex 2 DTA 7/04-1381*V1

3.5 Mode d'exploitation du procédé

L'installation est effectuée sous la direction de travailleurs qualifiés dont la compétence à installer le produit a été validée par le Fabricant ou son agent pour la France, la société Néobat.

Cette qualification est attribuée par le fabricant, sous la forme d'une carte d'Installateur Agréé Nudura, au représentant de chaque entreprise, après participation de ce dernier à une journée de formation théorique délivrée par le fabricant suivi d'une validation de compétence sur le premier chantier.

Par ailleurs, à l'issue de la journée de formation théorique, les représentants des entreprises reçoivent, en plus de Guide de Formation, un Guide d'Installation reprenant dans le détail, l'enchaînement des phases de mise en œuvre ainsi que les tables de dimensionnement des murs et des linteaux.

De ce fait, les produits NUDURA sont distribués, à l'exclusion de tout autre canal de distribution, par Néobat, Distributeur agréé par le fabricant qui s'assure de la compétence de l'entreprise avant la fourniture des produits (au moins un représentant Agréé Nudura présent sur chaque chantier) et fournit l'assistance technique permanente en cas de besoin.

B. Résultats expérimentaux

L'ensemble des tests a été mené par référence aux normes canadiennes, américaines et européennes : CAN/ULC, ASTM C-E-D, UL, ASHRAE, EN et ISO.

- Densité: 21,4 kg/m³ (British Board of Agrément - Janv. 2007)
- Résistance à l'inflammabilité:
 - Température d'inflammabilité éclair : 370°C
 - Température d'inflammation spontanée : 430°C
- Résistance au feu: Pour un module de coffrage avec un noyau de béton de 150mm : 3 heures (British Board of Agrément - Janv. 2007)
- Isolation thermique:
 - module de coffrage avec noyau de 150mm, R = 3,89 m² K / W
 - mur fini (composé d'un bloc coffrage isolant NUDURA, béton, plaque de plâtre à l'intérieur et enduit extérieur) :
 - le Coeff. Résistance thermique global R = 4 m².K / W
 - le Coeff. Transmission thermique global K = 0,25 W / m².K

(Bodycote material testing Canada - Sept.2004)

- Isolation phonique: le coffrage avec noyau de béton de 150mm donne un coefficient de transmission sonore = 50

(HGC Engineering Canada - Fev.2003)

- Résistance à la compression: 131 kPa (Bodycote material testing Canada - Sept.2004)
- Résistance à la flexion: 295 kPa (Bodycote material testing Canada - Sept.2004)
- Stabilité dimensionnelle: variation maximale: -0,47% (Bodycote material testing Canada - Sept.2004)
- Transmission de vapeur d'eau:
 - Indice maxi de perméance : 200ng/Pa.s.m²
 - Moyenne vérifiée basée sur tout le PSE : 96ng/Pa.s.m²

