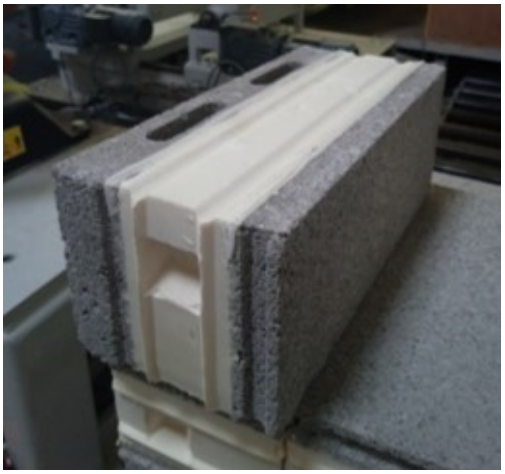
APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 2793_V1

ATEx de cas a

Validité du 01/04/2020 au 01/04/2022



Copyright : Société THERMIMUR DISTRIBUTION

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. (extrait de l'art. 24)

A LA DEMANDE DE :

Société THERMIMUR DISTRIBUTION
Adresse : 6 Impasse Monge 69330 MEYZIEU

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2793_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de système R5 de la société THERMIMUR.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 01/04/2020, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

- demandeur : Société THERMIMUR 6 Impasse Monge 69330 MEYZIEU
- technique objet de l'expérimentation : procédé de système R5 de la société THERMIMUR
  - procédé de mur en blocs de maçonnerie à isolation intégrée composés de planelles en béton de granulats courants reliées par des liaisons en polyamide chargé de fibre de verre et d'un cœur isolant en mousse rigide de polyuréthane ;
  - domaine d'emploi accepté : bâtiments à usage courant au sens du NF DTU 20.1, de type R+3+combles au plus, en France métropolitaine. L'utilisation du procédé en soubassement est limitée à une hauteur de 1 m maximum entre les fondations et le plancher ;

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEx 2793_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au 01 04 2022*, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées au § 4.*

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages

La stabilité des ouvrages est normalement assurée dans le domaine d'emploi accepté, moyennant le respect des règles de conception, calcul et mise en œuvre détaillées dans le cahier des charges annexé au présent document. Le principe de reprise et de transmission des charges est tel que les efforts passent par la planelle intérieure du système R5.

Le principe de calcul de la résistance aux charges verticales est explicité dans le § A.4.7.2.a du cahier des charges. Il est à noter que seule la paroi intérieure, de 7,5 cm d'épaisseur, est porteuse. Dans le cas des murs de façade, le plancher s'appuie uniquement sur cette paroi intérieure.

Pour prendre en compte l'incertitude sur la durée de vie de l'isolant en mousse de polyisocyanurate (PIR), le dimensionnement se base sur des essais réalisés sans mousse.

1.2 – Sécurité des intervenants

La mise en œuvre du procédé visé dans la présente ATEx est similaire à celle des procédés traditionnels de maçonnerie de petits éléments. La sécurité des intervenants est assurée moyennant la mise en place des mesures de protection individuelles et collectives courantes et le respect des prescriptions décrits dans le cahier des charges annexé au présent document.

La sécurité des usagers est assurée au même titre que pour les procédés traditionnels de maçonnerie.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Le procédé permet de satisfaire à la réglementation incendie pour le domaine d'emploi visé, dans la limite du domaine de validité du Procès-Verbal de classement n° 2016 CERIB 6804. Ce dernier permet d'attester de performances de résistance au feu REI120. Le chargement vertical des murs est limité à 136 kN/ml pour une hauteur maximale de 3,00 m.

Le procédé a aussi fait l'objet d'essais de réaction au feu (Procès-Verbal de classement N° RA19-0254) donnant le classement M1.

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Le procédé peut être utilisé dans des structures soumises à exigences sismiques moyennant l'application du coefficient de comportement q=2 issu d'un essai et en respectant les dispositions du § A.4.7.3 du cahier des charges annexé au présent document. L'essai de contreventement ayant été réalisé avec la mousse, il convient d'appliquer un coefficient d'abattement de 1,18 aux résultats de cet essai.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les planelles sont fabriquées de manière traditionnelle par des industriels du béton. Les liaisons polyamide et les planelles sont livrées dans les locaux de THERMIMUR où elles assemblées. La mousse de polyuréthane est ensuite intégrée par coulage. Un système de contrôles internes sur les produits finis est mis en place par le fabricant portant sur la qualité de l'injection de la mousse et les dimensions des blocs. La production de produits convenables est ainsi très probable.

2.2 – Mise en œuvre : La mise en œuvre est décrite dans le cahier des charges annexé au présent document. Elle est similaire à la mise en œuvre des maçonneries traditionnelles. La faisabilité de la mise en œuvre est ainsi certaine.

2.3 – Assistance technique

La société THERMIMUR apporte une assistance et une formation adaptée aux entreprises qui découvrent le procédé R5. Une attestation sera délivrée et renouvelée annuellement. Un formateur THERMIMUR pourra être dépêché auprès de l'utilisateur, notamment pour le premier jour de montage.

3°) Risques de désordres : Aucun risque de désordre particulier n'a été identifié.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- utiliser exclusivement les blocs d'angle R5 qui présentent un retour complet en béton pour le calfeutrement des menuiseries. La fixation restant sur le béton de chainage ;
- n'utiliser le linteau R5 que dans le cas d'utilisation des coffres de volets roulants ;
- limiter l'utilisation du procédé en soubassement à une hauteur de 1 m maximum entre les fondations et le plancher ;

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est probable,
- Les désordres sont peu probables.

Champs sur Marne, le 01 avril 2020

Le Président du Comité d'Experts,

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société **THERMIMUR DISTRIBUTION**
6 Impasse Monge
69330 MEYZIEU

Définition de la technique objet de l'expérimentation : procédé de système R5 de la société THERMIMUR

- Procédé de mur en blocs de maçonnerie à isolation intégrée. Ces blocs sont obtenus par assemblage solidaire des éléments suivants :
  - des planelles en béton de granulats courants obtenues par préfabrication classique,
  - des liaisons en polyamide chargé de fibre de verre obtenues par plasturgie,
  - un cœur isolant en mousse rigide de polyuréthane obtenu par injection et expansion
- Le bloc standard est de dimensions (Lxlxh) 500x225x200 mm et sa classe de résistance est B80. Les points singuliers sont traités avec les blocs accessoires (blocs d'angle sortant et rentrant, bloc poteau, planelle de rive, linteau).
- Domaine d'emploi accepté : bâtiments à usage courant au sens du NF DTU 20.1, de type R+3+combles au plus, en France métropolitaine. L'utilisation du procédé en soubassement est limitée à une hauteur de 1 m maximum entre les fondations et le plancher.
- La mise en œuvre est réalisée conformément au NF DTU 20.1. La pose des blocs est réalisée avec un mortier-colle de montage à joints minces.
- À ce jour :
  - les blocs R5 sont assemblés dans l'usine THERMIMUR de Meyzieu (69),
  - les planelles sont fabriquées de manière classique par ÉTABLISSEMENT COTTIN (74), BÉTON DU PIC D'ANDAN (12) et GROUPE CHAVIGNY,
  - les liaisons polyamide chargé fibre de verre sont fabriquées par TBI GROUPE (01),
  - les sous-produits de la mousse de polyuréthane sont fabriqués par PLIXXENT (Pays-Bas),
  - des procédures de contrôle qualité en interne ont été mises en place à l'usine de Meyzieu pour assurer la bonne qualité des produits finis.
- Le principe de reprise et de transmission des charges est tel que les efforts passent par la planelle intérieure du système R5. Le dimensionnement est basé sur les résultats expérimentaux suivants :
  - Résistance caractéristique des blocs : R_c=8 MPa
  - Charge caractéristique en compression de la maçonnerie : F_k=224 kN/ml
  - Résistance initiale en cisaillement : f_{vk0}=0,37 MPa
  - Coefficient de comportement pour l'utilisation en zone sismique : q=2
- Le procédé dispose d'un Procès-Verbal de réaction au feu donnant le classement M1 et d'un Procès-Verbal de résistance au feu donnant le classement REI 120 pour une hauteur maximale de 3 m et un chargement maximal de 136 kN/ml.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2793_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 46 pages.

Procédé de système R5

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 04 06 2020

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 2793_V1.

THERMIMUR
CONSTRUIRE AU FUTUR

Dossier technique établi en vue d'une démarche d'ATEx de cas A

R5
Système constructif
à isolation intégrée

Cahier des charges de conception et de mise en œuvre

A. Description 10
A.1. Principe du procédé et domaine d'emploi 10
A.1.1. Principe de réalisation des murs 10
A.1.2. Domaine d'emploi 11
A.2. Eléments constitutifs du procédé 11
A.2.1. Bloc standard R5 11
A.2.2. Blocs accessoires R5 13
A.2.2.1. Bloc d'angle sortant R5 13
A.2.2.2. Bloc d'angle rentrant R5 13
A.2.2.3. Bloc poteau R5 14
A.2.2.4. Planelle de rive R5 14
A.2.2.6. Linteau R5 16
A.2.3. Mortier de montage 16
A.2.4. Armatures 17
A.2.5. Cœur isolant 17
A.2.6. Liaisons en polyamide chargé fibre de verre 17
A.3. Fabrication - Contrôles 18
A.3.1. Fabrication des blocs R5 18
A.3.2. Tolérances dimensionnelles 18
A.3.3. Résistance à la compression 19
A.3.4. Masse volumique 19
A.3.5. Contrôle sur produits finis 19
A.4. Mise en œuvre 20
A.4.1. Principe général de pose 20
A.4.1.1. Outillage 20
A.4.1.2. Plans de calepinage 21
A.4.1.3. Préparation du support et réalisation du premier rang 21
A.4.1.4. Montage en partie courante 22
A.4.1.5. Réalisation des joints verticaux 22

A.4.2. Réalisation des points singuliers 22
A.4.2.1. Réalisation des angles sortants à 90° 22
A.4.2.2. Réalisation des angles rentrants à 270° 23
A.4.2.3. Réalisation des angles différents de 90° et 270° 23
A.4.2.4. Réalisation des chaînages verticaux 24
A.4.2.5. Réalisation des pignons 25
A.4.2.6. Jonctions entre murs de façades R5 et murs de refends R5 25
A.4.2.7. Jonctions entre murs de façades R5 et murs de refends non-R5 28
A.4.2.8. Jonction entre murs de façade R5 et planchers 29
A.4.2.9. Jonction entre murs de façade R5 et toiture 29
A.4.2.10. Réalisation des ouvertures 30
⇒ Réalisation des baies 30
⇒ Réalisation des appuis de fenêtre 30
⇒ Réalisation du précadre 31
⇒ Type de pose des menuiseries 31
⇒ Incorporation des volets roulants 32
A.4.3. Murs de soubassements - Murs enterrés 32
A.4.4. Mode de fixation d'objets lourds 32
A.4.5. Saignées et réservations 33
A.4.6. Revêtements extérieurs et intérieurs 33
A.4.6.1. Revêtements extérieurs 33
A.4.6.2. Revêtements intérieurs 34
A.4.7. Dimensionnement 34
A.4.7.1. Schéma mécanique 34
A.4.7.2. Prescriptions techniques 35
A.4.7.3. Dispositions parasismiques 38
A.5. Assistance technique 39
B. Résultats expérimentaux 40
B.1. Compression sur maçonnerie 40
B.2. Flexion sur maçonnerie 40
B.3. Cisaillement sur maçonnerie 40
B.3. Réaction au feu 40
B.4. Résistance au feu 40
B.5. Thermique 41

B.6. Acoustique 41
B.7. Etanchéité à l'air 41
B.8. Essai au contreventement 41
B.9. Durabilité 41
C. Références 43
C.1. Données environnementales 43
C.2. Références chantiers tests 43
C.1.1. 1er chantier 43
C.1.2. 2ème chantier 43
C.1.3. 3ème chantier 43
D. Exemples de réalisation des chaînages 44
E. Détail de réalisation des ouvertures 46
E.1 Principe de réalisation de baie 46
E.2 Autres types de pose des menuiseries 48

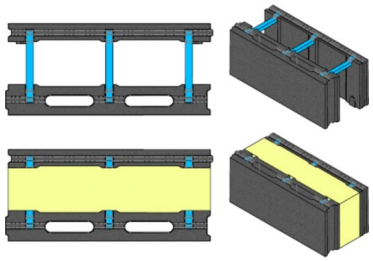
A. Description

A.1. Principe du procédé et domaine d'emploi

A.1.1. Principe de réalisation des murs

Le système R5 de la société THERMIMUR est un procédé de mur en blocs de maçonnerie à isolation intégrée. Ces blocs sont obtenus par assemblage solidaire des éléments suivants :

- Des planelles en béton de granulats courants
- Des liaisons en polyamide chargé fibre de verre
- Un cœur isolant en mousse rigide de polyuréthane



Les blocs s'assemblent tel que :

- L'adhérence horizontale des blocs entre eux est réalisée avec un mortier colle à joint mince
- L'adhérence verticale des blocs entre eux est réalisée par emboîtement à sec

Les bords latéraux des blocs peuvent être collés avec un mortier colle à joint mince pour l'application du procédé R5 en zones sismiques ou pour assurer une meilleure imperméabilisation de la façade.

