

Blocs de terre
comprimée stabilisée

Points clés de construction paracyclonique d'une maison

MAYOTTE



GOUVERNEMENT

Liberté
Égalité
Fraternité

Illustrations : Laubywane, DHUP, AQC

Ce guide a été rédigé par des spécialistes du Réseau Scientifique et Technique du Ministère chargé du logement (CSTB) avec l'appui d'un réseau d'acteurs locaux d'Outre-mer.

Membres de l'équipe technique du CSTB :

- Philippe LEBLOND
- Réda OUSSENNAN
- Ayman EL HAJ
- Duc Toan PHAM

SOMMAIRE

5	1. INTRODUCTION
5	2. CONCEPTION DES STRUCTURES
5	2.1 Conception
7	2.2 Dimensionnement
7	2.3 Points de vigilance
9	3. CHOIX DES MATÉRIAUX
10	3.1 Élément de maçonnerie
10	3.2 Mortier
11	3.3 Repère
11	3.4 Armatures
12	4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES
12	4.1 Maçonnerie
13	4.2 Chaînages
19	4.3 Assemblages
20	5. ENTRETIEN ET STOCKAGE
20	5.1 Outilage
20	5.2 Entretien et inspection
21	5.3 Stockage
21	6. RÉFÉRENCES

1. Introduction

Cette fiche fournit des indications de mise en œuvre des murs en blocs de terre comprimée stabilisée (BTC). Elle présente les points singuliers, qui exercent une influence directe sur la résistance des murs aux effets du vent. Les détails de mise en œuvre vis-à-vis des autres exigences ne sont pas traités.

Cette fiche contient :

- des préconisations sur les matériaux à employer ;
- des méthodes de mise en œuvre directement applicables ;
- des rappels relatifs à l'entretien et au stockage des éléments.

Une *fiche introductive* explicite le domaine d'application et les hypothèses de calcul retenus pour l'ensemble des fiches thématiques.

L'utilisation de la présente *fiche thématique* exige par ailleurs le respect des règles de conception, de calcul et de réalisation en situation courante (et en situation sismique pour les territoires concernés) dont l'application est précisée dans les textes réglementaires, normatifs et d'évaluation (Eurocodes, DTU, Avis Techniques...).

Il est bon de rappeler qu'au-delà du respect des règles de construction, la conception doit intégrer d'autres critères relatifs à la qualité d'usage, l'accessibilité, la performance énergétique et tout ce qui a trait aux besoins des occupants.

2. Conception des structures

2.1 Conception

Les BTC stabilisés, tels que présentés ci-après, sont utilisés pour la construction de bâtiments porteurs en R+1 maximum.



Figure 1 : Construction de bâtiments porteurs en R+1

Les principaux points à vérifier pour la conception d'une structure en BTC stabilisée sont listés ci-dessous :

- Il faut toujours qu'un mur en BTC stabilisée résistant au vent soit supporté en totalité par un autre mur résistant.



Continuité des panneaux de contreventement



Mur de contreventement d'étage non fondé : non admis



Figure 2 : Continuité verticale des panneaux de contreventement

- Les chaînages doivent être droits sans décalage pour pouvoir reprendre les efforts de traction. Ils doivent aller des fondations jusqu'au sommet de la maison.

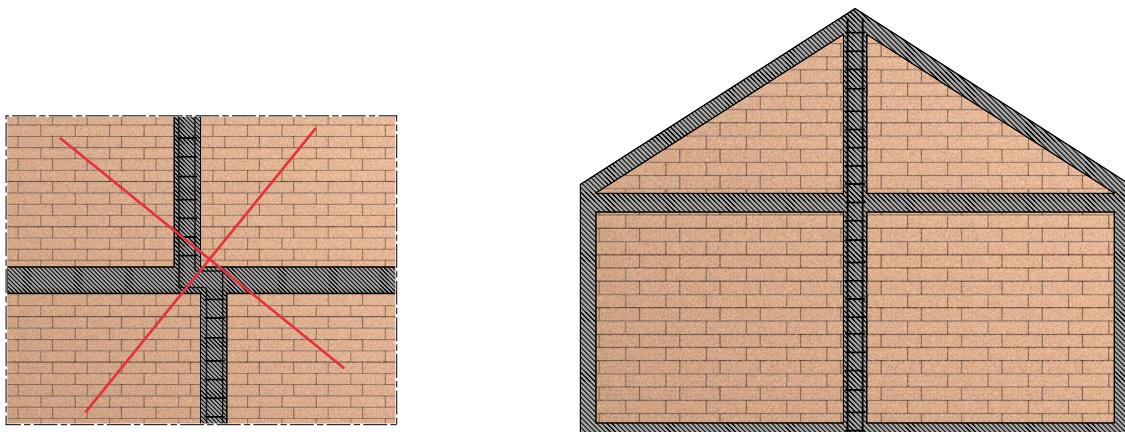


Figure 3 : Continuité verticale des chaînages

- Il est nécessaire d'implanter des chaînages verticaux à chaque extrémité d'un mur résistant, à chaque bord libre d'un mur, de chaque côté d'une ouverture, à chaque intersection de mur et tous les 5 m maximum dans un mur plein.
- Des chaînages horizontaux doivent être situés au niveau de chaque plancher, des fondations et en appui de charpentes en tête de mur et leur espacement vertical ne doit jamais être supérieur à 4 m.

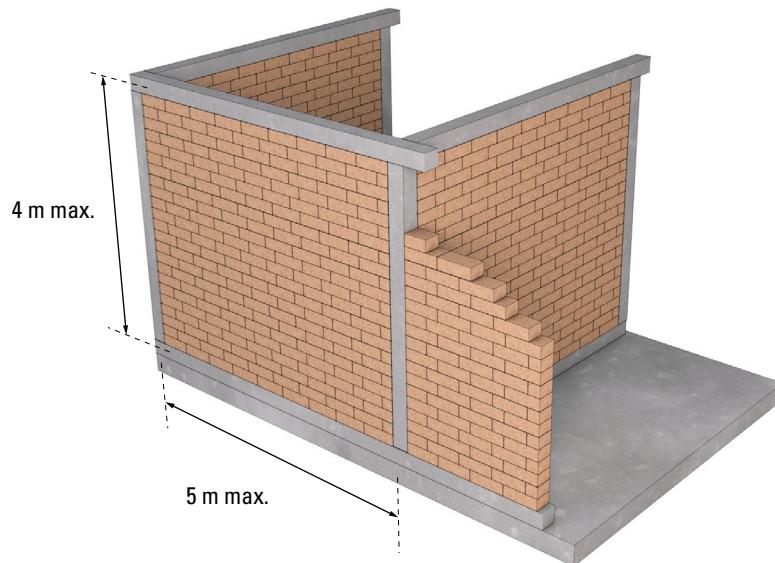
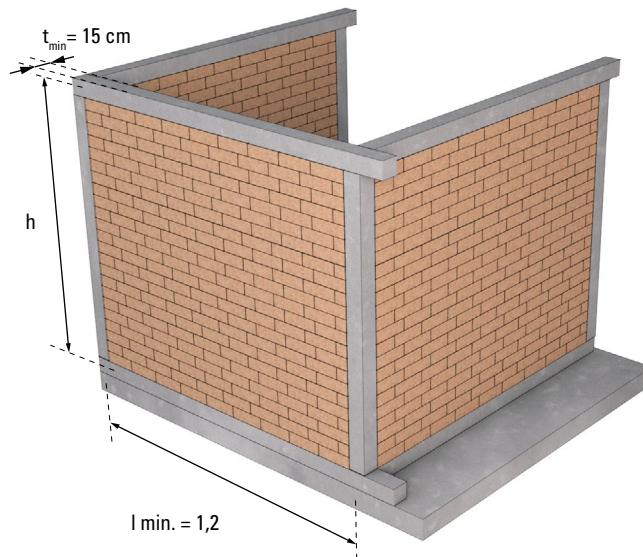


