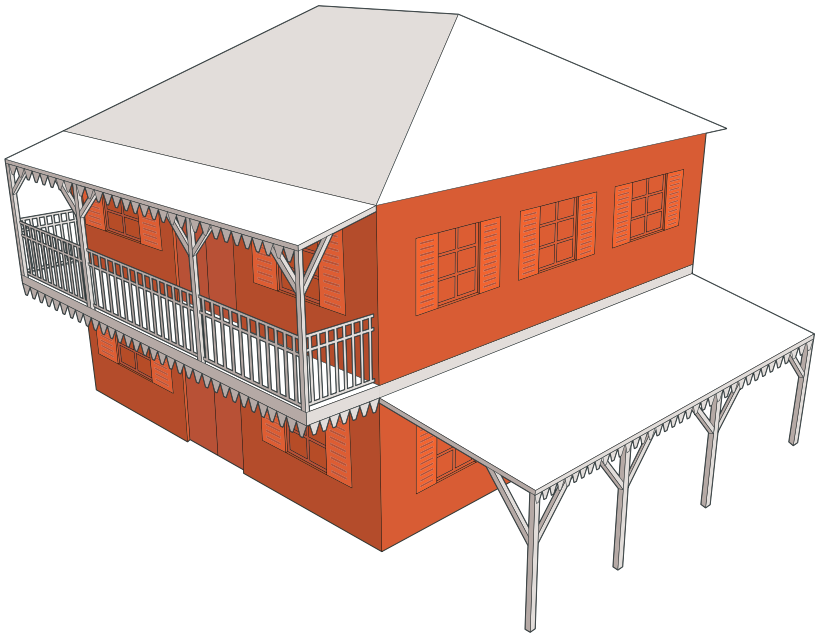
BUILD WELL!

MAÇONNERIE



Fiche pratique

Professionnels

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Saint-Martin
Caraïbe Française · French Caribbean

N° 4

Sommaire

Avant-propos 4
Modes de rupture sous l'effet du vent 5
Réparation des chaînages sous la charpente 7
Choix des matériaux 12
Conception des structures en maçonnerie 15
Réparation d'un mur complet 17
Saignées 20
Outillage et stockage 21
Entretien 22
Lexique 23
Références 23

AVANT-PROPOS

La présente fiche pratique fournit des indications de mise en œuvre des murs en maçonnerie. Elle présente les points singuliers qui ont une influence directe sur la résistance des murs aux effets du vent et aux effets sismiques.
Les détails de mise en œuvre vis-à-vis des autres exigences ne sont pas traités.

Figure 1 : Structure exposée ayant résisté

Les dispositions chiffrées concernent des ouvrages simples :

- 2 niveaux maximum ;
- surface par niveau ≤ 100 m² ;
- hauteur maximale de chaque niveau de 3 m ;
- une forme carrée (10 x 10 m²) ou rectangulaire avec un rapport des deux côtés inférieur à 2 (exemple 7 x 14 m²).

Les autres ouvrages peuvent être réalisés avec les mêmes indications après avoir consulté un bureau d'études compétent en structures.

La présente fiche est destinée à la réparation. Son objectif est donc de reconstruire des murs dégradés. Pour une reconstruction complète, il convient également de faire appel à un bureau d'études.

MODES DE RUPTURE SOUS L'EFFET DU VENT

Les structures en maçonnerie ont été peu impactées par le cyclone Irma, même les plus exposées (Figure 1). Les désordres constatés sont de plusieurs natures :

- des désordres indirects. Exemple : arrachement de la charpente provocant des ruptures de maçonnerie localisées ;
- un manque de chaînage ;
- un manque de fondation pour les cas les plus graves.

Il est à noter que les structures en maçonnerie sont plus sensibles aux séismes qu'au vent. Les structures dégradées suite au cyclone Irma n'auraient très probablement pas résisté à un séisme de moyenne amplitude.

La Figure 2 présente un des rares exemples de structure en maçonnerie dégradée. Il est très probable que la structure ait présenté des défaillances, visibles ou non, avant le passage du cyclone. Il est à noter qu'il n'y a pas de problème de sécurité immédiat pour ce type de dégradation.