Les points singuliers sont traités avec les blocs accessoires suivants :

- bloc d'angle sortant
- bloc d'angle rentrant
- bloc poteau
- planelle de rive
- linteau

Le système R5 de la société THERMIMUR permet de réaliser par blocs maçonnés (limitation des matériels de coffrage) des murs porteurs extérieurs apportant une isolation importante dans une épaisseur réduite.

Le système R5 de la société THERMIMUR est protégé par plusieurs brevets.

A.1.2. Domaine d'emploi

Le système R5 de la société THERMIMUR est destiné à la réalisation de bâtiments à usage courant au sens du NF DTU 20.1, de type R+3+combles au plus, en France métropolitaine.

Le système R5 possède un PV de résistance au feu établissant un RE120 et REI120 pour une hauteur limitée à 3 mètres et une charge appliquée de 136,4 kN/ml (PV CERIB n°6804) ainsi qu'un PV de réaction au feu établissant un classement M1 (PV CSTB n° RA19-0254).

Le système R5 permet de réaliser des murs enterrés : murs de soubassement, murs de vides sanitaires, limités à 1 mètre de hauteur.

Le procédé peut être utilisé pour la réalisation d'ouvrages en maçonnerie chaînée, conformément aux résultats expérimentaux fournis en annexe, et au sens de l'Eurocode 6 et 8 (zones sismiques 1 à 4 uniquement).

Les conditions d'exposition acceptées sont :

- pour les murs non isolés à l'intérieur, celles des murs de type I définis dans le NF DTU 20.1 P3
- pour les murs isolés à l'intérieur, celles des murs de type IIa, IIb ou IV définis définis dans le NF DTU 20.1 P3
- les murs isolés par l'extérieur ne sont pas visés

La capacité d'emploi doit être justifiée par un dimensionnement complet de l'ouvrage concerné, délivré par un bureau d'étude suivant les résultats expérimentaux fournis en annexe, les règles Eurocodes 6 et 8 ainsi que le NF DTU 20.1.

A.2. Eléments constitutifs du procédé

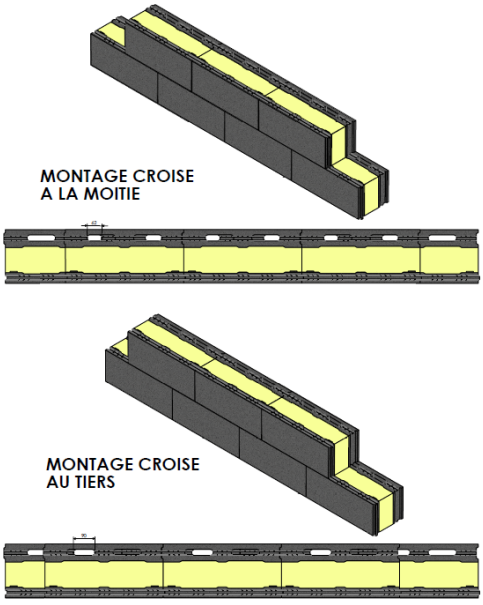
A.2.1. Bloc standard R5

Le bloc standard est constitué de deux planelles (intérieure et extérieure) en béton de granulats courants préalablement assemblées avec 3 liaisons en polyamide chargé fibres de verre et au milieu desquelles est injectée une mousse isolante rigide de la famille des polyuréthanes.

Les faces verticales du bloc standard R5 comportent des emboîtements.

Le bloc standard R5 présente une géométrie générale permettant une bonne préhension.

La planelle intérieure du bloc standard R5 comporte des réservations permettant le passage de gaines électriques lors du montage de la maçonnerie. L'espacement des réservations est calculé pour assurer une continuité verticale pour un harpage régulièrement alterné tous les 2 rangs. La continuité des réservations fonctionne également pour un décalage de 1/3 ou 2/3 de la longueur du bloc.



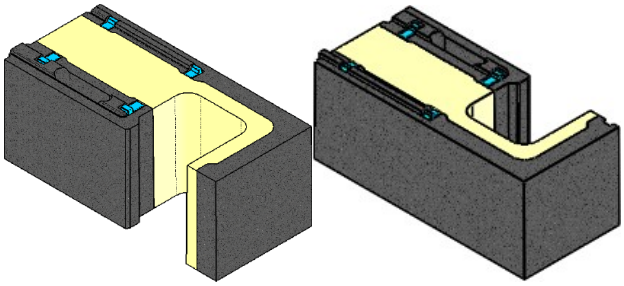
La formulation du béton de granulats courants des planelles est déterminée pour assurer au bloc standard R5 les aptitudes déclarées suivantes (norme NF EN 771-3) :

Elément	Classe de résistance à la compression déclarée
Bloc standard R5	B80

La résistance thermique d'une paroi réalisée en blocs standards R5 avec joints verticaux secs, nue de toute revêtement ou isolation complémentaire, est de 5,06 m2.K/W, conformément à la consultation technologique CERIB n° 2117/17.

A.2.2. Blocs accessoires R5

A.2.2.1. Bloc d'angle sortant R5

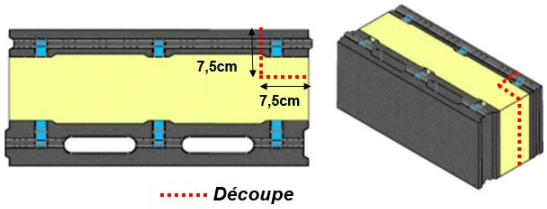


Le bloc d'angle R5 dispose d'un about fermé. Il est destiné à être employé pour la réalisation des angles courants saillants à 90° des parois à maçonner ainsi que des tableaux pour le calfeutrement des menuiseries.

Il se décline en une configuration « gauche » et une configuration « droite », le bloc étant ouvert sur son extrémité soit à gauche, soit à droite (bloc « droit » à gauche sur la représentation ci-dessus).

Cette double configuration permet d'alterner la pose dans le moellonage, le système R5 n'étant pas symétrique du fait de son système d'emboîtement vertical et de la différence d'épaisseur des deux planelles constitutives.

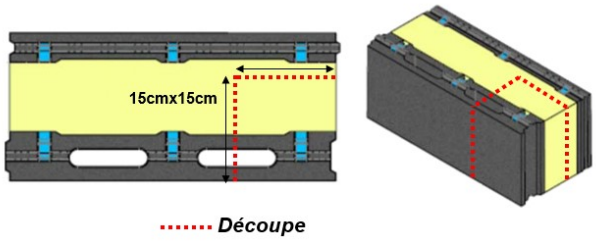
A.2.2.2. Bloc d'angle rentrant R5



Le bloc d'angle rentrant R5 est destiné à être employé pour les angles courants rentrants à 270° des parois à maçonner.

Il est obtenu par découpe de bloc standard R5. Le sciage des blocs R5 doit s'effectuer de manière privilégiée avec une scie sur table et disque diamant.

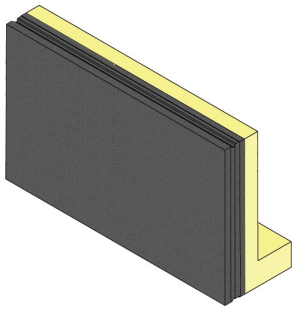
A.2.2.3. Bloc poteau R5



Le bloc poteau R5 est destiné à la réalisation des chaînages verticaux.

Il est obtenu par découpe de bloc standard R5. Le sciage des blocs R5 doit s'effectuer de manière privilégiée avec une scie sur table et disque diamant.

A.2.2.4. Planelle de rive R5

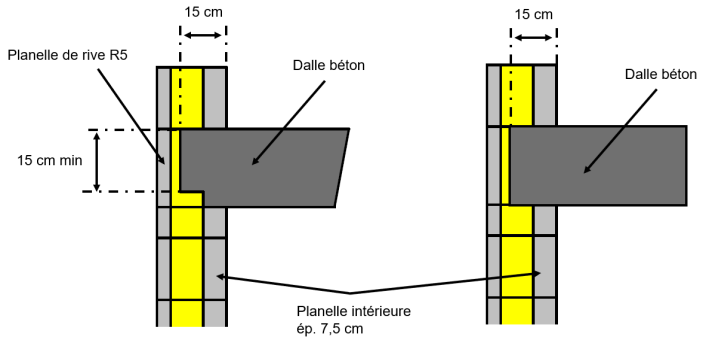


La planelle de rive R5 sert au coffrage des rives de plancher.

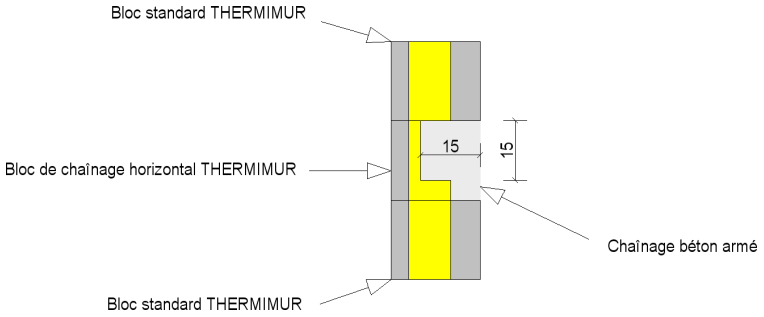
Elle est constituée d'une planelle extérieure en béton associée à un isolant de même nature que celui du bloc standard R5. La largeur de cet isolant est réduite mais efficace en tant que rupteur thermique.

La planelle de rive R5 permet aussi la réalisation de chaînages horizontaux conformément au NF DTU 20.1. Dans ce cas, seule la hauteur change. En effet, la planelle de rive R5 est d'une hauteur variable en standard de 15 cm à 25 cm. Cela permet de s'adapter aux différentes épaisseurs de plancher.

Selon les cas d'usages, notamment pour la pose de certaines poutrelles béton pour plancher type poutrelles / hourdis, la coupe de la forme en L de la mousse peut être nécessaire. Dans ce cas, un étayage correct en rive sera mis en place avant coulage du béton.



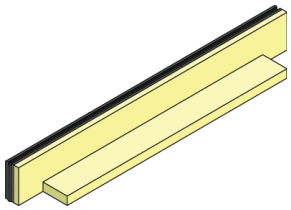
Avec une hauteur de 20 cm, la planelle de rive R5 permettra la réalisation des chaînages horizontaux. L'ensemble du L dégage une réservation dimensionnelle de 15cm x 15cm permettant le coulage d'un chaînage béton armé valide en zone sismique.