Figure 4 : Implantation de chaînages verticaux et horizontaux

2.2 Dimensionnement

Les murs de contreventement doivent avoir une longueur « l » minimale de 1,2 m et une épaisseur « t » minimale de 15 cm.

Dans le cas d'un mur porteur de hauteur « h », tenu en tête par un système de plancher ou de chaînage, il est nécessaire de respecter des épaisseurs minimales.



$h \text{ max}$	$t \text{ min}$
2,25 m	15 cm
2,4 m	16 cm
2,6 m	18 cm
2,8 m	19 cm
3,0 m	20 cm

Figure 5 : Épaisseurs minimales en fonction des hauteurs

2.3 Points de vigilance

Les points de vigilance pour éviter des désordres de la maçonnerie en BTC stabilisée sont de plusieurs natures. Il est essentiel de prendre ces aspects en considération lors de la conception d'une structure.

Cette liste n'est pas exhaustive :

- **ancrages et fixations** : vérifier les assemblages des éléments de charpente et notamment leur ancrage dans les chaînages ;

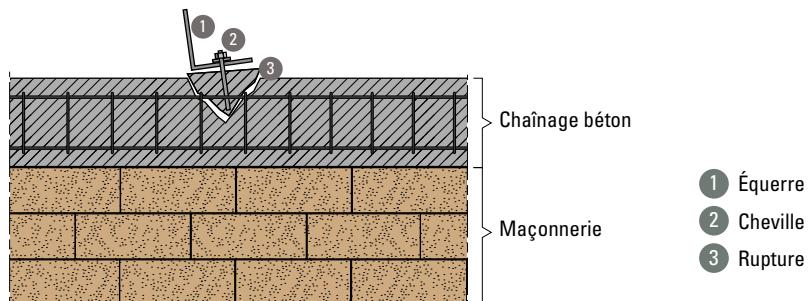
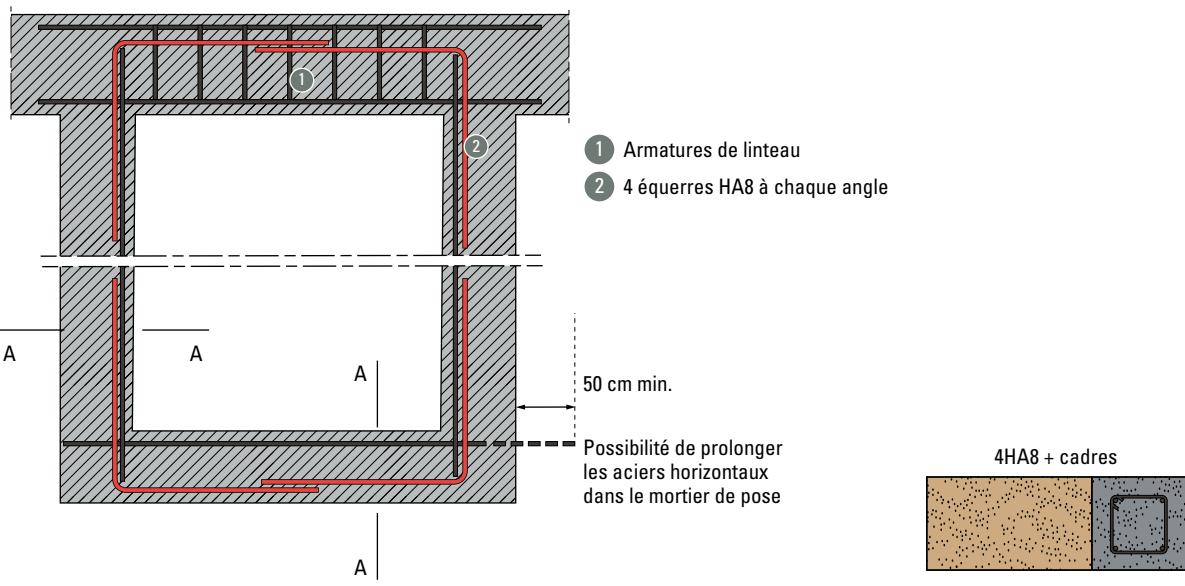


Figure 6 : Exemple de rupture au niveau des fixations-chaînage

- **ouvertures** : vérifier si on respecte les dispositions constructives autour des ouvertures ;



Note : le principe de ferrailage des chaînages est représenté sur la coupe AA

Figure 7 : Exemple de dispositions constructives autour des ouvertures

- **pénétration de la pluie des parois extérieures** : garantir une étanchéité efficace contre la pluie en appliquant les types de parois CL1 et une profondeur minimale de la façade de 50 cm.

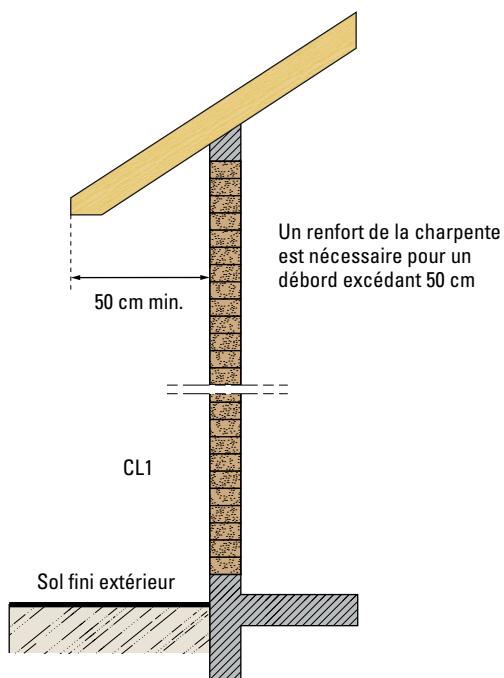


Figure 8 : Paroi extérieure

- remontées capillaires par les fondations et les infiltrations directes d'eaux provenant de l'extérieur : appliquer une hauteur de soubassement suffisante au-dessus du sol extérieur ;

