



# REMERCIEMENTS

Le MTPTC remercie vivement les organisations et les individus suivants pour leurs contributions tant financières que techniques dans l'élaboration de ce document.

WORLBANK

UNOPS

BUILD CHANGE

MIYAMOTO

Cooperation Suisse

## TABLE DES MATIÈRES

A - INTRODUCTION	4
B - LE RENFORCEMENT PARASISMIQUE	
1 - Analyse du comportement d'un bâtiment lors d'une secousse sismique	5
2 - Les défauts du comportement d'une construction lors d'un séisme	10
3 - Le diagnostic d'un bâtiment	
3.1 Objectifs du diagnostic préalable au renforcement	23
3.2 Le diagnostic qualitatif	23
3.3 Le diagnostic quantitatif	27
4 - Eléments non structurels	33
5 - Solutions de renforcement	35
C - LE RENFORCEMENT PARACYCLONIQUE	
1 - Analyse du comportement d'un bâtiment lors d'un cyclone	59
2 - Les solutions de renforcement d'une couverture	59
D - EVALUATION DES COÛTS DE RENFORCEMENT	66
E - BIBLIOGRAPHIE	68
F - ANNEXES TECHNIQUES	

## A. INTRODUCTION

Le tremblement de terre du 12 janvier 2010 a tué de très nombreuses personnes. Il a occasionné 1,3 million de sans-abris et 766 000 personnes ont trouvé refuge dans des villes non sinistrées. Par conséquent, la première priorité a été de réparer et de reconstruire les maisons endommagées et détruites, de sorte que les personnes déplacées puissent retourner dans leurs maisons réparées. Mais il ne faut pas oublier que les bâtiments qui ont résisté au séisme du 12 janvier 2010 ne seront peut-être pas aptes à en subir un autre en l'état car ils ont été fragilisés par ce tremblement de terre. Par ailleurs le renforcement des bâtiments doit être étudié afin de faire face aux séismes et aux cyclones. La Direction des Travaux Publics du MTPTC à travers le Bureau Technique d'Évaluation de Bâtiments (BTEB) est au cœur des principales activités de réparations et de reconstruction. Par conséquent le renforcement des bâtiments et la mitigation des risques font partie intégrale des sujets sur lesquels le Ministère est impliqué.

### - Objectifs

Etant donné que Haïti se trouve dans une zone à haut risque de séismes et de cyclones, il est absolument obligatoire non seulement penser à la réparation et à la reconstruction dans les zones affectées, mais également de proposer des solutions et de prendre des mesures de renforcement des bâtiments dans toutes les zones à risque d'Haïti afin d'atténuer les effets des catastrophes pouvant se produire à l'avenir. Le Ministère des Travaux Publics, des Transports et des Communications (MTPTC) d'Haïti travaille avec ses partenaires pour faciliter la coordination et le développement d'un Guide de Renforcement Parasismique et Paracyclonique des Bâtiments, de compréhension facile et venant en complément des ouvrages publiés par le Ministère à savoir : le Guide des Bonnes Pratiques pour la construction des petits bâtiments (GBP), le Guide des Réparations (GR), et les Règles de Calcul Intérimaires pour la Construction des Bâtiments en Haïti. Le public visé devra pouvoir s'approprier facilement ce nouveau guide. On ne saurait terminer cette introduction sans mentionner que le Code National des Bâtiments Haïtien (CNBH) est en élaboration et sera publié au courant de l'année 2012 en s'appuyant sur l'IBC et l'IRC.





# **B - LE RENFORCEMENT PARASISMIQUE**

# 1-Analyse du comportement d'un bâtiment lors d'une secousse sismique

Lors d'un séisme, les déplacements du sol engendrent dans le bâtiment des forces en réponse. Alors que les éléments solidaires du sol suivent ces déplacements, les parties en élévation ne suivent pas instantanément ces déplacements et il s'ensuit une déformation de la structure. Les efforts maximum se reportent aux angles du bâtiment.

Certaines dispositions de la structure sont préjudiciables à la bonne tenue du bâtiment au séisme. Les exemples suivants montrent le rôle déterminant de ces défauts de conception de la structure, défauts qui doivent être corrigés par des renforcements.

La transmission des forces sismiques horizontales et verticales s'effectue des planchers aux panneaux de contreventement et aux fondations.

## Les effets des séismes sur les sites et les sols

Les effets engendrés par les tremblements de terre sont de deux natures différentes :

- Les effets directs concernent deux phénomènes : d'une part le déplacement sur la faille à l'origine du séisme, qui peut être très dangereux pour les constructions, lorsqu'il atteint la surface; d'autre part la propagation des ondes sismiques dont l'amplitude et la durée sont très influencées par la géométrie et les propriétés géotechniques du sol situé en dessous du bâtiment. Les sols présentant de mauvaises caractéristiques mécaniques ont en particulier la propriété d'amplifier les mouvements sismiques: on parle alors d'effets de site.
- Les effets indirects sont des phénomènes associés à une cause induite par l'ébranlement du sol qui entraîne, sous l'effet des vibrations, une rupture de la cohésion des sols. Les glissements de terrain, la liquéfaction des sols, l'affaissement ou le tassement des terrains sont de tels effets que l'on nomme aussi «effets induits». Les tsunamis (raz-de-marée dus à la propagation d'une onde marine) constituent également un phénomène indirect.