Figure 2 : Structure dégradée au niveau des chaînages

La fissuration observée suit précisément les chaînages. Il est possible que cela soit dû à un remplissage de maçonnerie entre des poteaux et des poutres avec des sections trop faibles de ces derniers. La structure est à réparer pour retrouver un niveau parasismique correct.

La Figure 3 présente le cas d'une rupture dans le mur structural dû à l'arrachement de la charpente. Cette dernière était probablement mal liaisonnée au reste de l'ouvrage. La mise en œuvre des chevrons par « blocage » dans la maçonnerie est très courante à Saint-Martin mais elle est à éviter absolument.

Figure 3 : Rupture due à l'arrachement de la charpente

RÉPARATION DES CHAÎNAGES SOUS LA CHARPENTE

Liaison anciennement par « blocage »

Cette configuration est à éviter car elle a engendré de nombreuses ruptures de charpente (principe Figure 4). La liaison entre la maçonnerie et la charpente doit pouvoir résister au soulèvement de la toiture provoquée par un cyclone. Le principe de réparation proposé dans ce paragraphe est de reconstituer une liaison mécanique résistante à la traction.

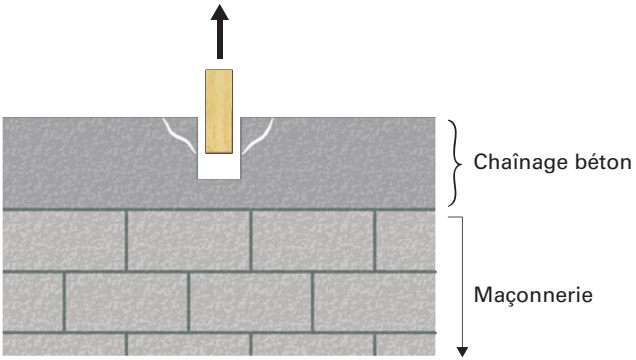


Figure 4 : Principe des ruptures observées : le chevron est extrait de son logement

Une fois le chevron retiré, le premier sujet est de vérifier la présence effective d'un chaînage dans lequel on peut se fixer. Pour cela la seule solution est d'utiliser un détecteur d'acier. Deux cas peuvent se présenter :

- les aciers ne sont pas tous continus autour de la position du chevron, Figure 5 ;
- le chaînage est situé en dessous et est totalement continu, Figure 6.

Dans le premier cas, le chaînage n'est pas suffisant pour assurer ses fonctions vis-à-vis des efforts sismiques et de vent. Il est alors nécessaire de reconstruire le chaînage, voire le mur dans son ensemble, selon les indications données dans la suite de la présente fiche.
Dans le second cas, une réparation peut être envisagée.

✓ *Note : l'utilisation d'un appareil électronique de détection d'acier est réservée à des professionnels ayant les compétences pour interpréter les résultats.*

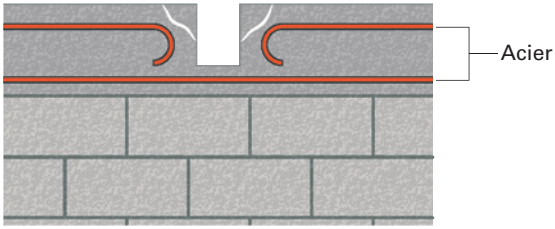


Figure 5 : Chaînage discontinu

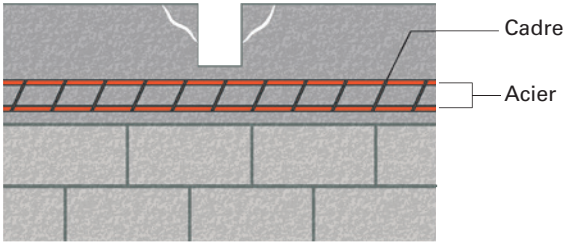


Figure 6 : Chaînage continu

La réparation consiste à :

- supprimer le béton éclaté ;
- dégager un espace suffisant pour implanter la nouvelle charpente et ses fixations (compter l'épaisseur du bois + 40 cm). Autant que possible la découpe doit être réalisée à la scie diamantée ;
- appliquer une couche de mortier de réparation de 5 cm environ pour obtenir une surface plane et horizontale ;
- après 7 jours d'attente minimum, implanter les fixations de la nouvelle charpente. Attention, la longueur des chevilles doit permettre un ancrage dans le chaînage soit un minimum de 12 cm dans la plupart des cas.