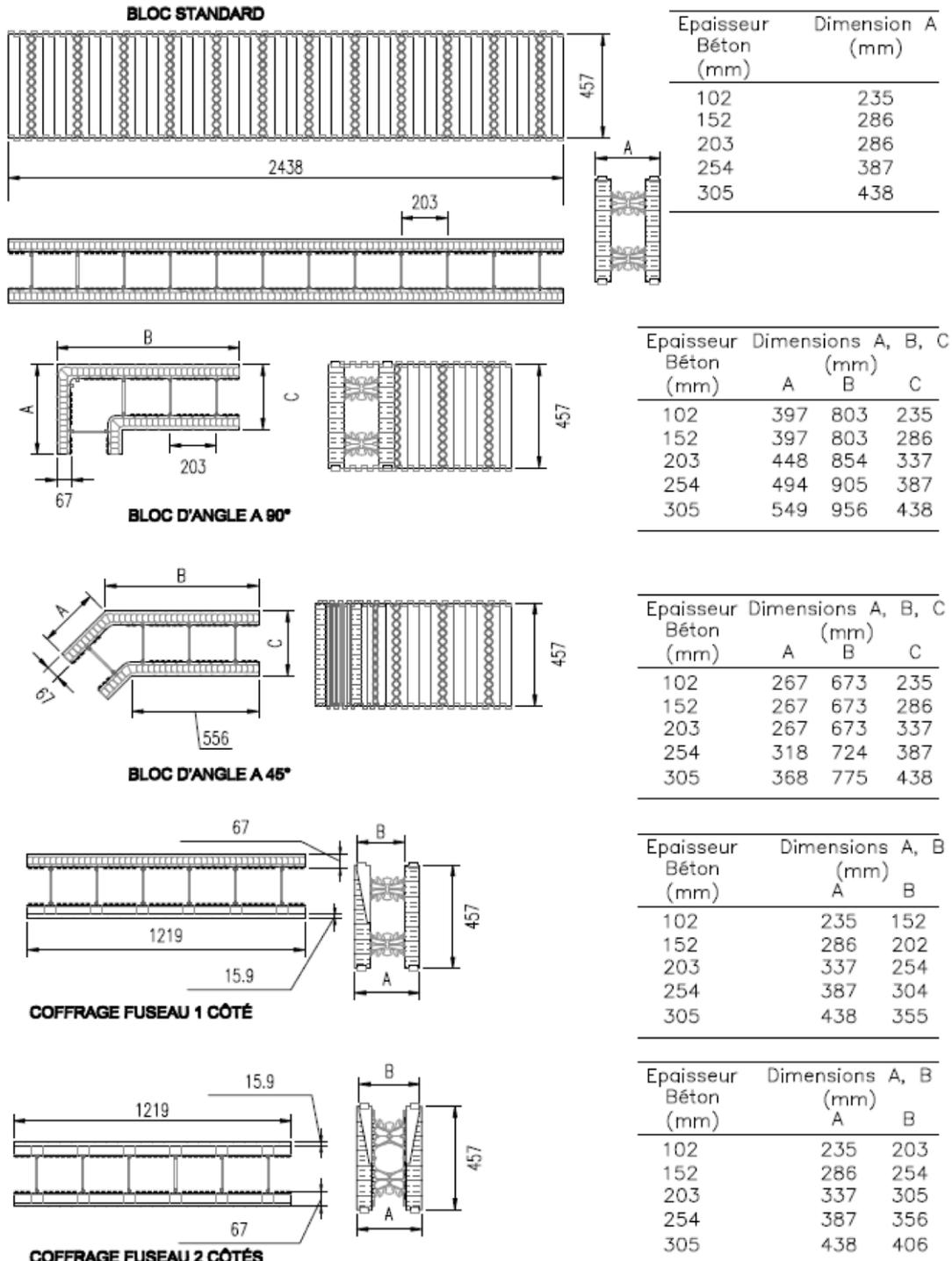
(Bodycote material testing Canada - Sept.2004)