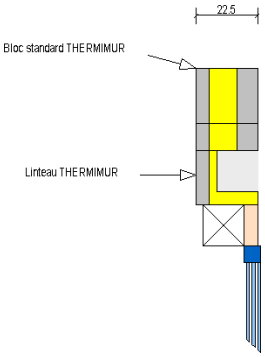
La planelle de rive R5 peut être produite dans toutes les longueurs demandées jusqu'à 165 cm.

Enfin, elle peut être utilisée en zones non sismique et sismique.

A.2.2.6. Linteau R5



La structure du linteau R5 est calquée sur celle de la planelle de rive R5. Cependant, l'isolant en sous-face est d'une largeur de 18 cm conférant au linteau R5 une largeur totale en sous-face de 22,5 cm, soit la même largeur enveloppe que celle du bloc standard R5.



Le linteau R5 peut être produit dans toutes les longueurs demandées jusqu'à 165 cm.

Le linteau R5 est employé dans le cas d'utilisation de coffres de volets roulants.

A.2.3. Mortier de montage

La pose collée des blocs du système R5 de la société THERMIMUR (montage à joints minces) peut être réalisée avec les mortiers colle ci-après :

- mortier-colle VPI
- mortier-colle WEBER

La compatibilité bloc / mortier a été étudiée par essai de temps ouvert par adhérence par la société VPI.

Le mortier-colle est livré sous forme sèche poudreuse et est formé sur chantier simplement par ajout d'eau et malaxage. Une fois constitué, le mortier colle est appliqué en cordons réguliers sur les parties béton des blocs R5 à l'aide, au choix, d'une truelle, d'un applicateur manuel spécifique *(rouleau applicateur en cour de développement)* ou d'un pistolet à colle électrique.
L'utilisateur réalisera les joints verticaux de la même manière que les joints horizontaux.

A.2.4. Armatures

Les armatures utilisées dans le système R5 (angles, tableau, chaînage, linteau) sont les aciers du commerce (ronds à bétons et chaînages) à dimensionner par l'utilisateur conformément aux prescriptions du NF DTU 20.1 ainsi que les Eurocodes 6 et 8.

Des exemples de mise en œuvre avec le système R5 sont présentés en fin de document.

A.2.5. Cœur isolant

Les blocs du système R5 sont constitués à cœur d'une mousse rigide de la famille des polyuréthanes.

Obtenue par le mélange de deux réactifs, cette mousse de polyuréthane surdosée en durcisseur peut s'apparenter à une mousse de polyisocyanurate (PIR).

De moyenne / haute densité (+/- 45 kg/m^3), cette mousse assure les performances thermiques du système R5.

Elle est ignifugée (EUROCLASSE NF EN 92501) et est expansée grâce à des agents physiques de type HFO (agents gonflants physiques de 4ème et dernière génération).
Les HFO, le respect d'une densité injectée minimale, ainsi que les conditions de pression et de température de mise en œuvre participent aux performances thermiques et à la stabilité dimensionnelle de cette mousse.

A.2.6. Liaisons en polyamide chargé fibre de verre

Avant injection de la mousse entre les deux planelles de béton, les planelles du système constructif R5 sont préassemblés avec des liaisons en polyamide chargé fibre de verre.

Ces liaisons ont deux fonctions :

- Mise et maintien en position des planelles de béton lors de l'assemblage
- Résistance mécanique du bloc en solidarisant avec la mousse les deux planelles

A.3. Fabrication - Contrôles

A.3.1. Fabrication des blocs R5

Les blocs standards R5, les blocs d'angles sortants et rentrants R5 sont obtenus par préfabrication des planelles béton dans une première étape, leur rectification dans une seconde étape, l'assemblage des planelles intérieure et extérieure entre elles par liaisons polyamide chargé fibre de verre dans une troisième étape, l'injection de la mousse isolante dans une quatrième et dernière étape.

Les planelles de rive R5 et les linteaux R5 sont obtenus par préfabrication de la planelle béton dans une première étape et mise en forme de la partie isolante sur cette planelle dans une seconde et dernière étape.

A ce jour :
- les blocs R5 sont assemblés dans l'usine THERMIMUR de Meyzieu (69)
- les planelles sont fabriquées de manière classique par ÉTABLISSEMENT COTTIN (74), BÉTON DU PIC D'ANDAN (12) et GROUPE CHAVIGNY.
- les liaisons polyamide chargé fibre de verre sont fabriquées par TBI GROUPE (01)
- les sous-produits de la mousse de polyuréthane sont fabriqués par PLIXXENT (Pays-Bas)

A.3.2. Tolérances dimensionnelles

Les tolérances dimensionnelles sur les planelles constitutives de tous les blocs R5 sont conformes à la norme NF EN 771-3/CN "Spécifications pour éléments de maçonnerie ; partie 3 : Eléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)", correspondant à la catégorie de tolérances D3 des blocs à enduire à coller.
Les tolérances dimensionnelles sur les liaisons en polyamide chargé fibre de verre sont de +/- 0,5 mm.

Les tolérances dimensionnelles sur la mousse isolante sont de +/-0,5 mm.

Les tolérances dimensionnelles pour chacun des blocs R5 finis, mesurées selon la NF EN 771-3 sont les suivantes :

Longueur	+1 mm / - 3 mm
Largeur *(moule de largeur fixe)*	+1 mm / - 1 mm
Hauteur	+1,5 mm / - 1,5 mm

Le système R5 relève donc de la catégorie D3 au sens de la NF EN 771-3/CN.

A.3.3. Résistance à la compression

La résistance à la compression des blocs R5 doit correspondre à la classe de résistance B80 au sens de la norme NF EN 771-3/CN.

A.3.4. Masse volumique

La masse volumique sèche du béton des blocs R5, mesurée selon la norme NF EN 772-13, est de 1950 kg/m^3.

La masse volumique sèche de la mousse isolante est de 42 à 47 kg/m^3.

La liaison en polyamide chargé fibre de verre étant de faible masse, tous les blocs de la gamme R5 répondent ainsi à la norme NF EN 772-13 en étant de densité globale inférieure ou égale à 1950 kg/m^3.

A.3.5. Contrôle sur produits finis

La matière première reçue est contrôlée en interne par les différents fournisseurs : planelles de béton *(COTTIN, Béton du Pic d'Andan, CHAVIGNY)*, liaisons en polyamide chargé fibre de verre *(TBI GROUPE)*, sous-produits mousse isolante *(PLIXXENT)*.

Des procédures de contrôle qualité ont été mises en place à l'usine de Meyzieu pour assurer la bonne qualité des produits finis tel que résumé ci-après :

Opération	Type de contrôle	Fréquence
Contrôle moules injection	Dimensionnel / Géométrique	Hebdomadaire
Contrôle mousse	Quantité injectée	Hebdomadaire
Contrôle mousse	Echantillon témoin	Hebdomadaire
Contrôle mousse	Pressions de la tête de mélange	Quotidienne
Contrôle pré-injection	Humidité en surface des planelles	Quotidienne
Contrôle pré-injection	Température des planelles	Toutes les 4h
Contrôle pré-injection	Température des fonds de moules	Toutes les 4h
Contrôle démoulage	Visuel	Systématique

Contrôle bloc fini	Dimensionnel / Géométrique	Toutes les 4h
Suivi des blocs finis	Étiquetage : type bloc, date fabrication	Toutes les palettes

Un suivi de la fabrication par tierce partie (QB07 ou équivalent) est envisagé. En fonction de cela, un marquage au bloc sera mis en place. *Remarque : Les usines des préfabricants bétons sont NF.*

A.4. Mise en œuvre

A.4.1. Principe général de pose

La mise en œuvre des blocs R5 ne pose pas de problème particulier. Elle doit être effectuée avec le mortier-colle adapté à cet emploi.

La mise en œuvre est réalisée conformément au NF DTU 20.1.

Le moellonage d'une paroi en blocs R5 repose sur un premier rang de blocs calés sur une arase de pose en mortier traditionnel, puis des rangs emboîtés et encollés selon les techniques classiques de pose à joints minces.

La tolérance de pose en maçonnerie, en étant supérieure à 2 mm en hauteur et 2 mm en largeur, permet le rattrapage dimensionnel des blocs THERMIMUR.

Enfin, les blocs de la gamme R5 pèsent moins de 21 kg et peuvent donc être manipulés facilement et en toute sécurité sur le chantier. Les planelles de rive et linteaux de 165 cm de longueur et 20 cm de hauteur pèsent environ 27 kg, leur manipulation à 2 personnes est recommandée.

A.4.1.1. Outillage

L'outillage nécessaire à la bonne mise en œuvre des blocs R5 de la société THERMIMUR comprend les outils traditionnels du maçon (règle, niveau, maillet caoutchouc, truelle langue de chat, spatule crantée, niveau laser, fil à plomb, cordeau) mais aussi les outils nécessaires à la fabrication et à la mise en œuvre de la colle, à savoir :

- de manière privilégiée un malaxeur de type « enduiseuse » pour la fabrication de la colle par ajout d'eau. Ces matériels utilisés dans l'activité du Bâtiment peuvent être équipés d'un wattmètre permettant d'indiquer à l'utilisateur qu'il a atteint le dosage en eau adéquat pour l'obtention de la bonne consistance
- tout applicateur manuel spécifique au système THERMIMUR *(rouleau applicateur en cours de développement)*
- tout pistolet à joint/colle électrique par pompabilité avec une vis sans fin

Le sciage des blocs R5 doit s'effectuer de manière privilégiée avec une scie sur table et disque diamant.

A.4.1.2. Plans de calepinage

La société THERMIMUR est en capacité de produire des plans de calepinage des blocs R5 à partir des plans d'architectes, afin de limiter les découpes et permettre au maçon d'optimiser son temps de pose sur le lieu du chantier.



A.4.1.3. Préparation du support et réalisation du premier rang

Conformément au NF DTU 20.1, avant le démarrage de la pose du premier rang, il convient de vérifier la présence et la conformité des armatures en attente, afin de bien assurer l'ancrage des chaînages verticaux aux fondations. Le recouvrement des armatures des chaînages verticaux et des armatures en attente doit être d'au moins 50 fois le diamètre de l'acier et 60 fois en zone sismique.

L'assise du premier rang est réalisée sur une arase de mortier traditionnel frais réalisé conformément au NF DTU 20.1, et de préférence performanciel. Un soin tout particulier doit être apporté à la réalisation de cette couche d'arase car elle conditionne la bonne mise en œuvre du système constructif R5.



Après étalement du mortier, celui-ci doit être parfaitement réglé de niveau avec une règle et des platines de réglage. Cette arase peut être hydrofugée afin de créer une coupure de capillarité (ce type de coupure de capillarité est obligatoire en zone sismique, bande bitumeuse interdite).

Il s'agit de débuter le premier rang en commençant par la pose des blocs d'angles R5, en ajustant ces derniers à l'aide du maillet en caoutchouc pour asseoir le niveau.
Les blocs standards R5 sont ensuite posés en démarrant depuis ces blocs d'angles.
Il est conseillé d'encoller la surface latérale des blocs d'angles avec les blocs standards directement en contact pour une meilleure rigidité des angles des parois.

A.4.1.4. Montage en partie courante

Les blocs du système R5 sont mis en œuvre manuellement, sans outil de manutention spécifique.

Le mortier colle employé est le mortier-colle défini en **A.2.3.** Il doit être étalé sur une surface propre et dépoussiérée. Le gâchage de ce mortier colle est réalisé par mélange avec de l'eau et malaxage. Les dosages en eau sont indiqués sur les sacs de conditionnement du mortier colle.

Le mortier-colle est ensuite appliqué sur les parties en béton des blocs R5.

Pour une dépose en cordons continus et réguliers de juste quantité, un pistolet applicateur électrique ou un applicateur manuel spécifique peut être mis à disposition. La pose du bloc du dessus génère la dispersion du mortier colle sur l'ensemble de la surface de contact pour une épaisseur ainsi obtenue d'un joint fini de l'ordre de 1 à 3 mm d'épaisseur.