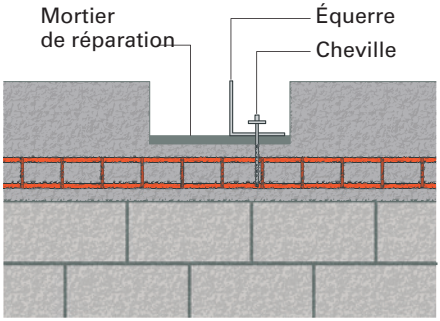


Figure 7 : Nouvelle fixation

✓ *Note : pour des détails concernant la nouvelle fixation, voir la fiche « Charpente bois ».*

Liaison par équerre

Des ruptures d'équerres ou de plats de fixation de la charpente ont été observées. Elles sont généralement dues à des équerres d'épaisseur trop faible ou à des chevilles trop courtes. Le mode de ruine courant est l'éclatement du béton en partie supérieure du chaînage (Figure 8).

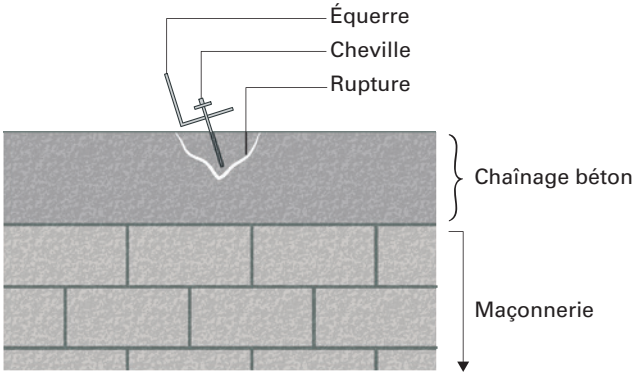


Figure 8 : Rupture d'une fixation d'équerre

La première opération consiste à vérifier que les aciers du chaînage ne sont pas touchés. Pour cela il faut dégager le béton encore présent dans la zone de rupture. Si un acier apparaît et que celui-ci est cassé (Figure 9), il est alors nécessaire de refaire un chaînage complet, selon les indications données dans la suite de la fiche.

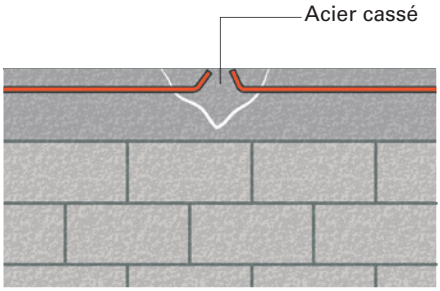


Figure 9 : Acier cassé : nécessité de refaire le chaînage

Si les aciers ne sont pas touchés, la réparation consiste alors à :

- dégager le béton dégradé ;
- dégager le béton autour des aciers dans la zone à réparer ;
- appliquer un revêtement anti-corrosion sur les aciers ;
- reboucher avec un mortier de réparation.

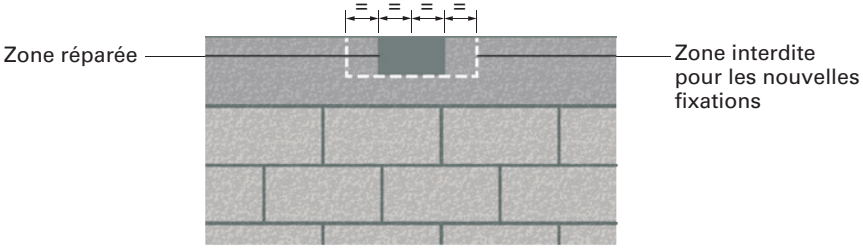


Figure 10 : Rebouchage de la zone dégradée

✓ *Attention : une fois la réparation effectuée, il ne faut pas se refixer au même endroit. Une zone égale à la moitié de la zone réparée est interdite pour les nouvelles fixations (Figure 10).*