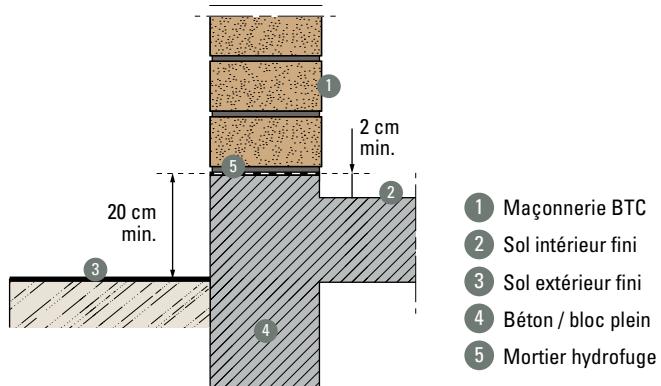


Figure 9 : Exemple de détail de soubassement pour un mur en BTC

- pieds de mur et planchers intermédiaires : une distance (hauteur) minimale est à respecter entre la surface de sol fini et le bas de la première assise en BTC ;

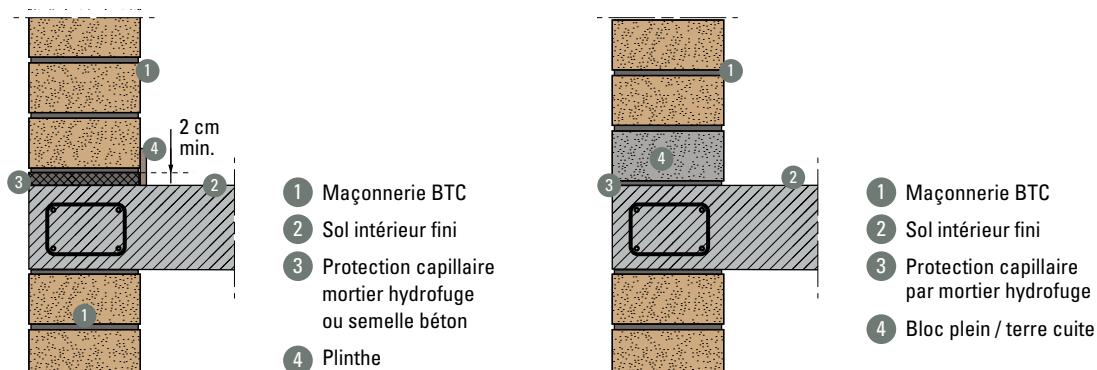


Figure 10 : Exemple de protection au niveau des planchers

- Les BTC ne sont pas autorisés en parois enterrées.

3. Choix des matériaux

Le choix des matériaux et produits de construction a une importance essentielle pour la sécurité et la durabilité des bâtiments. Les performances répondant aux critères doivent être indiquées par le fabricant directement sur le produit ou sur l'étiquette qui l'accompagne. Pour que ces informations soient utilisables, il est nécessaire qu'elles soient indiquées dans un format bien précis conforme au marquage CE. Dans le cas des BTC, le fabricant doit fournir les indications techniques au format de la norme NF XP P13-901.

3.1 Élément de maçonnerie

Les blocs courants de terre comprimée (BTC) utilisés à Mayotte, issus de la tradition locale et de la fabrication artisanale à partir de la terre présente sur l'île, sont de dimensions $29,5 \times 14 \times 9,5$ cm et $22 \times 22 \times 9,5$ cm. Ils sont destinés à la réalisation de murs de façade, de refends et de murs de séparation. Ces blocs sont pleins et sans emboîtement selon la norme NF XP P13-901.

Les blocs dits « BTC » fabriqués sur l'île sont des blocs de terre stabilisée par l'ajout d'un liant supplémentaire au matériau de construction en terre crue initial (liants hydrauliques de type ciment, par exemple).

Les blocs doivent avoir les caractéristiques suivantes : au moins la classe $R_c 4$ (résistance moyenne à la compression = 4 MPa).

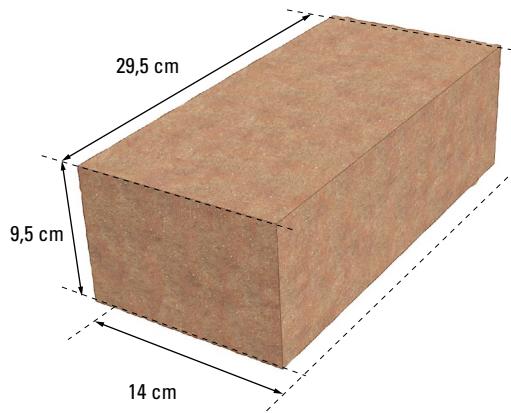


Figure 11 : Exemple de bloc de terre comprimée

3.2 Mortier

Les mortiers doivent être au moins de classe M10.

Le mieux est d'utiliser des mortiers secs prêts à gâcher avec de l'eau. Sinon les exemples de dosages suivants peuvent convenir :

Mortier de catégorie M10	Ciment à maçonner	Sable
Mortier de liant pour 1 m ³	350 à 450	0/2 ou 0/4 ≤ 5 % de fines

Mortier de catégorie M10	Ciments CEM I CEM II	Sable
Mortier de liant pour 1 m ³	300 à 400	0/2 ou 0/4 ≤ 5 % de fines

3.3 Repère

Le dosage de mortier de ciment équivaut à :

1 Sac de ciment de 25 kg	1 Sac de ciment de 35 kg
6 seaux (10 litres) de sable	9 seaux (10 litres) de sable
1 seau (10 litres) d'eau	1,5 seau (10 litres) d'eau
Volume total de mortier 90 litres	Volume total de mortier 130 litres

NOTE

L'humidité du sable varie fortement en fonction de la saison et des conditions de stockage. Il faut mettre 8 litres d'eau pour commencer et ajouter le reste progressivement jusqu'à ce que la consistance soit bonne : pâte molle et homogène qui mouille le gant sans couler.

3.4 Armatures

Les armatures utilisées dans les chaînages et les ouvrages complémentaires en béton armé ont les propriétés suivantes :

- armatures à haute adhérence dites HA (pas d'armatures lisses), **classe de ductilité B ou C** indiquée par le fabricant ;
- limite élastique 500 MPa ; appellation courante : **B500 B**.

Les épaisseurs minimales d'enrobage des armatures dans le béton à respecter sont :

- 3,5 cm en zone d'exposition courante ;
- 4,5 cm en zone d'exposition marine.

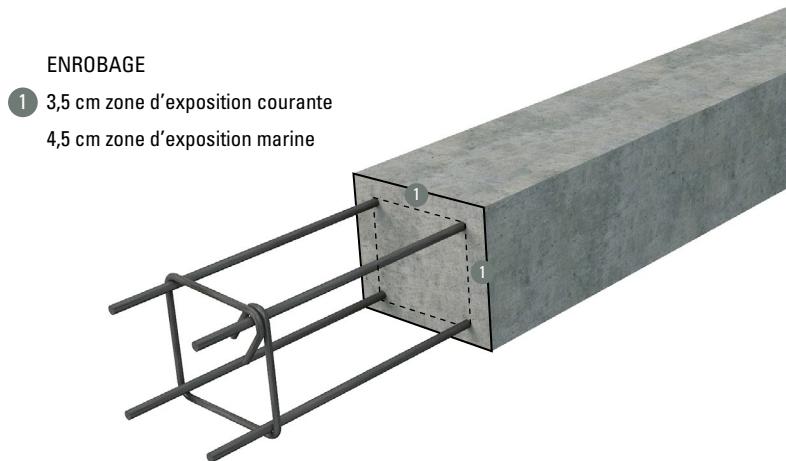


Figure 12 : Épaisseurs minimales d'enrobage

4. Dispositions constructives

Ce paragraphe présente les dispositions constructives à mettre en œuvre dans une paroi destinée à résister au vent.