C. Références

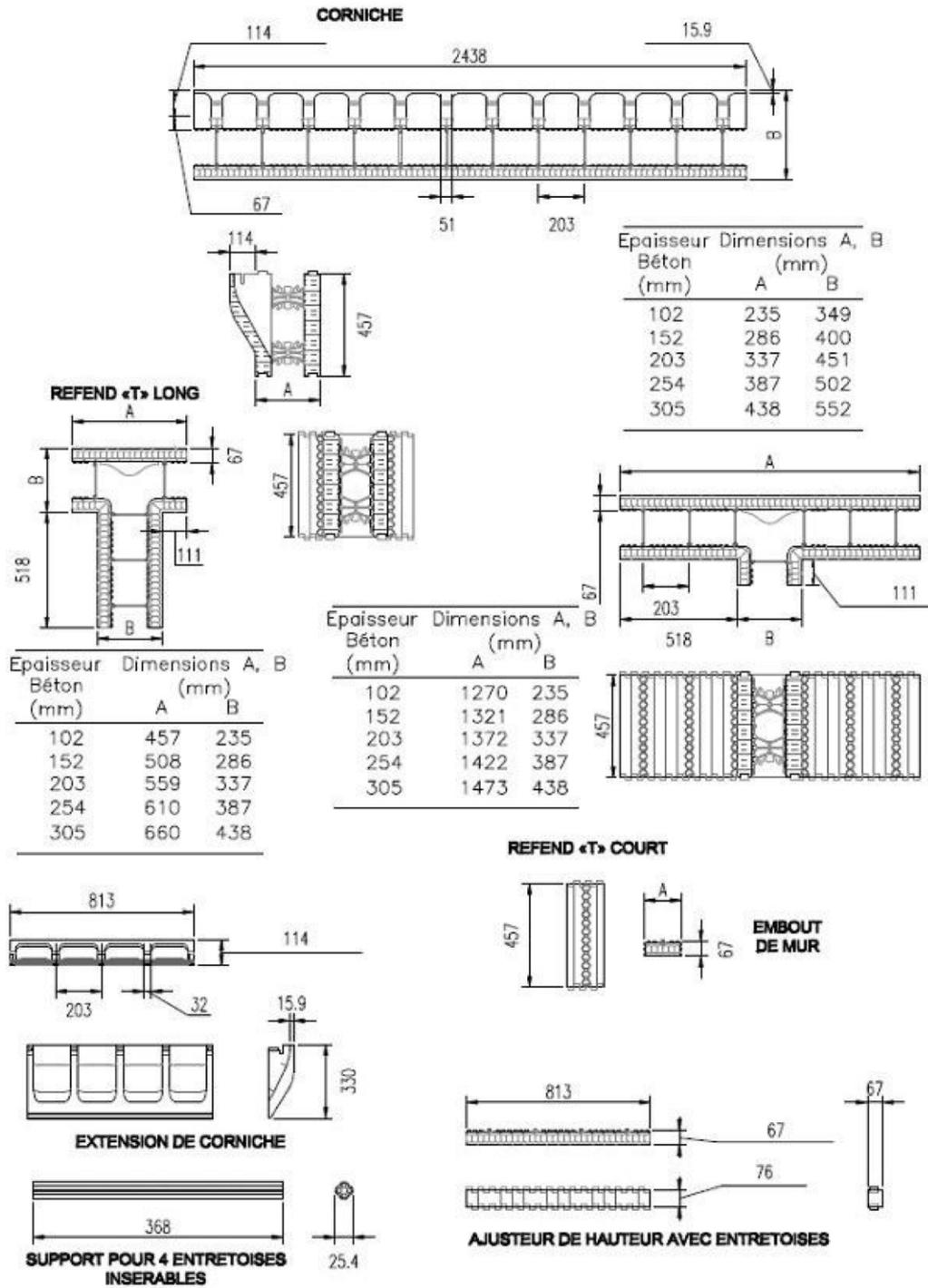
Le procédé NUDURA dans sa version décrite dans le présent Dossier Technique est fabriqué depuis Avril 2001. Au 31/12/2008, c'est plus de 5 millions de m² de murs qui ont été mis en œuvre aux Etats-Unis et au Canada, et 44 000 m² en Europe (1 500m² en France).

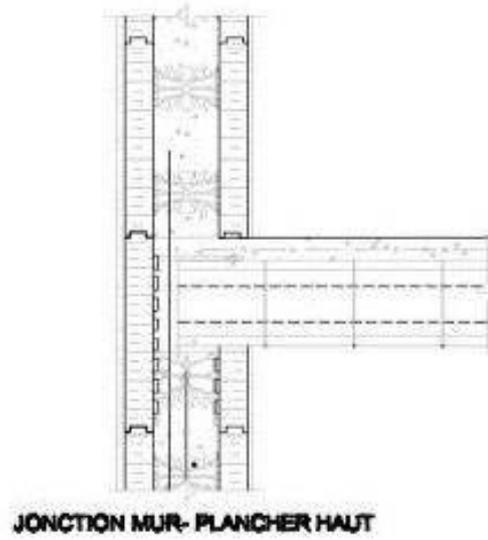
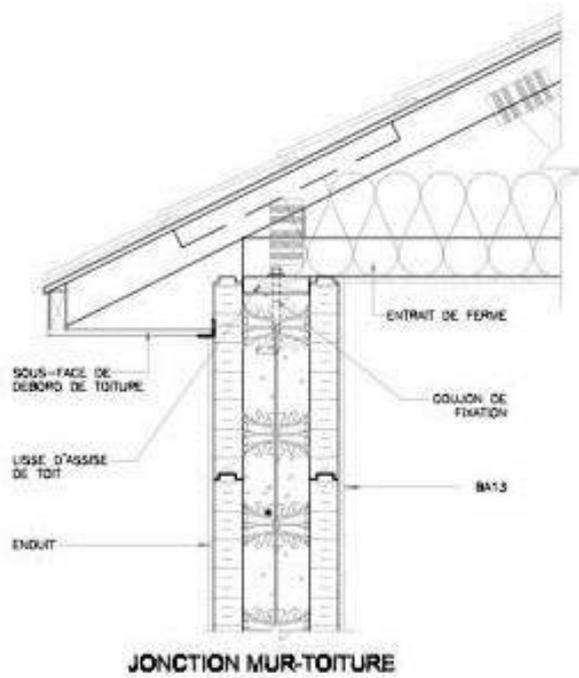
Tableaux et figures du Dossier Technique