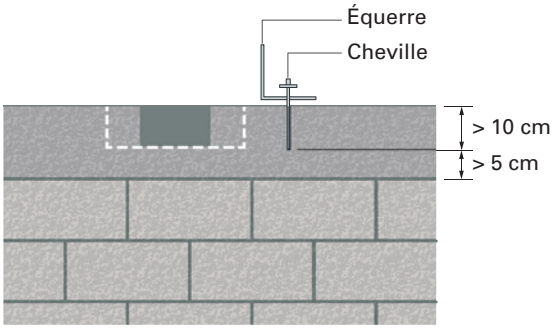


Figure 11 : Nouvelle fixation

La fixation d'une nouvelle équerre peut se faire au-delà de la zone interdite. Il faut veiller à choisir une longueur de cheville suffisante pour atteindre les aciers. Par défaut une longueur égale à la hauteur du chaînage moins 5 cm est nécessaire.

La figure 12 représente une disposition courante de mise en œuvre des charpentes à Saint-Martin. Lors de la réparation des ouvrages, elle peut être utilisée moyennant les précautions suivantes :

- un film en matière plastique doit être installé à l'interface entre le bois et le béton coulé en place avant coulage ;
- l'acier filant doit être galvanisé ;
- les cadres pour acier filant sont au nombre de 3 de chaque côté du chevron et espacés de 10 cm.

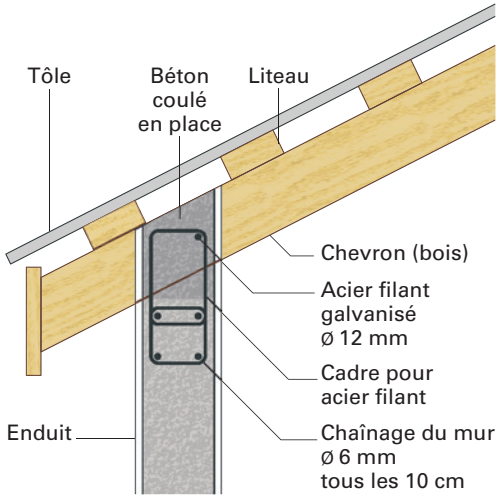


Figure 12 : Disposition courante de mise en œuvre des charpentes à Saint-Martin

✓ *Note : cette configuration, bien qu'habituelle à Saint-Martin, ne permet pas d'assurer le niveau de sécurité des constructions neuves. Elle est à réserver aux réparations d'ouvrages existants.*

CHOIX DES MATÉRIAUX

Le choix des matériaux et produits de construction a une importance essentielle pour la sécurité et la durabilité des bâtiments. La présente fiche indique des critères de choix qui permettent de sélectionner les produits. Les performances répondant aux critères doivent être indiquées par le fabricant et se retrouvent 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 : celui lié au marquage CE.

Figure 13 : Logo devant apparaître sur un produit marqué CE

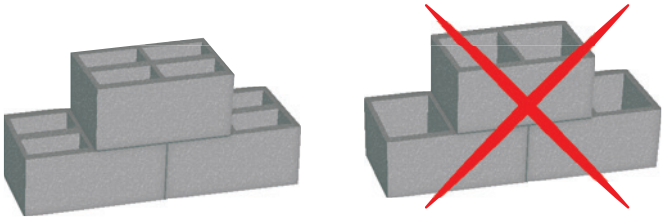


Figure 14 : Choix des éléments

Élément de maçonnerie

Les éléments de maçonnerie utilisés pour la structure d'un bâtiment doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- ils disposent d'une cloison intermédiaire longitudinale (Figure 14) ;
- l'épaisseur minimale des éléments creux est de 20 cm (épaisseur du mur) ;
- ils présentent une résistance minimale à la compression verticale de 4 MPa. Les fabricants indiquent « B40 » ou « Rc40 » (Figure 15) ;
- ils présentent une résistance minimale à la compression horizontale de 1,5 MPa. Le fabricant doit l'indiquer, parfois en disant uniquement que le bloc est utilisable en zone sismique.