4.1 Maçonnerie

Les éléments de maçonnerie sont mis en œuvre par empilement sur des joints de mortier. Le mortier de joint est placé sur toutes les surfaces pleines de l'élément. Les joints verticaux doivent être remplis.

Un recouvrement des éléments est nécessaire pour assurer un bon comportement du mur (aussi appelé harpage ou décalage). Le **recouvrement R** conseillé entre deux rangs superposés est situé entre 0,3 et 0,5 fois la longueur de l'élément (L_e).

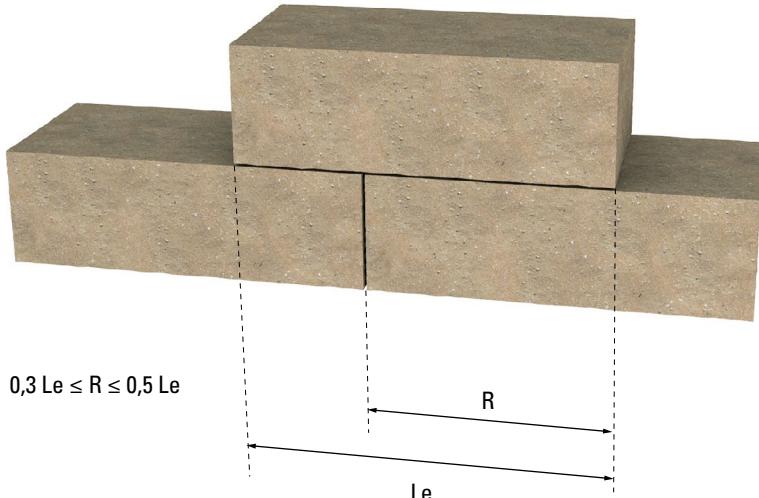


Figure 13 : Recouvrement des éléments en maçonnerie

Les joints ont une épaisseur courante comprise entre 10 et 15 mm.

Le choix d'un appareillage doit être déterminé avant la mise en œuvre de la maçonnerie permettant la réalisation de parois de différentes épaisseurs.

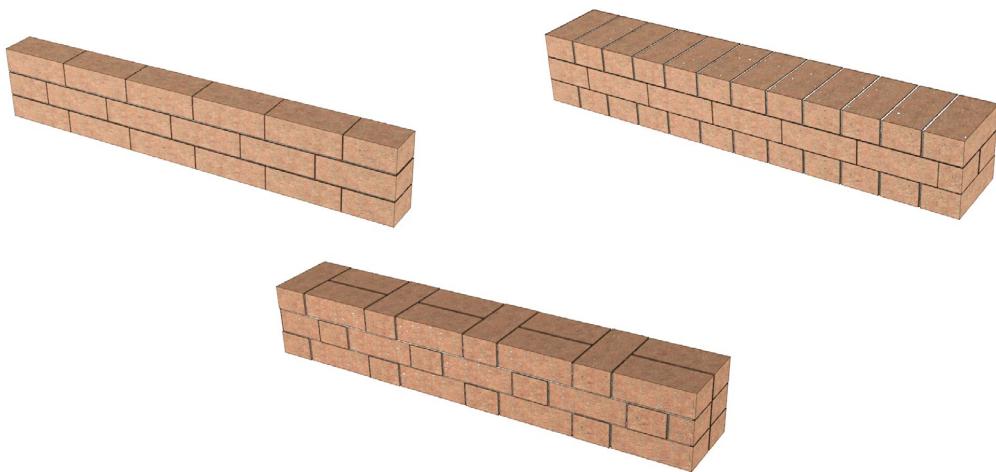


Figure 14 : Exemple d'appareillage de blocs

Bloc BTC	Épaisseurs de mur possibles
29,5 x 14 x 9,5 cm	9,5 cm
	14 cm
	29,5 cm
22 x 22 x 9,5 cm	22 cm

4.2 Chaînages

Après les éléments de maçonnerie, les chaînages en béton armé sont les éléments essentiels qui vont permettre une bonne résistance des murs. Pour cela, les règles suivantes doivent être respectées :

- Les dimensions (hauteur et largeur) de la section transversale des chaînages horizontaux et verticaux ne doivent pas être inférieures à 150 mm.
- Une bonne construction repose sur la présence de chaînages dans les 3 directions avec continuité des armatures. L'efficacité des chaînages repose sur la qualité du béton, la résistance des aciers, les conditions d'ancrage et de recouvrement.