Lorsque nécessaire, des coupes verticales peuvent être réalisées, par sciage sur table et disque diamant. On perdra cependant localement sur la hauteur de ces blocs coupés la continuité des réservations des planelles intérieures, à moins que le bloc coupé soit de longueur 1/3 ou 2/3 de la longueur de base.
Le bloc standard R5 conserve sa cohésion quelle que soit sa largeur de découpe, grâce à la qualité de l'adhérence béton / mousse isolante. Ces coupes doivent être encollées systématiquement verticalement, à l'avancement.

La découpe horizontale des blocs THERMIMUR (dans la hauteur) reste aisée avec la scie sur table et la cohésion du bloc scié est également assurée. Toutefois, on perd ainsi les emboîtements mâles et femelles de sous-face ou surface du bloc.

A.4.1.5. Réalisation des joints verticaux

Les joints verticaux sont laissés secs en zone non sismique, et sont collés en zone sismique ou pour assurer une meilleure imperméabilisation de la façade.

Si les joints verticaux sont collés, ils le sont impérativement à l'avancement.

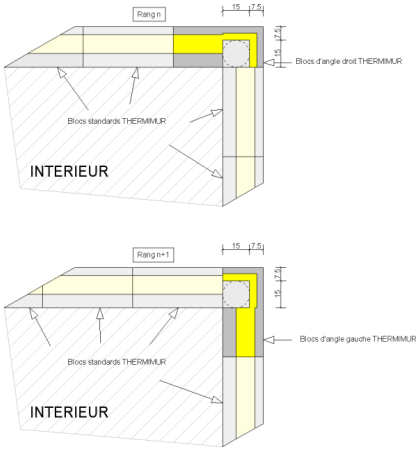
Les chants verticaux des blocs sont collés sur une surface de plus de 40 % de la surface totale verticale du bloc et sont donc considérés comme remplis au sens de la norme NF EN 1996-1-1.

A.4.2. Réalisation des points singuliers

A.4.2.1. Réalisation des angles sortants à 90°

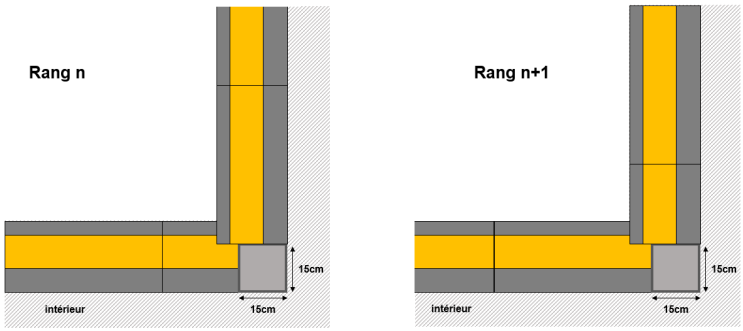
Le bloc d'angle sortant R5 gauche ou droit dispose d'une réservation de section 15 x 15 cm qui permet la réalisation des chaînages verticaux en zones sismiques ou non. L'harpage vertical des blocs d'angles

sortant R5 s'effectue en disposant les blocs gauches et droits alternativement dans un sens puis dans l'autre.



A.4.2.2. Réalisation des angles rentrants à 270°

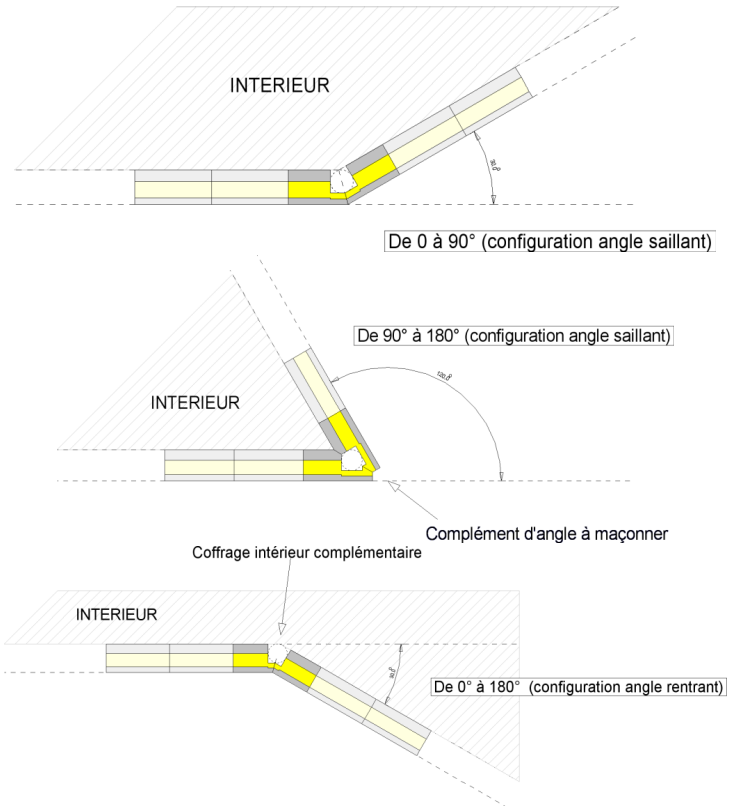
Les angles rentrants à 270° sont réalisés de la même manière à l'aide des blocs d'angles rentrants R5, alternés en rangs montants « Angle Rentrant R5 » / « Bloc Standard R5 ».



A.4.2.3. Réalisation des angles différents de 90° et 270°

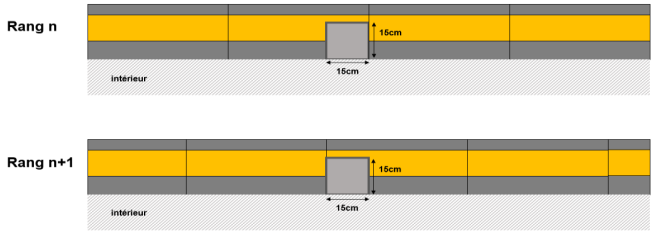
Les angles de murs édifiés avec le système constructif R5 de la société THERMIMUR sont effectués, hors le cas des angles à 90° et 270°, grâce aux blocs standards R5.

Il s'agit de couper à onglet les blocs standards R5 selon l'angle souhaité. Ainsi, selon la configuration de l'angle, une opération simple de maçonnerie traditionnelle de coffrage complémentaire ou de complément d'angle sera à effectuer par l'opérateur.



A.4.2.4. Réalisation des chaînages verticaux

Dans le cadre de la rigidification des longueurs de pans de murs, conformément au NF DTU 20.1, la réalisation des chaînages verticaux s'effectue à l'aide des blocs poteaux R5.



A.4.2.5. Réalisation des pignons

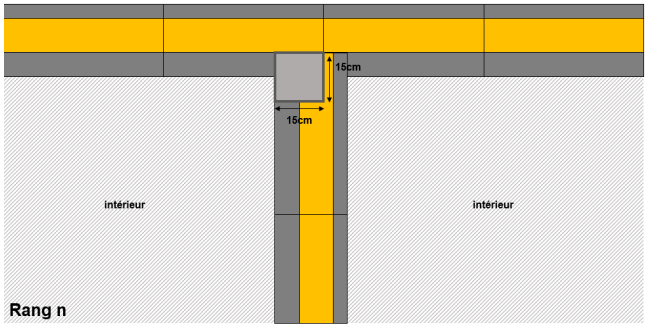
Le chaînage des pignons est réalisé soit avec du béton armé coffré conformément au NF DTU 20.1, soit avec la planelle de rive R5. Ce bloc peut être employé en zone sismique.

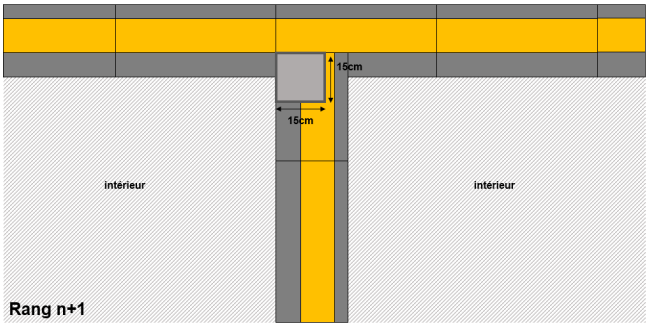
A.4.2.6. Jonctions entre murs de façades R5 et murs de refends R5

Le procédé R5 peut être utilisé pour la réalisation de murs de refends. Cette configuration avec un mur intérieur en système R5 peut être rencontrée pour séparer 2 appartements, 1 appartement avec un garage, etc.

Deux cas sont possibles dans le cas d'une jonction R5 façade-refend.

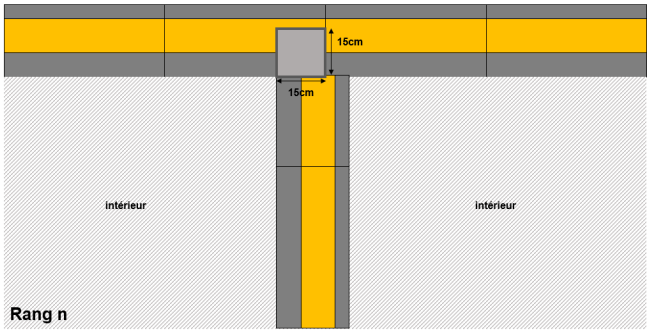
En zone non sismique, le mur de refend est juxtaposé au mur de façade en ayant préalablement découpé la planelle intérieure au croisement. La juxtaposition se fait à l'aide de blocs poteau R5, montés en alternance dans la hauteur en longueurs 50 cm et 33 cm pour assurer le croisement des blocs standards R5 dans le mur de refend.

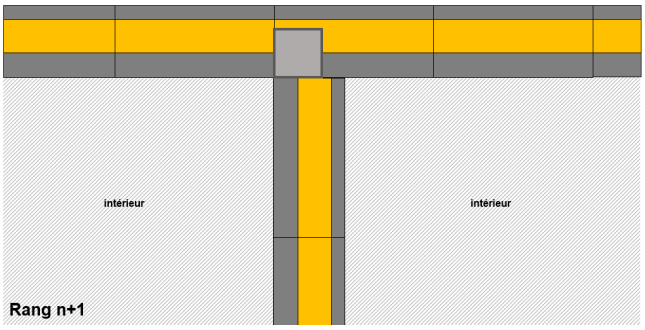


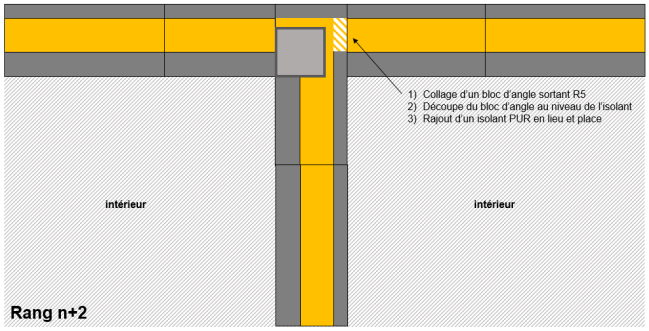


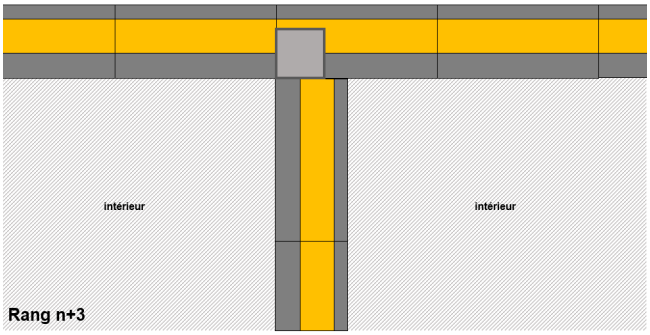
Les ponts thermiques sont minimisés et il n'y a pas besoin d'apport d'isolant complémentaire.