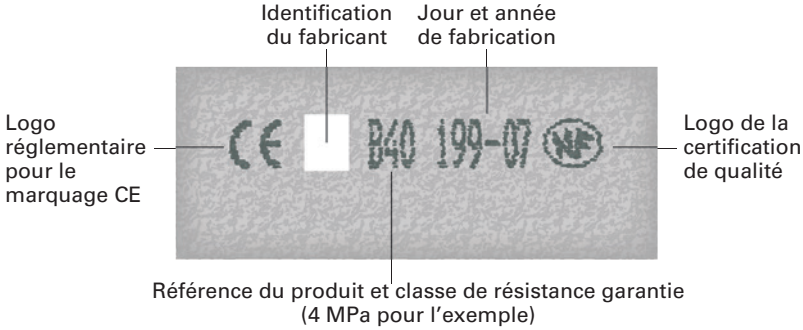


Figure 15 : Exemple de marquage sur un bloc béton

Mortier

Le mortier pour joint doit présenter une résistance minimale de 10 MPa soit une classe M10. Le mieux est d'acheter des mortiers secs prêts à gâcher avec de l'eau. Sinon les dosages suivants peuvent convenir :

Mortier de catégorie M10	Ciments (kg) CEM I CEM II	Ciment à maçonner (kg)	Sable
Mortier de liant pur	300 à 400	350 à 450	0/2 ou 0/4 ≤ 5 % de fines

Repère

Le dosage de mortier de ciment équivaut à :

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

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

✓ *Attention, l'humidité du sable varie fortement en fonction de la saison et des conditions de stockage => mettre 8 litres d'eau pour commencer et ajouter le reste progressivement jusqu'à ce que la consistance soit bonne : pâte molle et homogène, elle mouille le gant sans couler.*

Béton

Le béton des chaînages doit être suffisamment fluide pour remplir au mieux les chaînages. Les granulats ne doivent pas être trop gros non plus.
Il est possible d'utiliser :

- un béton prêt à l'emploi, au moins de classe C25/30 ;
- un béton de ciment fait sur place, de consistance plastique (classe S3), dosé au minimum à 400 kg/m^3 de ciment et confectionné avec des granulats de diamètre 10 mm au plus pour les chaînages verticaux (idéalement du 3/8) et 14 mm au plus pour les chaînages horizontaux.

	Ciment	Gravillons	Sable	Eau
Béton des chaînages	400 kg	980 kg	720 kg	195 l

✓ *Note : que ce soit pour le béton ou pour le mortier, le sable de plage est interdit.*

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.

Pour les chaînages, il est conseillé d'acheter des armatures préfabriquées avec les 4 armatures longitudinales de 10 ou 12 mm et les cadres de 6 mm (en fonction des disponibilités).

✓ *Note : la certification NF des armatures (logo « NF » sur les étiquettes) permet de repérer plus facilement celles qui sont aptes à être utilisées dans le cadre de la présente fiche.*

CONCEPTION DES STRUCTURES EN MAÇONNERIE

Lors de la réparation des murs en maçonnerie, il est nécessaire de vérifier que la conception initiale de la structure n'a pas été modifiée. Les principaux points sont listés ci-dessous.

Continuité des panneaux de contreventement

Mur de contreventement d'étage non fondé : non admis

Absence de transmission directe des efforts : non admis en maçonnerie et en béton armé, sous réserve pour les structures métalliques ou bois

Figure 16 : Continuité du contreventement

Comme indiqué sur la Figure 16, il faut toujours qu'un mur de maçonnerie résistant au vent soit supporté en totalité par un autre mur résistant. De plus, les chaînages doivent rester droits pour pouvoir reprendre les efforts de traction (Figure 17).