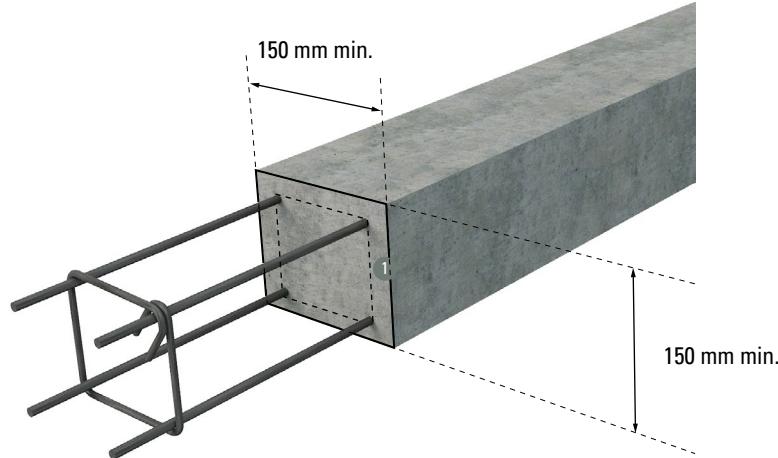
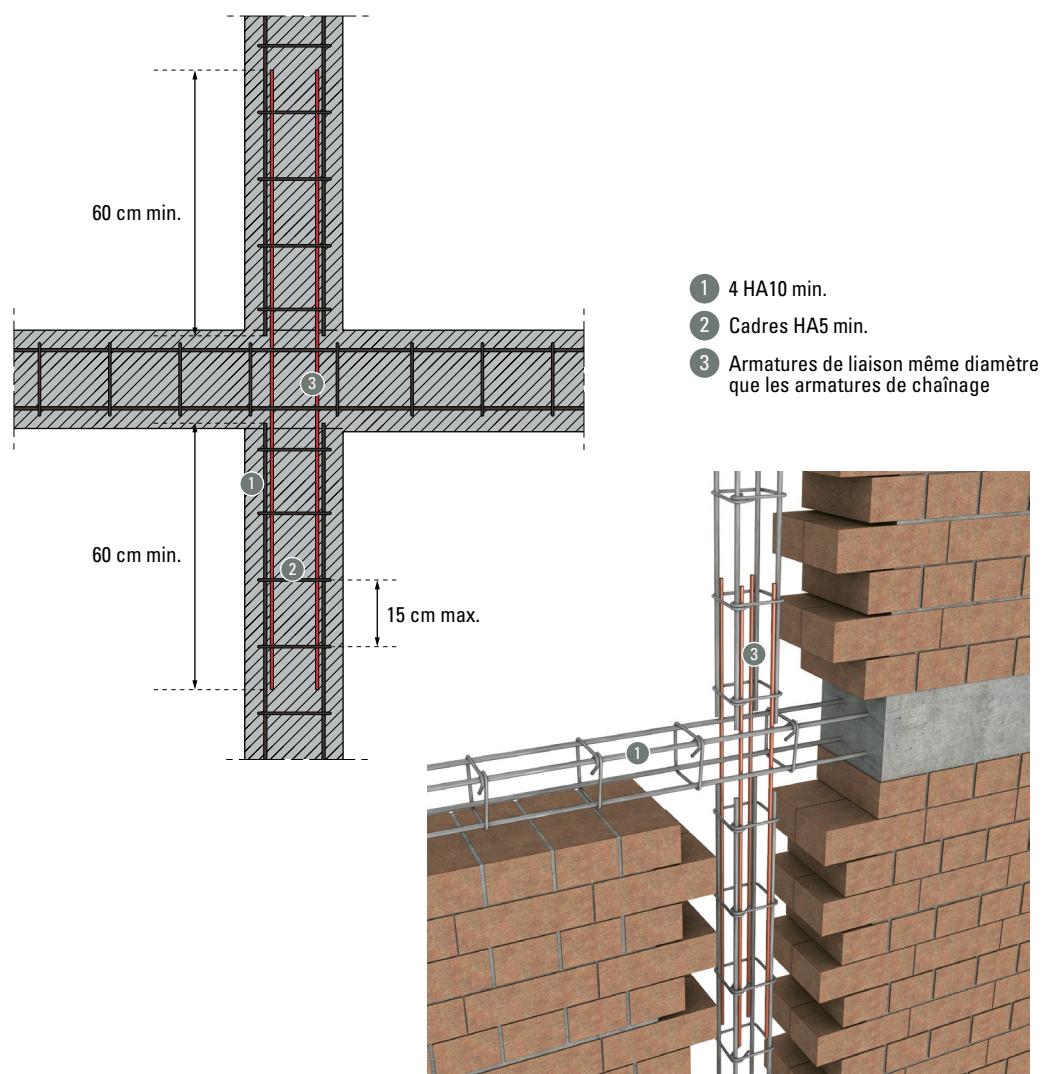
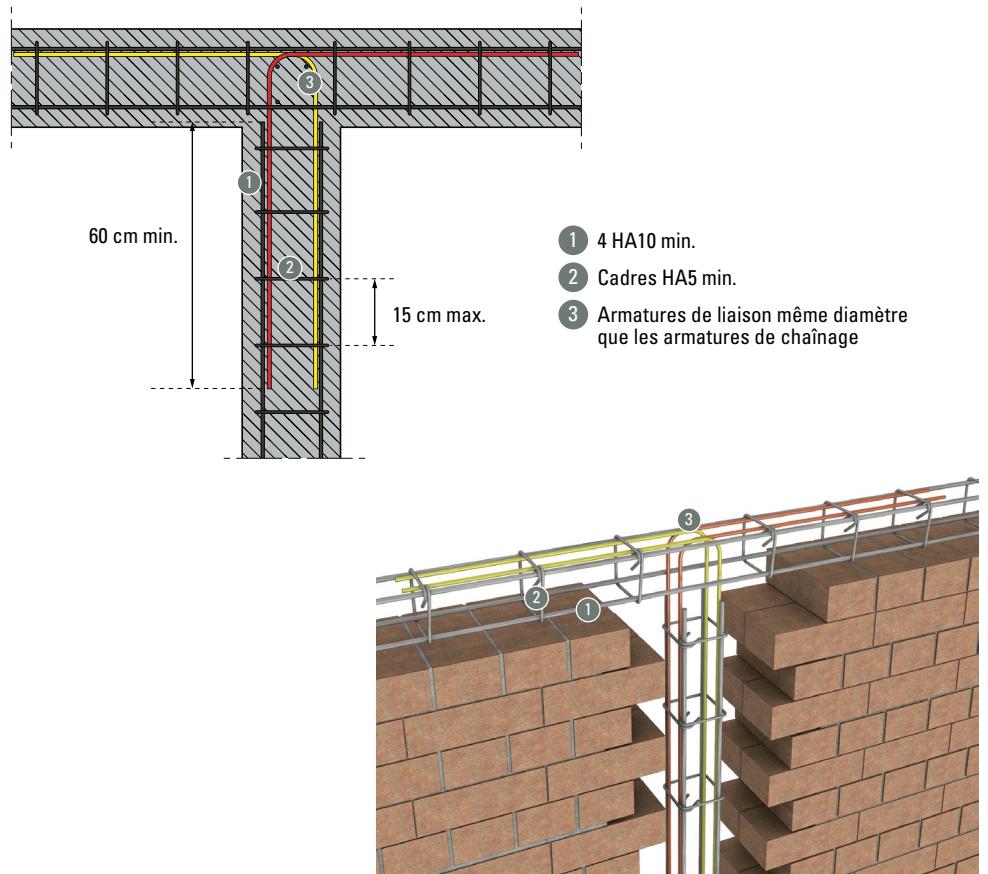


Figure 15 : Dimensions minimales de chaînage

■ Chaînages verticaux

- Les armatures longitudinales sont constituées de **4 armatures minimum**. Lorsqu'il n'y a que 4 armatures, celles-ci doivent être de diamètre HA10 ou HA12 à l'exclusion des autres diamètres. Le pourcentage d'armatures longitudinales ne doit pas être inférieur à 1 % de la section du chaînage.
- Des cadres **HA5 au minimum** doivent être disposés autour des armatures longitudinales tous les 150 mm au maximum.
- Afin d'obtenir une adhérence effective entre les chaînages et la maçonnerie, le béton des chaînages doit être coulé après exécution de la maçonnerie.
- Il faut assurer un bon remplissage du chaînage. Une vigilance particulière est nécessaire pour les chaînages verticaux. Le mieux est de vibrer le béton lorsque c'est possible.
- Il faut assurer les recouvrements d'armatures au niveau des liaisons avec un minimum de 60 cm pour les HA10 et de 72 cm pour les HA12.