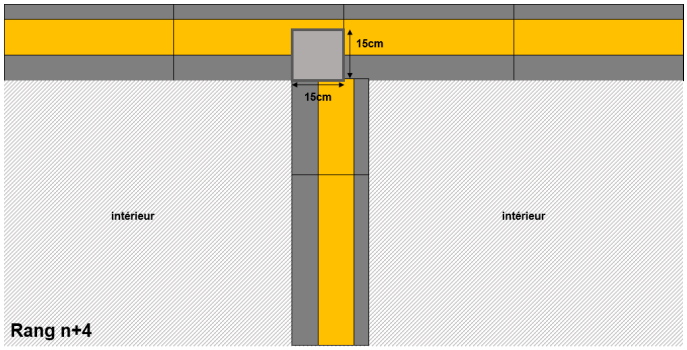
En zone sismique et lorsqu'un contreventement est nécessaire, on recourt à des blocs poteau R5 pour le mur de façade et à des blocs d'angle sortant R5 pour le mur de refend. Le principe d'imbrication est tel que représenté ci-dessous.

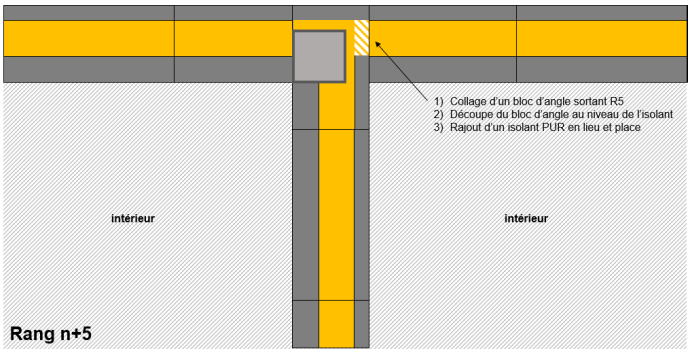





1) Collage d'un bloc d'angle sortant R5
2) Découpe du bloc d'angle au niveau de l'isolant
3) Rajout d'un isolant PUR en lieu et place
intérieur
intérieur
Rang n+2


intérieur
intérieur
Rang n+3


15cm
15cm
intérieur
intérieur
Rang n+4



Une opération de sciage partiel vertical de la planelle extérieure des blocs d'angle R5 est nécessaire pour la gestion des ponts thermiques. Cette opération a lieu tous les 3 rangs. La planelle est découpée manuellement par l'opérateur à l'aide d'outils traditionnels de maçonnerie ou éventuellement en usine sur demande de l'utilisateur.
La partie de béton retirée doit être remplacée par un isolant de même résistance thermique que l'isolant utilisé pour les blocs R5. THERMIMUR pourra fournir ce type d'isolant sur demande.

L'imbrication du mur de refend au mur de façade est ainsi constituée par un chaînage vertical béton armé classique de 15cm x 15cm.

A.4.2.7. Jonctions entre murs de façades R5 et murs de refends non-R5

La réalisation d'un mur de refend par un procédé de maçonnerie d'un système non- R5 peut se faire également avec un mur de façade R5 selon des dispositions similaires à celles décrites au précédent **paragraphe A.4.2.6.**

Si le mur de refend est un mur assemblé par blocs de maçonnerie (agglomérés de béton, briques, blocs de béton cellulaire, etc.), il s'agira de gérer la différence de hauteur du bloc employé avec celle du système THERMIMUR, soit 20 cm, dans l'élévation des rangs.

En zone sismique, dans toutes les typologies de murs de refends autres qu'en système R5, il s'agira de conférer au mur de refend une liaison mécanique avec le chaînage vertical du mur de façade R5 formé par les blocs de poteau R5. La nature des liaisons seront établies par les bureaux d'études structures, selon le système de mur de refend.

A.4.2.8. Jonction entre murs de façade R5 et planchers

Le système R5 de la société THERMIMUR pourra s'employer avec des planchers en béton de type poutrelles / hourdis.

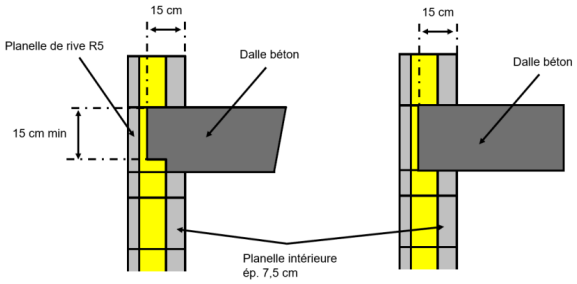
Les armatures de chaînage sont disposées telles que défini en **A.2.2.5.**

Les poutrelles en béton sont ensuite posées en appui sur la planelle intérieure de la façade R5 (7,5 cm d'épaisseur) et les premiers entrevous posés avant mise en sécurité par étayage en rive.

Le reste des entrevous est ensuite réparti et les aciers de liaisons mis en place avant coulage du béton.

Le système R5 pourra également s'employer avec des planchers en dalle pleine soit avec réalisation d'un chaînage tel que défini auparavant + ferraillage nappe inférieure, soit avec nappe inférieure et nappe supérieure.

En effet, le passage des aciers et ainsi que des poutrelles est possible grâce à la réservation suffisante de la planelle de rive dans les deux configurations ci-contre :



La capacité d'emploi devra être justifiée par un dimensionnement délivré par un bureau d'étude suivant les résultats expérimentaux fournis en annexe, les règles Eurocodes 6 et 8 ainsi que le NF DTU 20.1.

A.4.2.9. Jonction entre murs de façade R5 et toiture

La réalisation de la jonction murs de façade R5 et toiture ne pose pas de problématique particulière dans le sens où sera privilégiée la réalisation d'une arase en béton armé avant pose de la toiture.

La réalisation d'une isolation horizontale permettra de minimiser le pont thermique créé par cette arase.

La capacité d'emploi devra être justifiée par un dimensionnement délivré par un bureau d'étude suivant les résultats expérimentaux rappelés au § B, les règles Eurocodes 6 et 8 ainsi que le NF DTU 20.1.

A.4.2.10. Réalisation des ouvertures

⇒ Réalisation des baies

Le principe de réalisation d'une baie en système R5 de la société THERMIMUR est décrit dans le § E.1.

Les tableaux de baies sont réalisés en utilisant les blocs d'angle R5. Les ponts thermiques sont donc minimisés au niveau des jambages.

Les blocs poteaux sont employés à l'aplomb dans les rangs inférieurs (sous les fenêtres notamment) lorsqu'il s'agit de prolonger la liaison de l'encadrement béton armé à la structure porteuse du mur (fondation, plancher inférieur).

La structure béton armé d'encadrement des ouvertures est assurée horizontalement en partie sous appui de fenêtre grâce aux blocs chaînages R5 et en partie linteau grâce aux linteaux R5.

⇒ Réalisation des linteaux

La forme du linteau R5, par son évidement de la partie horizontale de l'isolant (vide de 15 cm x 15 cm sur chaque bord) permet une pose de ce dernier sur les blocs d'angle R5, isolant contre isolant et également une continuité de l'encadrement béton armé 15cm x 15cm.

En phase d'exécution, le linteau R5 doit être étayé sur une solive en bois de 5cm d'épaisseur, tenue par étais espacés tous les 50 cm. Le coffrage côté intérieur du linteau, pour le remplissage du béton, s'effectue de manière classique.

Une fois décoffré, le linteau R5 est structurellement tenu par la poutre formée au coulage, elle-même solidarisée à la structure béton apportée par les blocs d'angle R5.

Au-dessus du linteau R5, des blocs standards R5 peuvent être sciés horizontalement afin de « rattraper » la hauteur de rang.

⇒ Réalisation des appuis de fenêtre

Les blocs R5 présentent une largeur d'appui suffisante pour un appui coffré coulé en place ou un appui en béton préfabriqué du commerce, soit 15 cm (4,5 cm+10,5 cm).

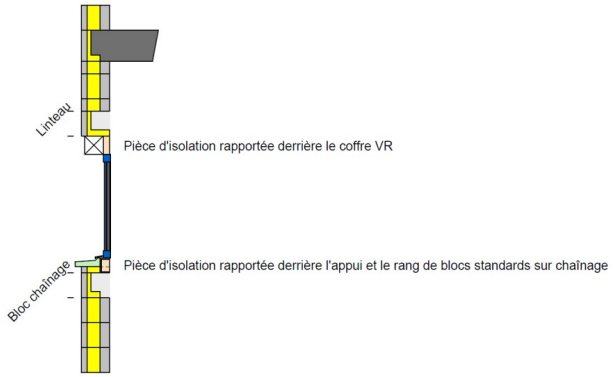
L'appui de fenêtre est posé dans la largeur de la baie au démarrage de l'isolant sur le rang inférieur, ceci afin de minimiser le pont thermique béton/béton.

Sur le rang inférieur, la planelle isolante est retirée par l'utilisateur (opération simple de maçonnerie par ciseau et massette), et une pièce d'isolation rapportée (à charge du menuisier) derrière l'appui vient compléter géométriquement l'espace au nu intérieur du mur de façade. Cette pièce d'isolation est fixée

mécaniquement par le menuisier dans le chaînage béton armé sur lequel elle repose ; elle est un « U » de serrurerie, recevant par suite en son creux un isolant complémentaire.

Éventuellement, un joint de silicone de faible épaisseur ou un compribande peut être déposé sous toute la longueur de la pièce rapportée afin d'avoir un contact continu avec le chaînage béton armé.

L'étanchéité des menuiseries est réalisée conformément au NF DTU 36.5.



⇒ Réalisation du précadre

Deux pièces métalliques en U asymétriques sont mises en place de part et d'autre du tableau. Elles sont ajustées grâce à des entretoises éventuelles de calage, et fixées mécaniquement aux jambages coulés auparavant.

Il s'agit de bien fixer ces pièces au-delà de la mousse isolante des blocs d'angle R5 formant le jambage, pour atteindre la partie béton armée verticale de la baie.

Une autre pièce métallique en U asymétrique est mise en place au niveau du linteau. Elle est ajustée en hauteur par rapport à la pièce d'appui et est fixée mécaniquement sur le linteau coulé.

L'étanchéité des menuiseries est réalisée conformément au NF DTU 36.5.

⇒ Type de pose des menuiseries

Le type de pose des menuiseries est dit « en tunnel ».
La menuiserie repose en partie appui sur le profil en U de rupture de pont thermique, lui-même solidaire du chaînage horizontal en béton armé.

Elle est fixée en tableau sur le précadre vertical, lui-même solidaire des raidisseurs béton armé des jambages, et sur la pièce métallique du linteau.

L'étanchéité des menuiseries est réalisée conformément au NF DTU 36.5.

⇒ Incorporation des volets roulants

La pose d'un coffre de volet roulant ne pose pas de problème particulier.

Il s'agit de bien disposer au niveau du coffre, une isolation intégrée ou rapportée au nu du mur de façade.

Le volet roulant est mis en œuvre de manière dite « traditionnelle », autoportée avec une pose en drapeau. Les coulisses sont fixées de face sur les dormants de menuiserie ou en fond de coulisse sur le tableau contre l'isolant ou l'enduit.

L'enroulement du volet se trouve au droit de la pièce mécanique isolée sous le linteau. Une pièce métallique ou coffre est placée sous le linteau afin de protéger et cacher l'enroulement, et de recevoir l'enduit extérieur de façade. L'accessibilité au volet roulant est assurée en sous-face.

⇒ Autres types de pose des menuiseries

D'autres modes de mises en œuvre des menuiseries sont présentés au § E.2.

A.4.3. Murs de soubassements - Murs enterrés

Le procédé R5 de la société THERMIMUR est adapté pour la réalisation des murs de soubassement et des murs enterrés pour la réalisation de vides sanitaires et sous-sols, pour une hauteur maximale de 1 mètre.

La capacité d'emploi devra être justifiée par un dimensionnement délivré par un bureau d'étude suivant les résultats expérimentaux fournis en annexe, les règles Eurocodes 6 et 8 ainsi que le NF DTU 20.1.

Réalisation conformément aux NF DTU 20.1 et NF DTU 26.1.