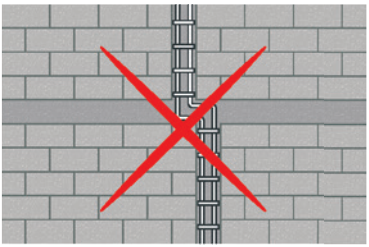


Figure 17 : Les chaînages doivent être linéaires

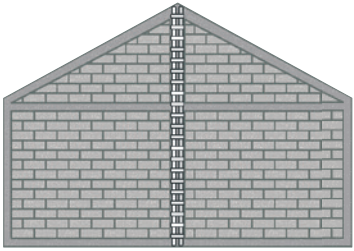


Figure 18 : Chaînage sur toute la hauteur

Les chaînages doivent aller des fondations jusqu'au sommet de la maison. Ils concernent notamment les murs pignon (Figure 18).

En élévation, les chaînages horizontaux sont situés au niveau de chaque plancher. Ils sont alors constitués *a minima* de 4HA12 avec des cadres HA6 tous les 150 mm.
Les chaînages verticaux peuvent être répartis de la manière indiquée sur la Figure 18. Il est nécessaire d'en implanter :

- 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 ;
- tous les 5 m maximum dans un mur plein.

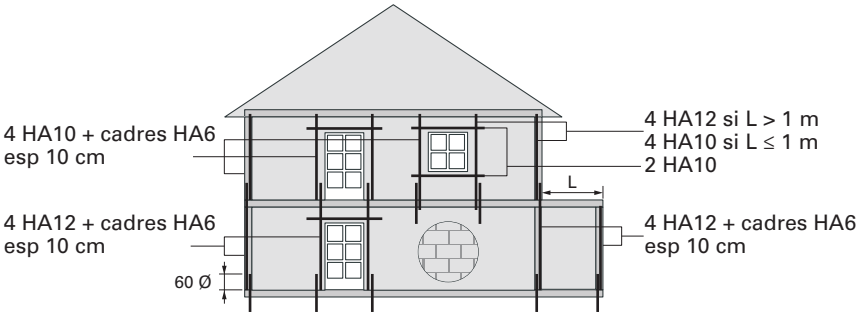


Figure 19 : Exemple de disposition des chaînages verticaux

RÉPARATION D'UN MUR COMPLET

Ce paragraphe présente les dispositions constructives à mettre en œuvre dans une paroi destinée à résister au vent et au séisme. Il s'agit de réparations lourdes qui doivent être confiées à un professionnel sur la base d'une conception réalisée par un bureau d'études.

Maçonnerie

Les éléments de maçonnerie sont mis en œuvre par empilement sur des joints de mortier. Un recouvrement des éléments est nécessaire pour assurer un bon comportement du mur (aussi appelé harpage ou décalage).

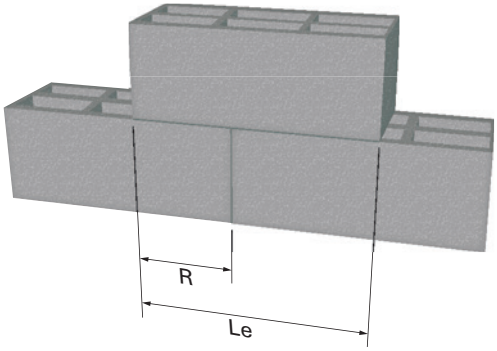


Figure 20 : Recouvrement des éléments

Le recouvrement R conseillé entre deux rangs superposés est situé entre 0,4 et 0,5 fois la longueur de l'élément (Le). Voir Figure 20.

Le mortier de joint est placé sur toutes les surfaces pleines de l'élément. Lorsque l'élément du dessus est mis en place, l'épaisseur de joint finale doit se situer entre 6 et 15 mm.

Du mortier doit également être mis en œuvre sur les parois verticales des éléments à l'avancement. L'objectif est d'avoir un joint d'environ 1 cm sur toute l'épaisseur du mur.