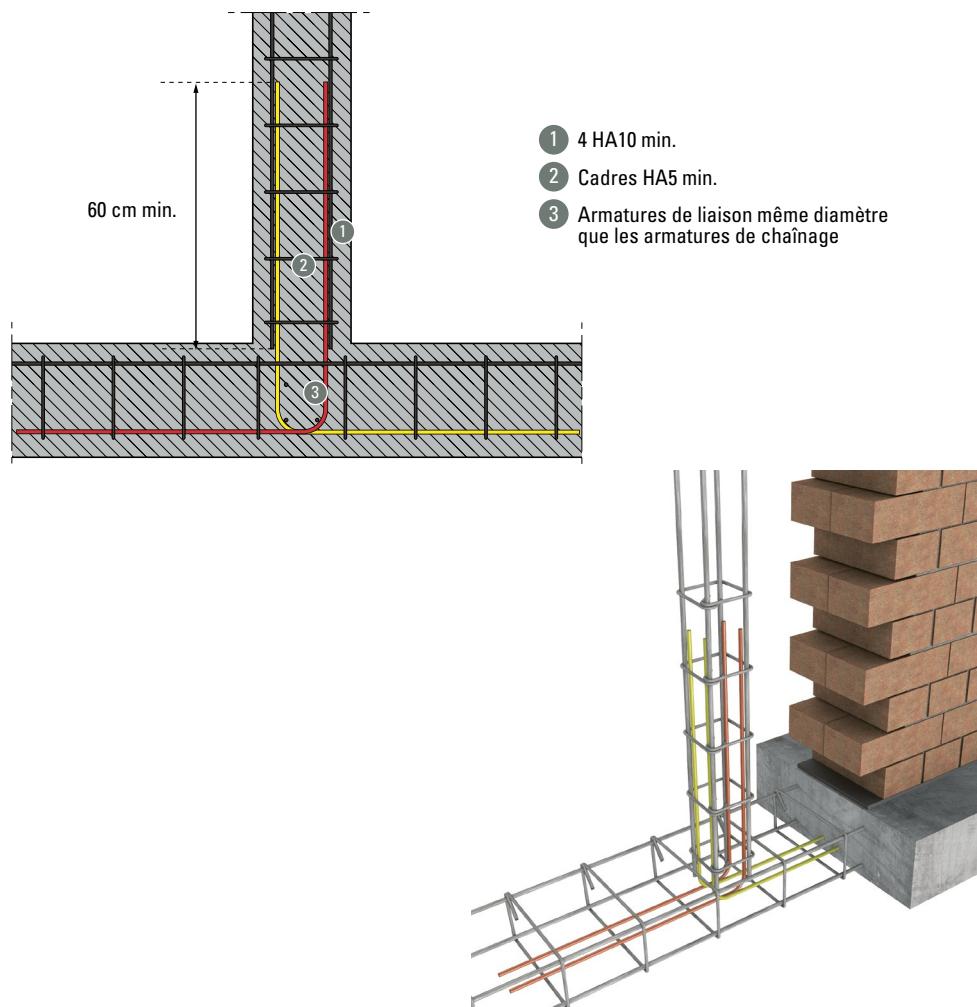
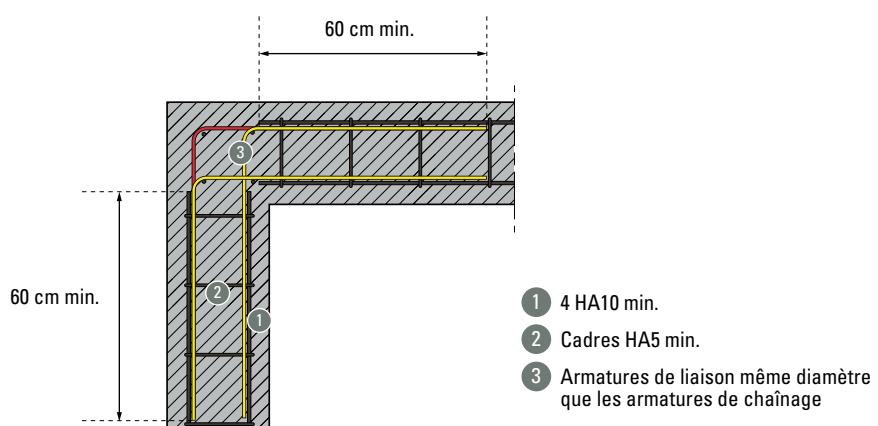
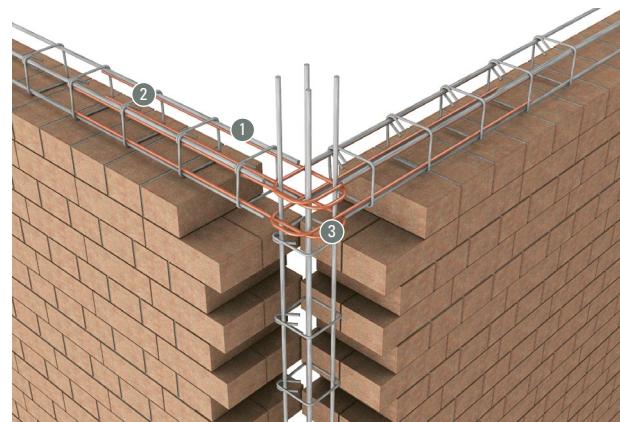
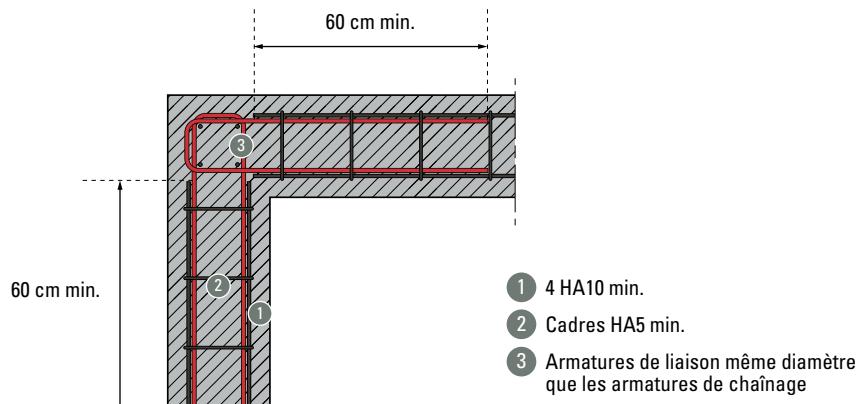


Figure 16 : Exemple de liaisons entre chaînages

■ Chaînages horizontaux

- Les chaînages horizontaux sont situés au niveau de chaque plancher. Ils sont constitués à minima de 4 HA10 avec des cadres HA5 tous les 150 mm.
- Deux points d'attention concernant les deux dispositions possibles **en angle** :
 - les armatures de liaison doivent avoir la même section que les armatures de chaînage (HA10 ou HA12) ;
 - les recouvrements (marqués 60 cm sur les schémas) concernent chacune des 4 barres du chaînage.