A.4.4. Mode de fixation d'objets lourds

Les forets utilisés pour percer les parois des blocs R5 de la société THERMIMUR sont des forets à 4 taillants. Il est important d'adapter le diamètre du foret et la vitesse de rotation de la perceuse au béton de granulats courants - constituant le matériau de fixation des blocs R5 - et au type de cheville utilisé.

Les informations concernant les chevilles et plus particulièrement les résistances à la traction et au cisaillement des chevilles dans les blocs béton de granulats courants sont communiquées par le fabricant.

Les gonds des volets battants seront scellés au mortier traditionnel.

A.4.5. Saignées et réservations

Les saignées ne sont pas autorisées dans les blocs R5 de la société THERMIMUR.

Les réservations apportées sur chantier (prises, etc.) sont autorisées au droit des réservations pour gaines électriques formées par les alvéoles des blocs R5, sans dépasser l'épaisseur de 5,5 cm.

A.4.6. Revêtements extérieurs et intérieurs

A.4.6.1. Revêtements extérieurs

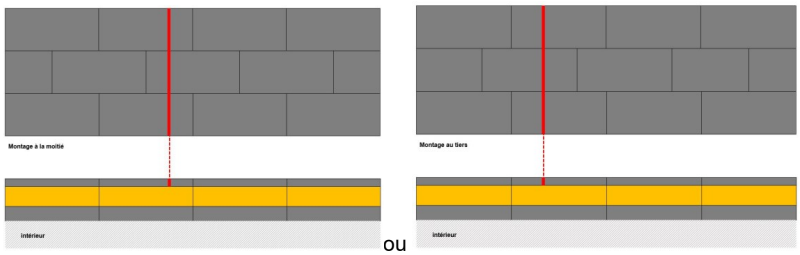
Dans le cas d'une isolation par l'intérieur ou de l'absence d'une isolation rapportée, on emploiera un enduit traditionnel d'imperméabilisation monocouche ou multicouche applicable sur supports de type Rt3, conformément au NF DTU 26.1.

La caractérisation de la classe Rt effectuée par le CERIB (rapport d'essai n° 021618) donne un classement Rt3.
Également, la vérification de la compatibilité enduits / support pour les enduits MONOROC GF et MONOLOR GF de la société VPI a été étudiée par VPI. Enfin, le support étant classé Rt3, les enduits suivants de la société VPI sont aussi compatibles : MONOPASS GF/GM, MONOCAL GF/GM, MONOROC GM.

Le cas d'une isolation par l'extérieur n'est pas visé.

La durabilité des revêtements extérieurs ne pose pas de problématiques particulières étant donné que les mouvements relatifs des planelles extérieures dus à la dilatation thermique des matériaux sont inférieurs aux dimensions des joints de la maçonnerie. Ainsi ces mouvements ne se cumulent pas dans la façade.

Pour conserver une approche sécuritaire, la réalisation d'un renfort d'enduit est préconisée au niveau des points singuliers (ouvertures, angles, planchers). De même, dans le cas d'une façade courante de grande longueur et sans rupture naturelle (ouverture ou angle par exemple), la réalisation d'un joint de dilatation sur mur monté est préconisée tous les 5 mètres, seulement sur la planelle extérieure et tel que :



ou

A.4.6.2. Revêtements intérieurs

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, on emploiera un complexe de doublage plaque de plâtre / isolant ou isolant sur ossature métallique.

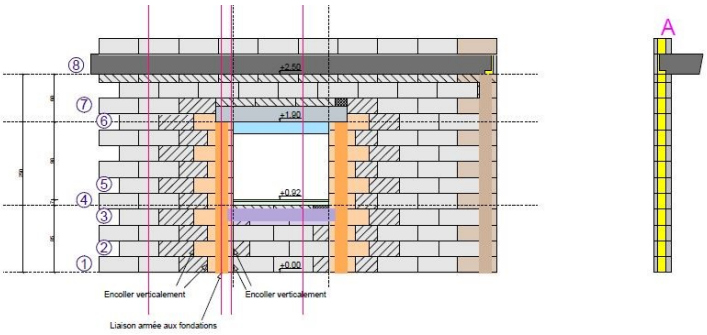
Dans le cas d'absence d'une isolation rapportée, on emploiera un enduit traditionnel au plâtre projeté, ou des plaques de plâtre sur ossature simple. La mise en place d'un pare-vapeur pourra être justifiée par une étude hygrothermique en démontrant la nécessité.

A.4.7. Dimensionnement

A.4.7.1. Schéma mécanique

Le principe de reprise et de transmission des charges est tel que les efforts passent par la planelle intérieure du système R5 :

- Appui des planchers sur la planelle intérieure seule
- Prise des chaînages verticaux et horizontaux sur la planelle intérieure seule



Les essais effectués au CERIB et au CSTB ont été faits en ce sens, donnant ainsi des résultats représentatifs du schéma mécanique ci-dessus.

A.4.7.2. Prescriptions techniques

A.4.7.2.a. Résistance sous charges verticales

A l'état-limite ultime, la valeur de calcul de la charge verticale appliquée par mètre de longueur de mur N_{Ed} (obtenu suivant les normes NF EN 1990 et 1991) doit être inférieure ou égale à la valeur de calcul de résistance aux charges verticales, N_{Rd} donnée par l'expression suivante :

$$N_{Rd} = \frac{\varphi . F_k}{\gamma_M}$$

Avec :

- F_k : Charge caractéristique maximale de la maçonnerie exprimée en kN/ml
- γ_M : coefficient partiel de sécurité sur la résistance de la maçonnerie
- φ : coefficient de réduction pour tenir compte de l'élancement du mur, l'excentricité des charges verticales appliquées et l'effet de fluage pris sur l'épaisseur totale du bloc

Les valeurs de φ à prendre en compte dans le calcul sont indiquées dans le tableau ci-dessous et ont été déterminées à partir de la méthode simplifiée NF EN 1996-3, paragraphe 4.2.2.3) :

Murs intermédiaires servant d'appui en rive aux planchers	φ excentré	0,6
Murs de niveau le plus élevé	φ excentré	0,4

L'élancement des murs extérieurs est limité à 15.

Pour les murs de bâtiments soumis à exigences réglementaires en matière de résistance au feu, la charge verticale N_{Ed} pondérée par le coefficient de réduction η_{fi} doit être inférieure ou égale à la valeur de la charge maximale indiquée dans le Procès-Verbal de classement. On prendra par défaut η_{fi} =0,7. En outre, la hauteur maximale du mur est limitée à la valeur indiquée dans ce Procès-Verbal.

A.4.7.2.b. Contreventement des maçonneries chaînées

Voir le cahier du CSTB N°3719 « Note d'information : Contreventement par murs en maçonnerie de petits éléments ».

La justification de l'aptitude du mur à assurer sa fonction de contreventement passe par les deux vérifications suivantes :

1/ Le non-écrasement de la zone comprimée de la maçonnerie en pied de mur. Cette vérification de non-écrasement s'écrit :

$$\frac{2.\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}.l}.h+1}{l_c.(l-\frac{l_c}{3})}.N_{Ed}.l \leq N_{Rd} = \frac{\varphi.F_k}{\gamma_{M\ sismique}}$$

Avec :

- V_{Ed} : force horizontale appliquées au mur, exprimée en MN
- l et h : respectivement longueur et hauteur du mur en mètres
- l_c : longueur comprimée du mur en mètres (cf §6.2 de l'EN 1996-1-1), et donnée dans le tableau 3 du cahier du CSTB n°3719 rappelé ci-dessous en fonction de la longueur du mur et du rapport $\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}.l}$:

/		Longueur du mur de contreventement (m)					
		1,5	**2**	**2,5**	**3**	**4**	**5**
$\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}.l}$	**0**	1,5	2	2,5	3	4	5
	0,2	0,99	1,59	2,28	3	4	5
	0,4	0,64	0,93	1,32	1,83	3,10	4,53
	0,6	0,54	0,73	0,96	1,25	2,08	3,25
	0,8	0,49	0,64	0,82	1,02	1,54	2,33

Pour des valeurs du rapport $\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}.l}$ comprises entre deux lignes du tableau ci-dessus ou pour des longueurs du mur comprises entre deux colonnes du tableau ci-dessus, il est possible de procéder à une interpolation linéaire pour en déduire la valeur l_c à utiliser.

2/ L'absence de rupture prématurée par cisaillement à l'interface « éléments de maçonnerie / joint horizontal », à vérifier en utilisant le modèle de cisaillement décrit au § 6.2 de l'EN 1996-1.1. La valeur de calcul de la force de cisaillement appliquée V_{Ed} doit être inférieure ou égale à la valeur de la résistance au cisaillement du mur, V_{Rd}, exprimée en MN et donnée par l'expression suivante :

$$V_{Rd} = \frac{t.l_c.f_{vk}}{\gamma_{M\ sismique}} + \sum[A_c].\frac{f_{cvk}}{\gamma_{c\ sismique}}$$

Avec :

- t : l'épaisseur du mur en mètre
- f_{vk} : résistance caractéristique en cisaillement de la maçonnerie en MPa
- l_c : longueur comprimée du mur en mètres
- $\sum[A_c]$: somme des sections de béton des chaînages en mètre carré
- f_{cvk} : résistance caractéristique au cisaillement du béton en MPa
- γ_c : coefficient partiel de sécurité relatif au béton
- f_{vk} : résistance caractéristique au cisaillement de la maçonnerie telle que

$f_{vk} = 0{,}5.f_{vk0} + 0{,}4.\frac{N_{Ed}}{t} \leq 0{,}045.f_b$ pour une maçonnerie posée à joints verticaux secs

$f_{vk} = f_{vk0} + 0{,}4.\frac{N_{Ed}}{t} \leq 0{,}065.f_b$ pour une maçonnerie posée à joints verticaux collés

Avec :

- f_{vk0} : résistance initiale au cisaillement en MPa (voir *A.4.7.2.d.)*
- f_b : résistance moyenne en compression normalisée des éléments en MPa (voir *A.4.7.2.d.)*

Dans le cas de murs montés à joints verticaux secs, le décalage des briques/blocs d'une rangée sur l'autre doit être proche de la demi-longueur de ces derniers. De plus, la longueur minimale du panneau de contreventement doit être égale à $h.\frac{l_b}{2.h_b}$, h étant la hauteur du mur, l_b et h_b étant respectivement la longueur et la hauteur de l'élément de maçonnerie. Les données essentielles nécessaires aux vérifications ci-avant sont récapitulées dans le tableau en *A.4.7.2.d.*

A.4.7.2.c. Contreventement des maçonneries non armées

Voir le cahier du CSTB N°3719 « Note d'information : Contreventement par murs en maçonnerie de petits éléments », §1.3.2.1. Le non–écrasement de la zone comprimée en pied de mur s'écrit :

$$\frac{2.V_{Ed}.h + N_{Ed}.l}{l_c.t.(l - \frac{l_c}{3})} \leq \frac{\varphi.F_k}{\gamma_{M\ sismique}}$$

Avec :

- V_{Ed} : force horizontale appliquée en tête du mur
- N_{Ed} : force verticale appliquée à mi-longueur du mur
- l, h, t : respectivement longueur, hauteur et épaisseur du mur
- l_c : longueur comprimée du mur telle que

$$l_c = \frac{3}{2}l - \frac{3.h.V_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Les données essentielles aux vérifications sont récapitulées dans le tableau en *A.4.7.2.d.*

A.4.7.2.d. Données essentielles aux vérifications

		Bloc R5 standard	Source
Résistance moyenne en compression normalisée des éléments	f_b	8 MPa	Rapport CERIB 014618
Charge caractéristique en compression de la maçonnerie	F_k	224 kN/ml	Valeur caractéristique tirée des essais avec **charge excentrée sur hauteur d'étage**, en configuration dernier étage Rapport CERIB 021778
Résistance initiale en cisaillement	f_{vk0}	0,37 MPa	Rapport CERIB 021170
Résistance caractéristique en cisaillement du béton	f_{cvk}	0,45 MPa	Tableau 3.2 NF EN 1996-1-1+A1
Coefficient partiel de sécurité sur la résistance de la maçonnerie *Utilisation des coefficients de niveau IL2 pour les chantiers présentant un PAQ (plan assurance qualité) contrôlé par le maître d'ouvrage ou son représentant*	γ_M *niveau IL1*	3,3	Pour élément de catégorie II
	γ_M *niveau IL2*	2,8	
	γ_M *niveau IL1*	2,5	Pour élément de catégorie I
	γ_M *niveau IL2*	2	
	γ_M *sismique*	$max\left[1{,}5\ ;\ \frac{2}{3}.\gamma_M\right]$	-
Coefficient partiel de sécurité sur la sécurité du béton	γ_c	1,5	-
	γ_c *sismique*	1,3	-
Module d'élasticité de la maçonnerie	E	6008 MPa	Rapport CERIB 6967
Coefficient de comportement	q	2	Rapport CSTB 19 260080229
Résistances caractéristiques à la flexion	f_{xk1}	0,2 MPa	Valeur tabulée NF EN 1996-1-1/NA justifiée par essais (rapport d'essai n° 021620)
	f_{xk2}	0,3 MPa	Valeur tabulée NF EN 1996-1-1/NA justifiée par essais (rapport d'essai 2016 CERIB 6969)

A.4.7.3. Dispositions parasismiques

Les murs montés à l'aide du procédé peuvent être utilisés pour la réalisation d'éléments structuraux principaux de bâtiments soumis à exigences parasismiques au sens du décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, moyennant le respect des prescriptions de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale NF EN 1998-1/NA, et en particulier

le respect des prescriptions relatives aux maçonneries chaînées (=confinées au sens de la NF EN 1996-1).