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 :

- le chaînage en coupe doit pouvoir contenir un carré de 15 cm de côté ;
- le chaînage est coulé après le montage de la maçonnerie ;
- il faut assurer un bon remplissage du chaînage. Une vigilance particulière est nécessaire pour les chaînages verticaux (bien respecter les indications ci-avant sur le béton). Le mieux est de vibrer le béton lorsque c'est possible ;
- les chaînages contiennent 4 armatures longitudinales au minimum (HA10 ou HA12) ;
- assurer les recouvrements d'armatures au niveau des liaisons avec un minimum de 60 fois le diamètre (60 ø). Cela représente 60 cm pour les HA10 et 72 cm pour les HA12.

Les figures 21 et 22 montrent les deux dispositions possibles en angle. Deux points d'attention :

1) Les armatures de liaison doivent avoir la même section que les armatures de chaînage (HA10 ou HA12).
2) Les recouvrements (marqués 60 ø sur les schémas) concernent chacune des 4 barres du chaînage.

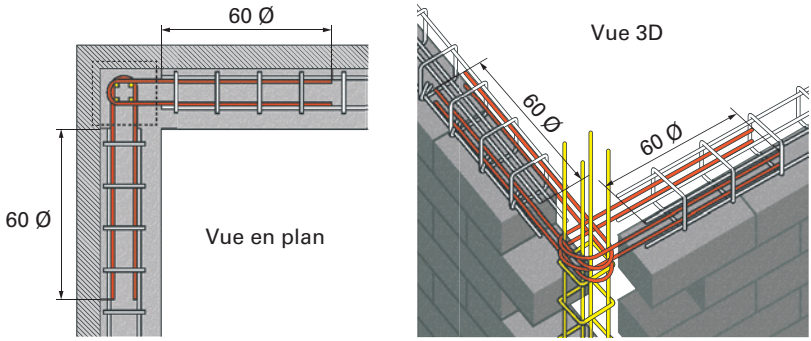


Figure 21 : Liaison en angle avec boucles

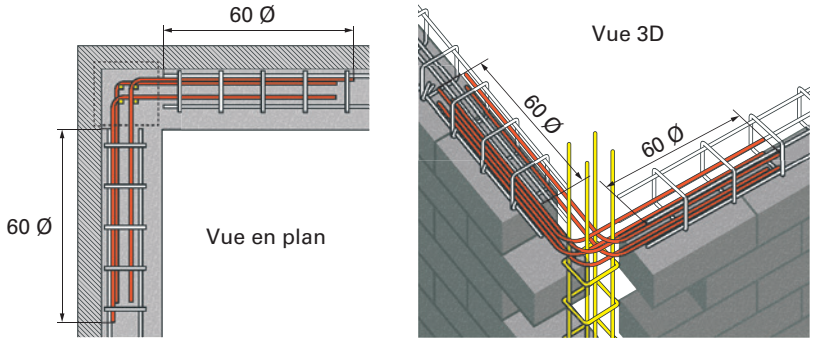


Figure 22 : Liaison en angle avec équerres

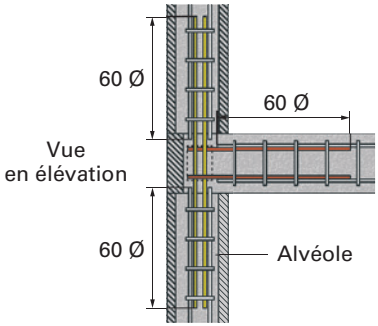


Figure 23 : Liaison avec un plancher en béton armé

Le détail sur la Figure 23 se situe à la liaison d'un plancher et d'un chaînage vertical en partie courante d'un mur. Les points d'attention sont les mêmes qu'en angle.

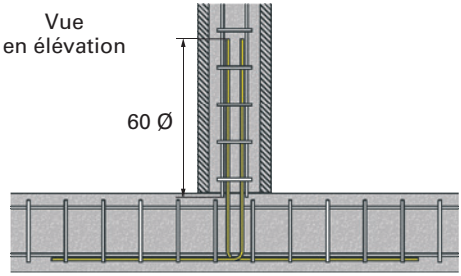


Figure 24 : Liaison avec un refend

La Figure 24 représente la liaison entre un mur intérieur en maçonnerie et un mur filant de façade en béton. Il serait identique avec une façade en maçonnerie.