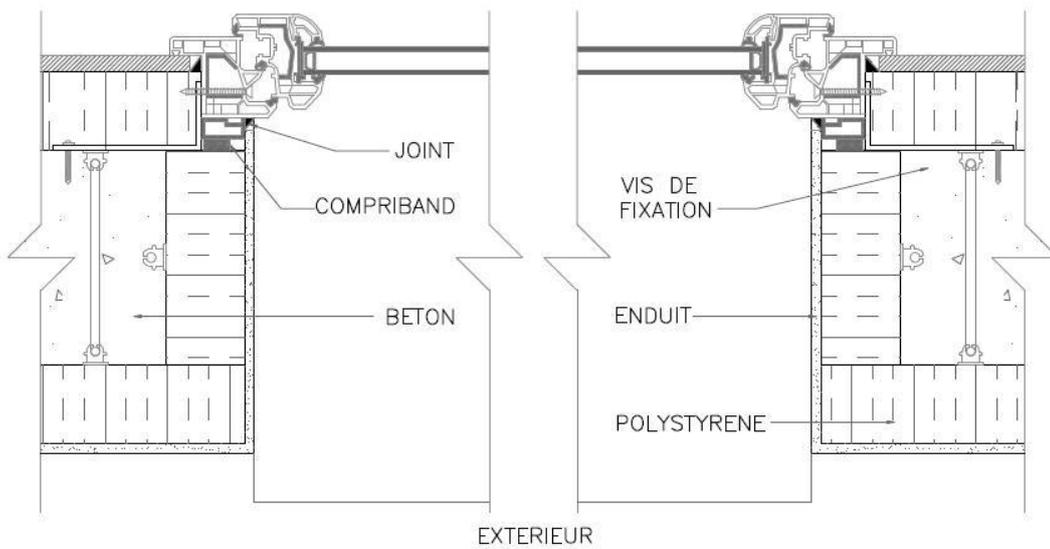
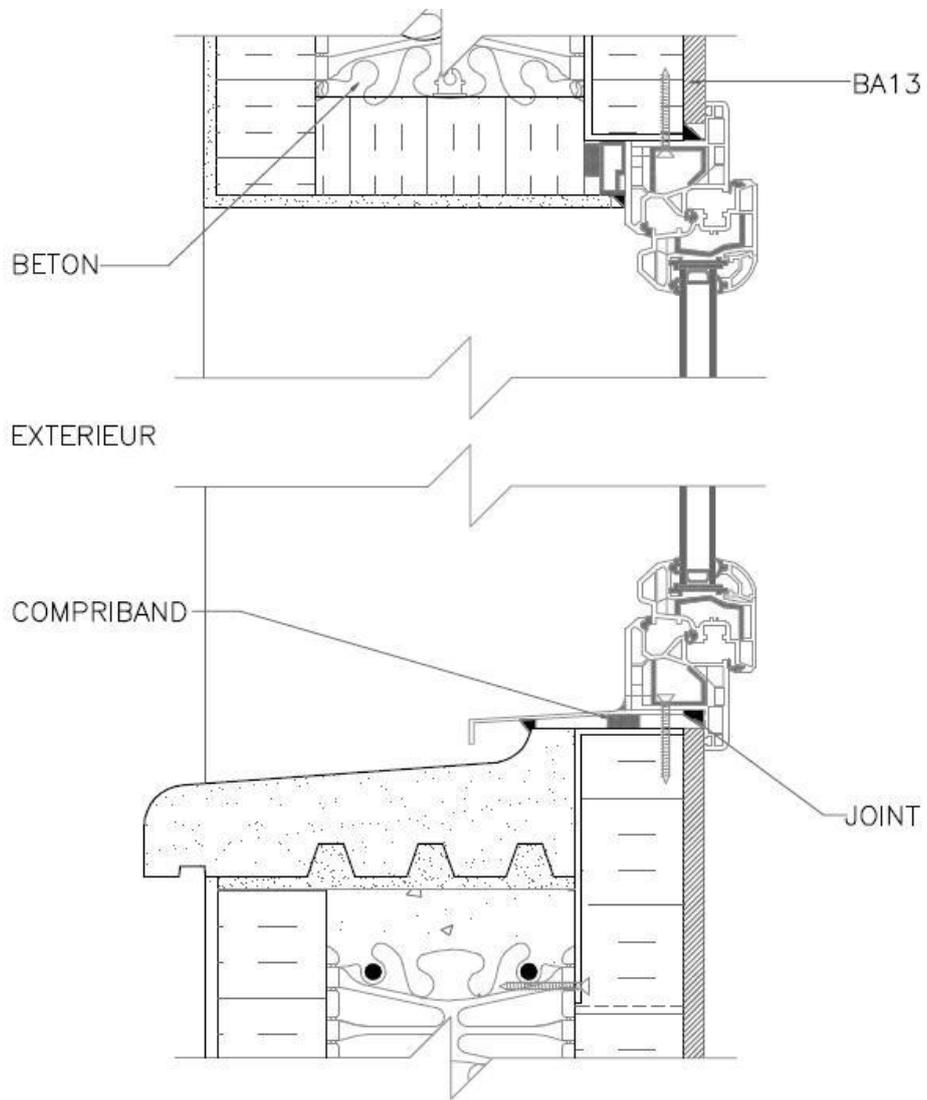
1- PRINCIPAUX PRODUITS NUDURA