Les vérifications au contreventement sont à mener selon le modèle donné en *A.4.7.2.b* et *A.4.7.2.c* ci-avant, en considérant :

- Un coefficient de comportement q de 2
- Un coefficient partiel de sécurité sur la résistance de la maçonnerie de $\frac{2}{3}.\gamma_M$ sans être inférieur à 1,5
- Un coefficient partiel de sécurité sur la résistance de l'acier γ_M égal à 1.

Les blocs accessoires R5 présentent une réservation permettant un chaînage de 15cmx15cm. Conformément à la norme NF EN 1998-1, §9.5.4, en zone sismique la section transversale des armatures longitudinales des chaînages ne doit pas être inférieure à 300 mm² ni représenter moins de 1 % de la section transversale du chaînage.

Il convient de placer les chaînages verticaux si nécessaire à l'intérieur du mur pour que l'espacement entre les chaînages ne dépasse pas 5m (conformément à la norme NF EN 1998-1).

Pour la mise en œuvre en zones sismiques, il convient de respecter les dispositions décrites aux **A.1.1**, **A.2.3**, **A.4.1.3**, **A.4.1.5** et **A.4.2** du présent document pour les diverses situations de montage.

A.5. Assistance technique

La société THERMIMUR apporte une assistance et une formation adaptée aux entreprises qui découvrent le procédé R5. Une attestation sera délivrée et renouvelée annuellement. Un formateur THERMIMUR pourra être dépêché auprès de l'utilisateur, notamment pour le premier jour de montage.

B. Résultats expérimentaux

B.1. Compression sur maçonnerie

Des essais de compression avec charge centrée sur murets ont été réalisés selon la norme NF EN 1052-1 au CERIB, PV n° 6967 2016 :
→ Résistance caractéristique à la compression obtenue : f_k = 2,9 MPa

Des essais de compression avec charge excentrée sur murs grande hauteur en blocs standard R5 ont été réalisés au CERIB, PV n° 014646 :
→ Résistance moyenne à la compression obtenue : F = 316 kN/ml
→ Résistance caractéristique à la compression obtenue : F_k = 263 kN/ml

B.2. Flexion sur maçonnerie

Des essais de flexion sur murets ont été réalisés selon la norme NF EN 1052-2 au CERIB, PV n° 6969 2016 :
→ Résistance caractéristique à la flexion parallèlement aux lits de pose : F_{xk1} = 0,25 N/mm^2
→ Résistance caractéristique à la flexion perpendiculairement aux lits de pose : F_{xk2} = 0,37 N/mm^2

B.3. Cisaillement sur maçonnerie

Des essais de cisaillement ont été réalisés selon la norme NF EN 1052-3 au CERIB, PV n° 021170 :
→ Résistance caractéristique au cisaillement : F_{vk0} = 0,37 MPa

B.3. Réaction au feu

Des essais de réaction au feu ont été réalisés selon la norme NF P 92-501:1995 au CSTB, PV n° RA19-0254 :
→ Classement obtenu : M1

B.4. Résistance au feu

Des essais de résistance au feu ont été réalisés au CERIB, PV n° 6804 2016 :
→ Classements obtenus : RE 120 et REI 120 pour une hauteur maximale de 3 m (sans chaînage intermédiaire), face intérieure exposée au feu revêtue d'un placoplâtre de 13 mm avec enduit OC3 d'épaisseur 18 mm (chargement 136 kN/ml)

B.5. Thermique

Consultation technologique n°2117/16 au CERIB :
→ Résistance thermique pour une paroi maçonnée en blocs R5 : R = 5,06 m².K/W

B.6. Acoustique

Les essais qualitatifs et quantitatifs acoustiques du système R5 de la société THERMIMUR seront réalisés sur les chantiers exploités sous ATEx.

B.7. Etanchéité à l'air

Les essais qualitatifs et quantitatifs d'étanchéité à l'air du système R5 de la société THERMIMUR seront réalisés sur les chantiers exploités sous ATEx. Toutefois, un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre de manière traditionnelle derrière l'isolation rapportée de la menuiserie extérieure.

B.8. Essai au contreventement

Des essais de contreventement ont été réalisés au CSTB, rapport n° 19 260080229 :

N° de train de cycle	Déplacement ciblé	Force		Déplacement en tête	
		kN		mm	
	mm	Min	Max	Min (D8)	Max (D1)
1	± 1	-73,33	75,90	0,03	0,25
2	± 2	-144,20	128,91	0,12	0,36
3	± 4	-249,85	205,90	0,53	0,58
4	± 6	**-307,89**	242,25	1,36	2,03
5	± 8	-273,83	240,42	3,90	3,43
6	± 10	-290,59	**246,73**	6,34	5,24
7	± 12	-198,94	213,96	12,59	12,68
8	± 15	-166,17	218,81	18,17	15,94
9	± 20	-144,74	237,67	25,46	24,27

Les essais de contreventement ayant été fait avec la mousse, il conviendra d'appliquer à ces valeurs d'essai un coefficient d'abattement correspondant au coefficient d'abattement observé avec les essais de compression grande hauteur avec et sans mousse, soit un coefficient de 1,18.

B.9. Durabilité

Les blocs R5 sont constitués de deux planelles en béton, d'un cœur de mousse isolante en polyuréthane (PU) et de liaisons polyamide chargée fibre de verre.

La bibliographie présente des sources concernant la tenue dans le temps de la mousse PU :

→ Agrément technique de l'UBAtc concernant une colle PU pour système maçonné
→ Etude de plaques de PU sur chantier de plusieurs dizaines d'années

Afin de lever les doutes concernant la durabilité du système constructif R5, les travaux suivants ont été menés.

Des essais de compression avec charge excentrée sur murs grande hauteur en blocs standard R5 **sans cœur isolant** ont été réalisés au CERIB, PV n° 021778 :
→ Résistance moyenne à la compression obtenue : F = 268 kN/ml
→ Résistance caractéristique à la compression obtenue : F_k = 223 kN/ml

Des essais de flexion parallèle aux lits de pose sur murets en blocs standard R5 **sans cœur isolant** ont été réalisés au CERIB, PV n° 021620 :
→ Résistance caractéristique à la flexion parallèlement aux lits de pose : F_{xk1} = 0,21 N/mm^2

Pour des raisons de faisabilité de mise en œuvre des corps d'épreuves, ces essais ont été réalisés avec les liaisons polyamide chargé fibre de verre. La durabilité de ces liaisons, protégées par la mousse de polyuréthane peut être justifiée par les éléments suivants :
→ **Rapport d'essai n° 014737** : Essais de traction des liaisons dans les planelles sans mousse
→ **Etude théorique** : Etude de validation de durée de vie de la liaison plastique Thermimur
→Essai classique en plasturgie équivalence temps / température du matériau

C. Références

C.1. Données environnementales

Les données issues des Déclarations Environnementales (DE) ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés. Le procédé THERMIMUR ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale et il ne lui est donc imposé aucune performance environnementale particulière.

La constitution d'une FDES sera réalisée prochainement.

C.2. Références chantiers tests

Le système constructif R5 de la société THERMIMUR a été éprouvé à l'usage à l'occasion de trois chantiers tests réalisés sous conditions d'assurances particulières.

C.1.1. 1er chantier

Type de construction : RDC + mezzanine, atelier technique
Localisation et date de construction : Vaulx-en-Velin, avril 2019
Maîtrise d'ouvrage : Les Menuiseries du Rhône
Surface maçonnée : 235 m^2

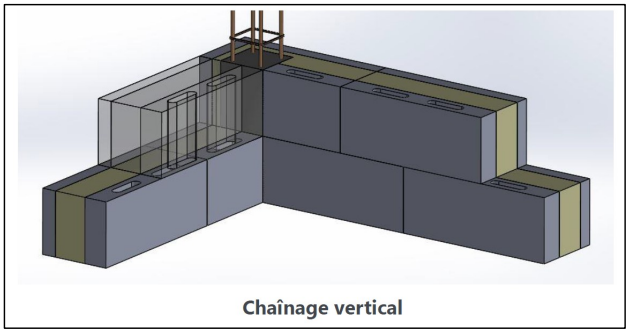
C.1.2. 2ème chantier

Type de construction : RDC, bureaux
Localisation et date de construction : Bourgoin-Jallieu, février 2019
Maîtrise d'ouvrage : Century 21
Surface maçonnée : 300 m^2

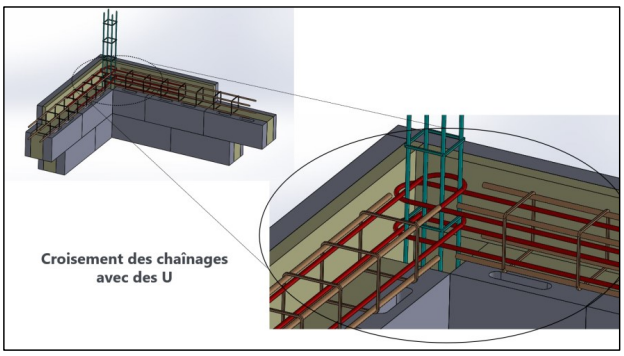
C.1.3. 3ème chantier

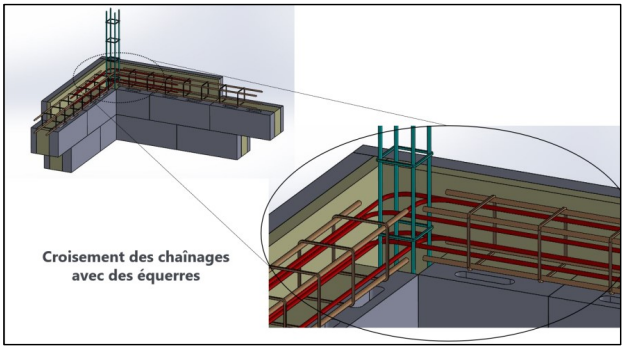
Type de construction : R+1, maison individuelle
Localisation et date de construction : Castelnau-Le-Lez, décembre 2020
Maîtrise d'ouvrage : M. NOE
Surface maçonnée : 440 m^2