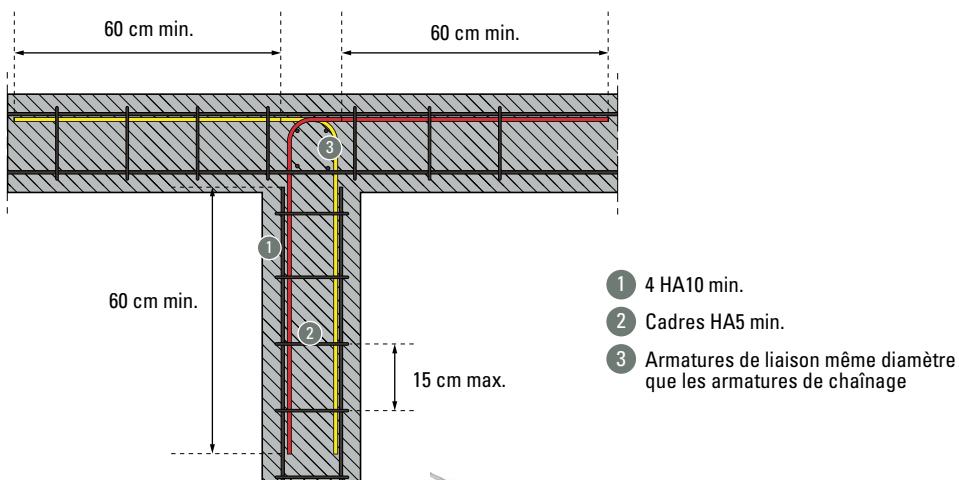
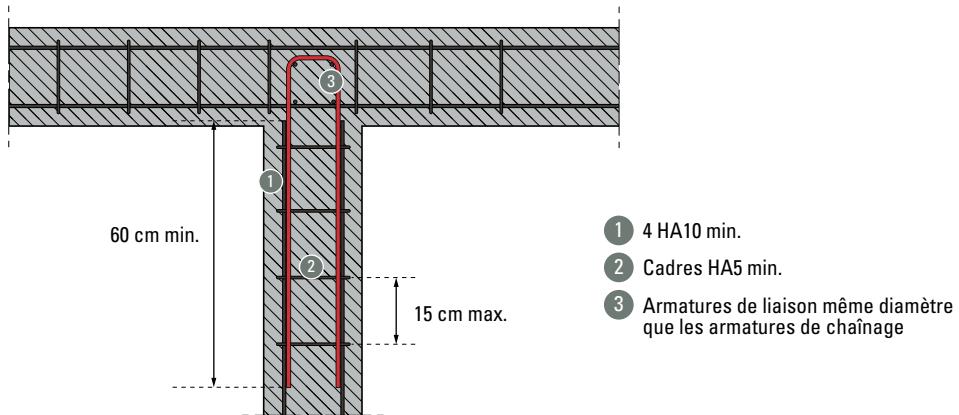


Figure 17 : Exemples de liaisons entre chaînages

- Les points d'attention concernant la liaison d'un plancher et d'un chaînage vertical en partie courante d'un mur sont les mêmes qu'en angle.

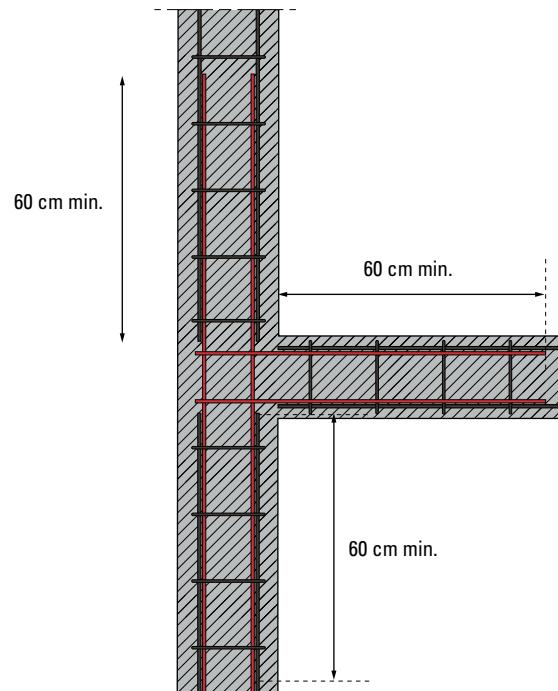


Figure 18 : Liaison plancher - chaînage

- La liaison entre un mur intérieur en maçonnerie et un mur filant de façade en béton ou en maçonnerie est représentée ci-dessous.

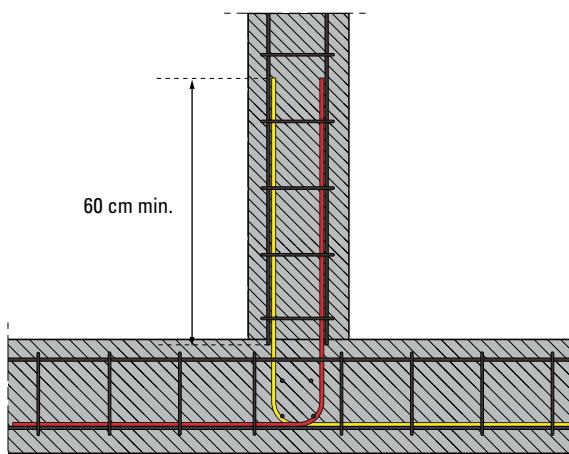


Figure 19 : Liaison mur filant – mur intérieur

- Les appuis de linteaux isolés sont au minimum de 150 mm.

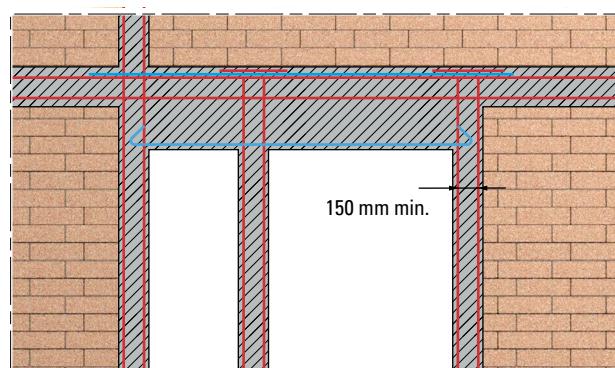


Figure 20 : Linteau isolé

4.3 Assemblages

Les éléments de charpente doivent être correctement fixés aux éléments de mur réalisés en maçonnerie par l'intermédiaire d'un **assemblage connecté à un chaînage en béton armé**. Le dimensionnement des chevilles de fixation dans le béton est réalisé selon les prescriptions du fabricant de la cheville choisie. Ces chevilles doivent **s'ancre au centre du chaînage**.

La longueur de cheville à utiliser doit être suffisante pour atteindre les aciers. Par défaut, une longueur égale à la hauteur du support moins 5 cm est nécessaire.