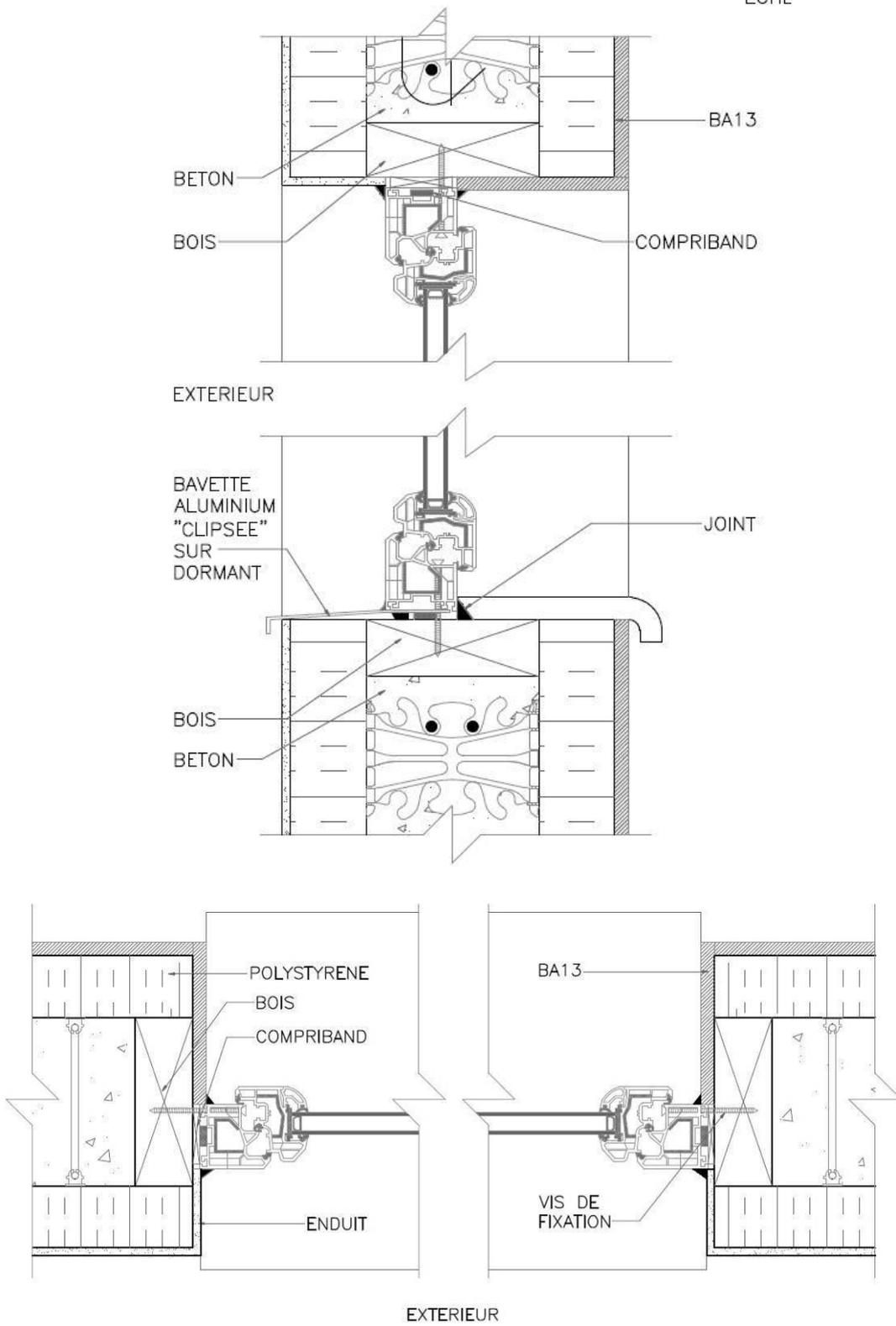
1- PRINCIPAUX PRODUITS NUDURA







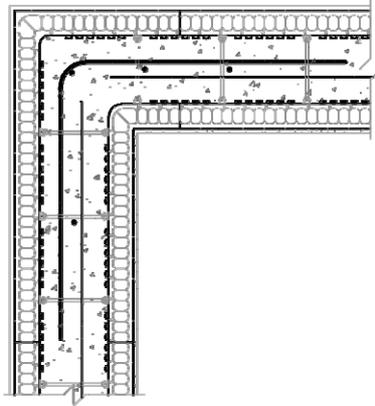
Coupes verticale et horizontale sur menuiserie en applique



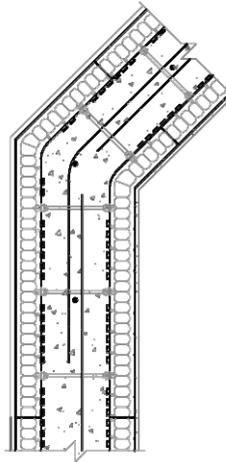
Coupes verticale et horizontale sur menuiserie en tunnel