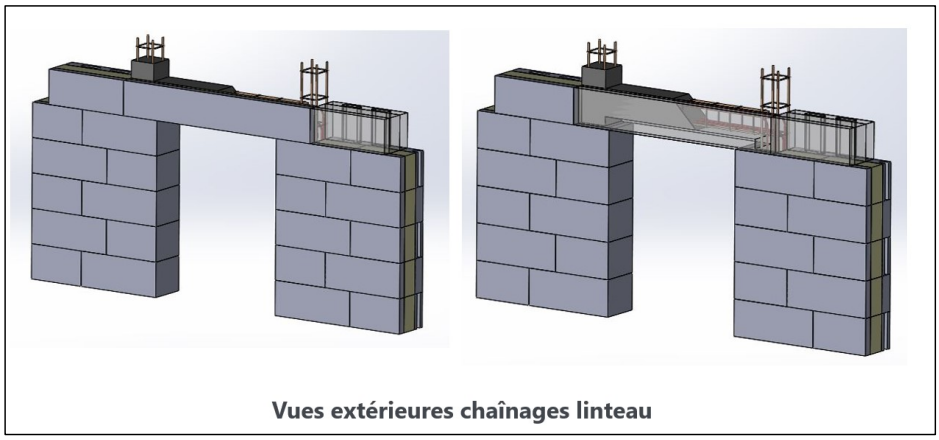
D. Exemples de réalisation des chaînages



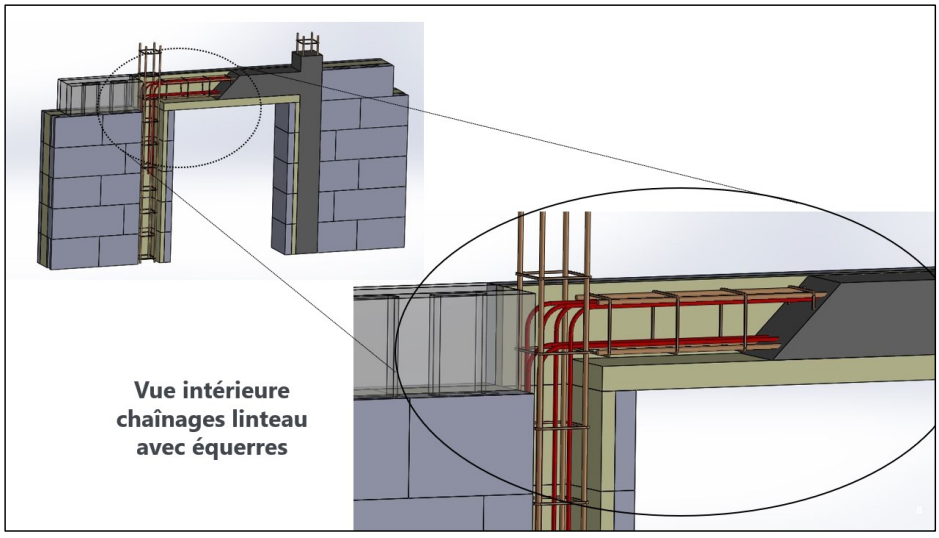
Chaînage vertical







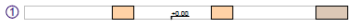
Vues extérieures chaînages linteau



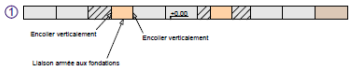
E. Détail de réalisation des ouvertures

E.1 Principe de réalisation de baie

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
Siège social › 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – Siret 775 688 229 00027 – www.cstb.fr
Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS



Mortier d'arase / Pose des blocs d'angles et des blocs de fenêtres



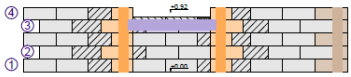
Complément en blocs standards par sciage vertical



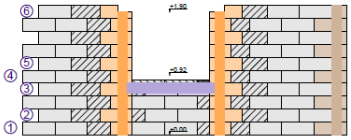
Alternance des blocs



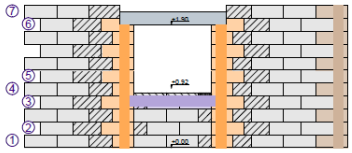
Blocs de chaînages horizontaux et ceinturage BA



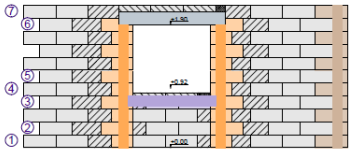
Rectification sous appui par sciage horizontal et vertical



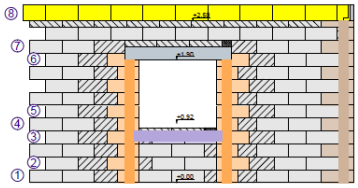
Moellonage sous linteau et découpe en coin des blocs de fenêtres



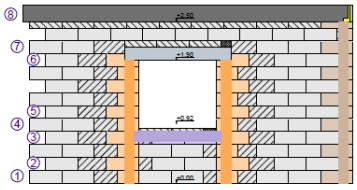
Linteau et liaisonnement BA



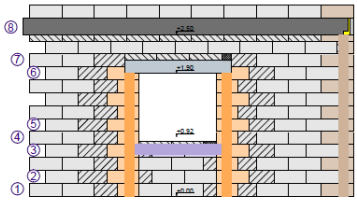
Complément sur linteau par sciage horizontal et vertical



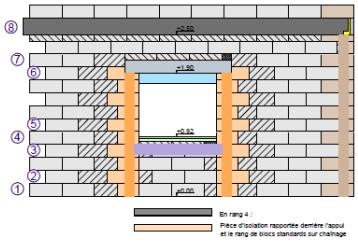
Moellonage jusqu'en sous-face de dalle par sciage horizontal et vertical et planelles
Idéalement utilisation des blocs d'arase standards et blocs d'arase d'angles



Dalle BA



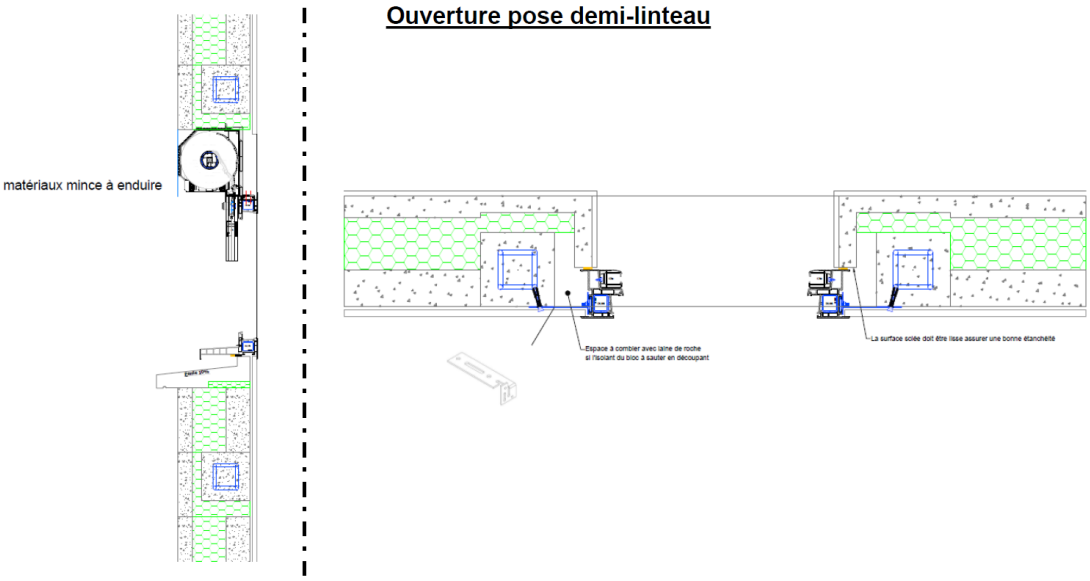
Démarrage de l'étage supérieur

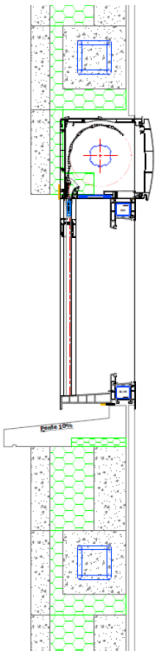


Menuiserie et appui

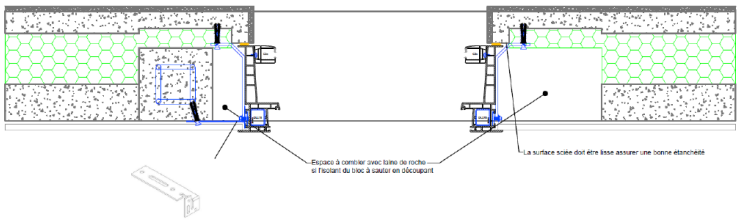
CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT
Siège social › 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – Siret 775 688 229 00027 – www.cstb.fr
Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

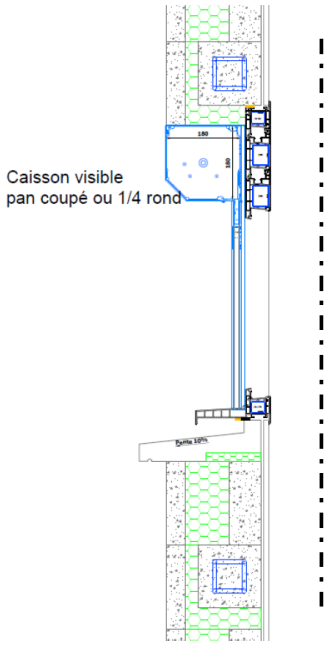
E.2 Autres types de pose des menuiseries



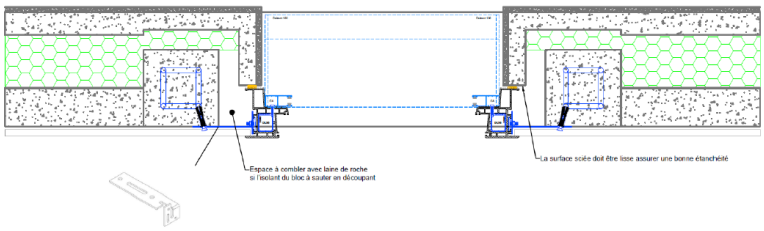


Ouverture pose monobloc

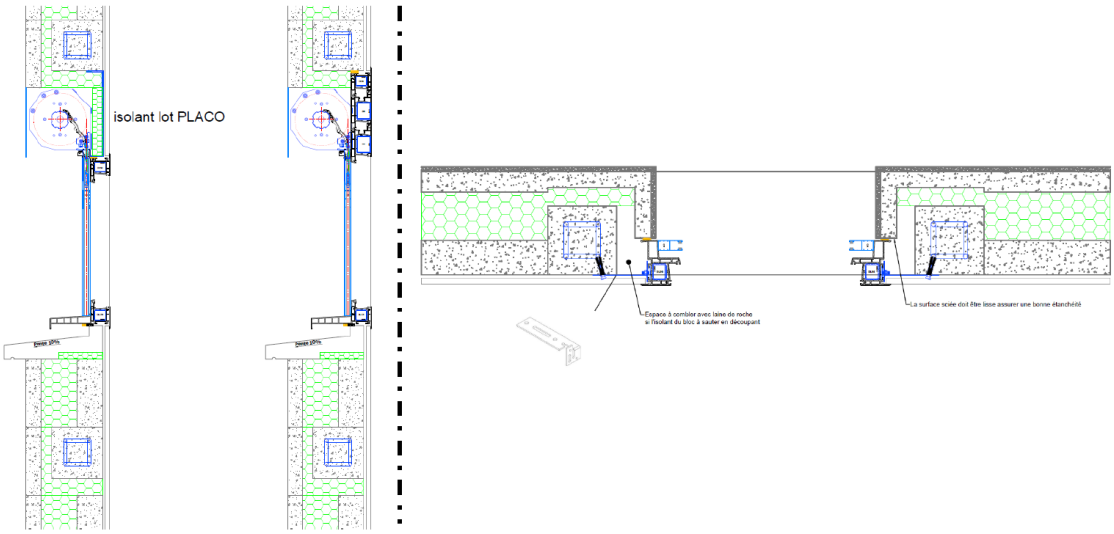




Ouverture pose rénovation



Ouverture pose traditionnelle



Fin du rapport

Le présent document comporte 51 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.