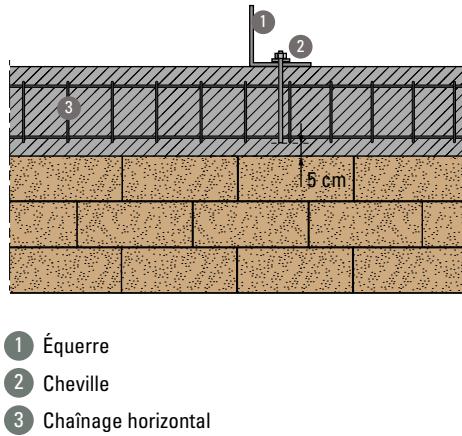


Figure 21 : Longueur des chevilles dans un chaînage horizontal

Lors du choix du sabot de fixation, une distance minimale de 5 cm du perçage par rapport au bord doit être respectée dans la direction verticale afin d'éviter le contact entre les chevilles et les armatures du chaînage. Dans la direction horizontale, la longueur de la cheville correspond à la largeur du chaînage à laquelle sont retranchés 5 cm. La hauteur minimale du sabot doit correspondre à 2/3 de la hauteur de l'élément porté. Cette valeur doit être confirmée en consultant les exigences des fiches techniques du sabot.

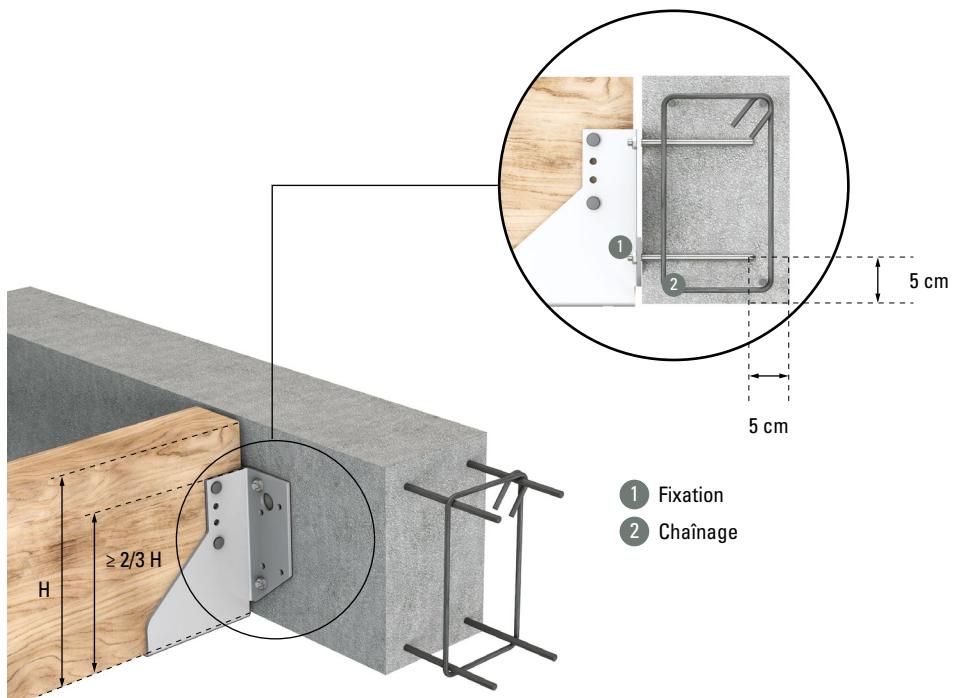


Figure 22 : Sabot de fixation

5. Entretien et stockage

5.1 Outilage

Il est recommandé que les mélanges sur chantier soient réalisés à la bétonnière pour obtenir une bonne homogénéité des mortiers et bétons.

Pour la mise à niveau des éléments, un maillet est nécessaire pour ne pas risquer de casser les bords des éléments. Un marteau peut être utilisé en plaçant une planche de bois entre l'élément et le marteau.

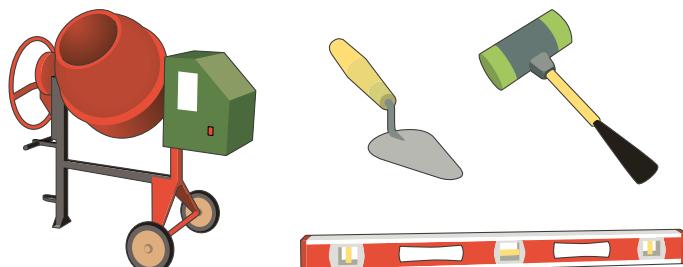


Figure 23 : Outilage

5.2 Entretien et inspection



Entretien une fois par an à l'approche de la saison cyclonique

Il est à noter que l'entretien sera très largement facilité si la maçonnerie est recouverte d'un enduit de façade de couleur claire. Ce dernier protège la maçonnerie des infiltrations d'eau qui pourraient à long terme atteindre les armatures.

Dans ce cas l'entretien est limité à :

- Enduit de façade : vérifier qu'il ne fissure pas. Si des fissures significatives apparaissent, il sera nécessaire de le retirer et d'en refaire un nouveau.
- Maçonnerie : vérifier qu'il n'y a pas de fissures localisées laissant ressortir des coulures de rouille. Si c'est le cas, il est nécessaire de mettre l'armature à nu, la traiter puis reboucher avec un mortier de réparation.

En cas de fissuration importante de la maçonnerie, l'intervention d'un bureau d'études est nécessaire pour en analyser les causes et trouver des solutions.

À cette occasion, une inspection visuelle sommaire est réalisée pour s'assurer qu'il n'y a pas de dégradation prématûre.



Inspection complète¹ de la maçonnerie tous les 5 ans et à la suite d'un cyclone

Il est crucial de procéder à une inspection plus approfondie de la structure en maçonnerie pour repérer les fissures, les déplacements ou les déformations des murs. Cette vérification comprend également l'examen des joints de maçonnerie pour identifier et réparer les dégradations ainsi que la détection et le traitement des infiltrations.

Ces entretiens et inspections périodiques sont consignés dans un **carnet d'entretien** assorti d'un rapport photographique de l'état de la couverture, de la charpente et de la structure avant et après nettoyage. Contrat d'entretien, rapport et factures sont annexés au carnet d'entretien.

¹ Bien que cette vérification ne soit pas réglementaire, les assurances commencent à conditionner le remboursement à la réalisation périodique de cette vérification.

5.3 Stockage

Les matériaux doivent être conservés au maximum à l'abri des intempéries. Le ciment et le mortier doivent rester dans des sacs fermés, sur des palettes recouvertes d'une bâche (en extérieur). **Les BTC doivent être protégés de la pluie et de l'humidité.**

Les armatures pour béton armé doivent être stockées sur une surface plane et à l'abri de l'humidité au-delà de quelques jours. Elles ne doivent pas être directement en contact avec le sol. Si des projections de terre sont observées, il est alors nécessaire de nettoyer les armatures avant utilisation.

Les granulats sont idéalement livrés dans des « big bags » qui doivent rester fermés et recouverts d'une bâche.

6. Références

XP P 13-901 : Briques et Blocs de terre crue pour murs et cloison – Définitions-Spécifications-Méthodes d'essai-Conditions de réception – mars 2022.

Règles professionnelles Blocs de terre comprimée (BTC) Mayotte ART. Terre Mayotte – Juillet 2022.