2- DETAILS DE CONSTRUCTION
2.3- ANGLES ET REFENDS

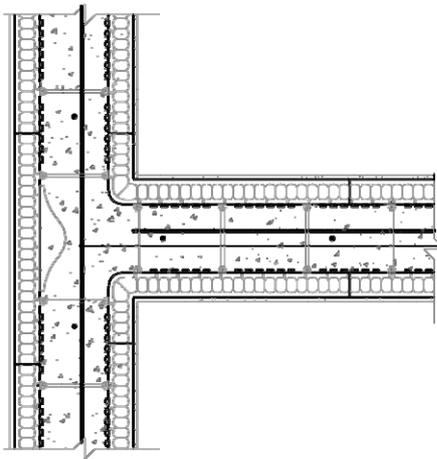
ÉCHELLE APPROX 1:15



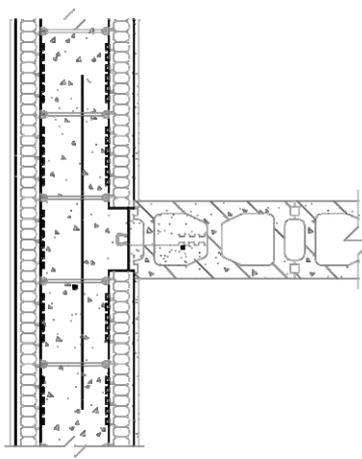
COIN AVEC MODULE D'ANGLE À 90°



COIN AVEC MODULE D'ANGLE À 45°



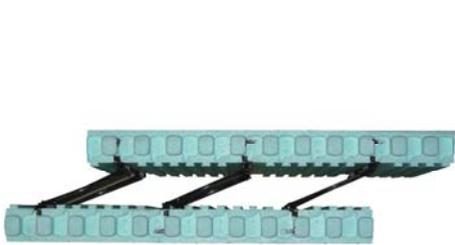
REFEND AVEC MODULE EN «T»