SAIGNÉES

Il faut éviter au maximum de réaliser des saignées destinées aux réseaux dans les murs de maçonnerie devant résister au séisme et au vent. Si elles sont nécessaires, le rebouchage des saignées doit être tel que le monolithisme soit reconstitué. Ceci implique un rebouchage au mortier de ciment dosé à 350 kg /m³ avec un adjuvant à base de résine ou l'utilisation d'un mortier de réparation structural.

Dans tous les cas, la largeur maximale autorisée pour les saignées est de 60 mm. Deux saignées verticales successives parallèles doivent être distantes d'au moins 1,20 m. Dans le cas où un mur primaire comporte plus de deux saignées verticales, il ne doit pas comporter de saignée horizontale.

✓ *Note : les saignées sont interdites dans les linteaux et chaînages.*

OUTILLAGE ET STOCKAGE

L'outillage est très classique pour les maçons. 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.

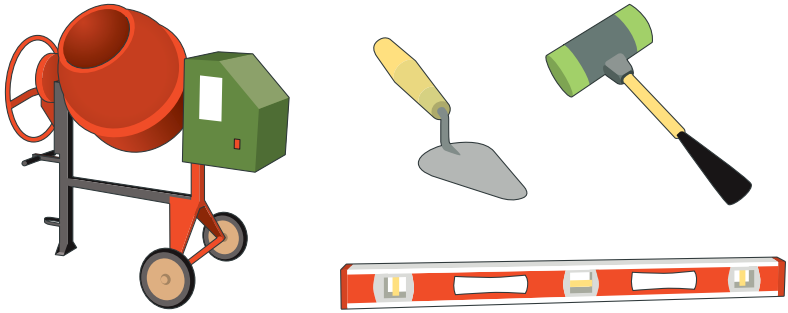


Figure 25 : Outillage

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 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.

ENTRETIEN

L'entretien des structures en maçonnerie est à réaliser une fois par an, à l'approche de la saison cyclonique. À cette occasion, une inspection peut être réalisée pour s'assurer qu'il n'y a pas de dégradation prématurée.

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.

Lexique

Armatures : barres d'acier craneté en usine destinées à être mises en œuvre dans du béton.

Chaînage : éléments en béton armé coulé autour des éléments en maçonnerie et destinés à améliorer la résistance du mur.

Élément de maçonnerie : bloc de béton ou brique de terre cuite répondant aux exigences mentionnées dans la présente fiche.

Granulats : sable et gravier destinés à être intégrés dans du béton.

Mortier de réparation : mortier prêt à l'emploi ou à gâcher disposant d'une formulation spécifique permettant de remplacer un béton dégradé.

Recouvrement d'armature : distance de superposition de deux armatures pour assurer le transfert des efforts de l'une à l'autre.

Recouvrement d'éléments : aussi appelé harpage ou décalage de bloc, il correspond au décalage des éléments de maçonnerie d'un rang sur l'autre.

Références

NF DTU 20.1 (P10-202) : Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs

Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles « Guide CP-MI Antilles » - Recommandation AFPS tome IV.

Règles Antilles – révision 1992.

Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie.

Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes.

Règles de construction parasismiques des maisons individuelles CPMI-EC8 ZONE 5.

✓ *Note : toutes les dimensions sont données par défaut. Un concepteur peut y déroger moyennant des calculs conformes au NF DTU 20.1 et aux Eurocodes 6 et 8.*

Crédit photos :
CAUE Guadeloupe.
DEAL Martinique et Guadeloupe.
Délégation interministérielle pour la reconstruction des îles de Saint-Barthélemy et Saint-Martin.

Illustrations :
Laurent Stefano

BUILD WELL!

GUIDE DE BONNES PRATIQUES POUR LA CONSTRUCTION ET LA RÉHABILITATION DE L'HABITAT

WWW.SAINT-BARTH-SAINT-MARTIN.PREF.GOUV.FR – WWW.COM-SAINT-MARTIN.FR

PRÉFECTURE : 05 90 52 30 50 – SERVICE URBANISME DE LA COLLECTIVITÉ : 05 90 52 27 30

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Saint-Martin
Caraïbe Française French Caribbean

CSTB
le futur en construction