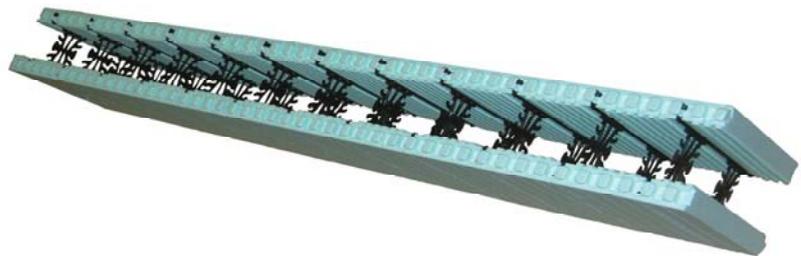
REFEND AVEC BLOCS BETON DE 0,20



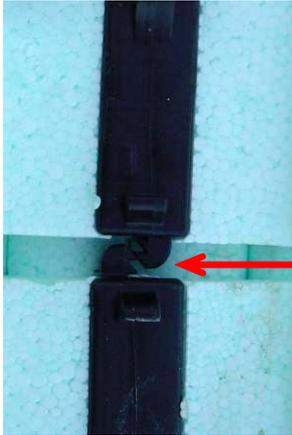
modules standards stockés, complètement repliés



Module standard à demi replié



complètement ouvert



**BCI complètement ouvert
Système de verrouillage**

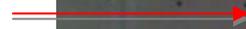


**Axes de rotation
des entretoises en
acier inoxydable**

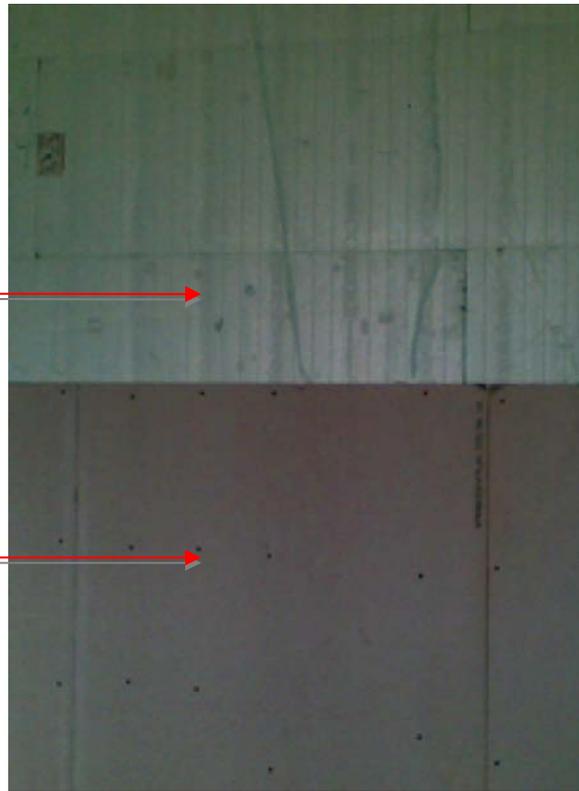
*Marquage de la
fourrure de
polypropylène*



*Ligne de vis de
fixation*



Équivalente à la pièce de



bois

Fourrure en polypropylène

Installation des Plaques de plâtre

Patte de fixation fenêtre



Fenêtre montée en tunnel avec tableaux en « embouts de murs »





Module de refend en « T » verrouillé par clips aux modules standards du mur périphérique et du mur de refend



Verrouillage vertical par encliquetage des entretoises



Verrouillage par clips de la liaison module standard / module d'angle



Embout de mur



Positionnement des armatures horizontales et verticales

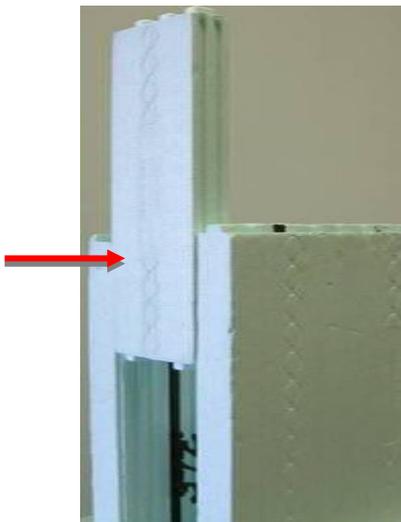


Tableau avec embouts de murs



Glissières pour tableaux bois, coupées après coulage



Fixation du dormant par vis, dans le béton, à travers la fourrure en polypropylène.



Systeme d'Alignement



Échafaudage



Etai NUDURA



Réglage de l'alignement avec les étais ajustables



Coulage du mur



Plancher béton sur poutrelles et hourdis



Vue générale du plancher bois



Détail au droit des fixations dans la muralière

Fixation de la muralière sur platines métalliques ancrées dans le béton et dans les fourrures d'entretoises.



Charpente traditionnelle avec réservations de poutres