Problèmes de site qui peuvent empêcher un renforcement et indiquer une destruction de la maison

- 1- Présence d'une faille active : s'assurer que le site n'est pas traversé par une faille qui peut entraîner des mouvements différentiels en surface. Si une maison est construite sur la faille ou

**Pour avoir un bon comportement lors du séisme, le bâtiment doit comprendre :**

**- des diaphragmes horizontaux (planchers et/ou toiture).**

**- des chaînages.**

**- un nombre suffisant de panneaux de contreventement verticaux (murs spécifiques).**

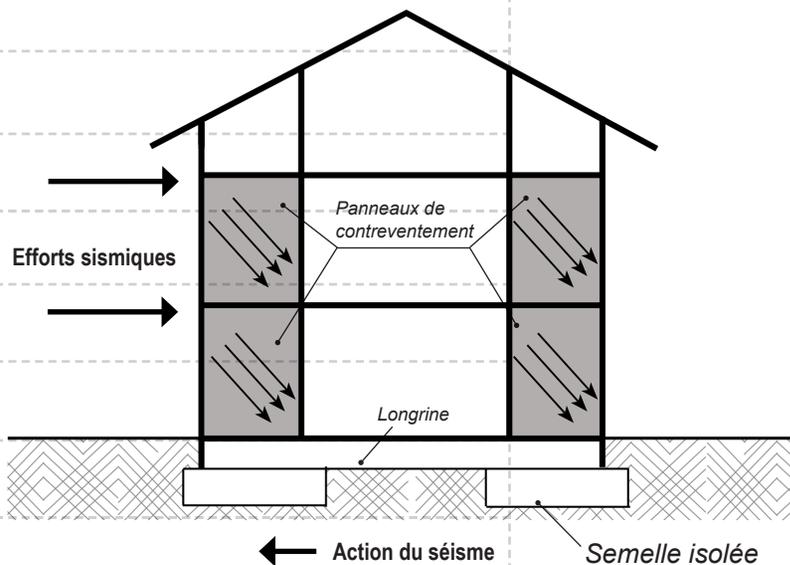
**- des fondations et leurs liaisons correspondantes (longrines, chaînages).**

dans une bande de 50 m de largeur de part et d'autre de son tracé précis il ne sert à rien de la renforcer.

2- Effet de site topographique : les sites avec des pentes supérieures à 35% (inclinaison de 20°) sont à éviter en zone sismique. Si une maison est construite sur ce type de site il ne sert à rien de la renforcer.

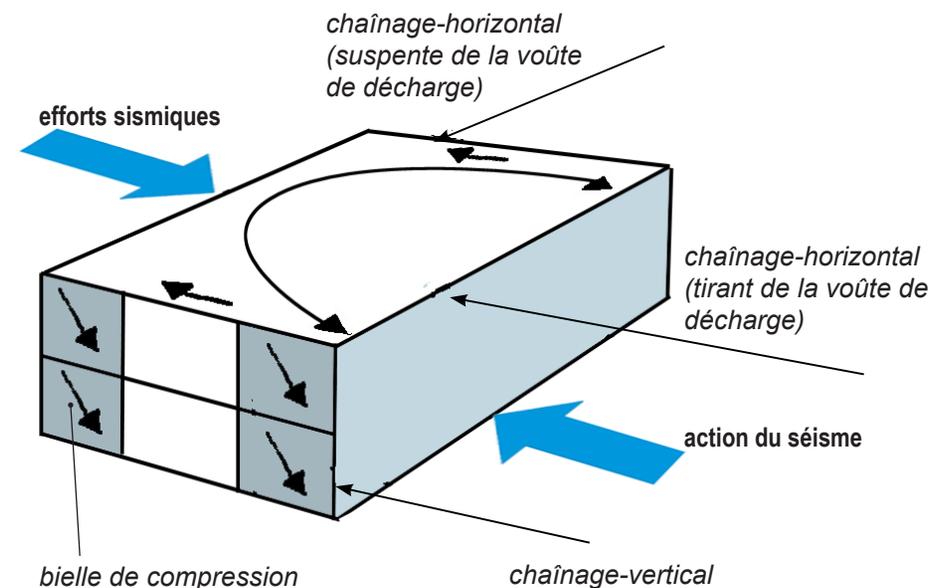
3- Si la maison est construite sur une zone liquéfiable (sables en bordure de mer ou alluvions en bordure de rivière) il ne sert à rien de la renforcer.

4- Si des mouvements de terrain (glissements de terrain et chutes de blocs) peuvent affecter une maison située en rebord ou en pied de falaise il ne sert à rien de la renforcer.



Transmission de l'effort sismique des panneaux de contreventement aux fondations

Dessins 1 & 2 : Comportement d'un bâtiment lors d'un séisme.

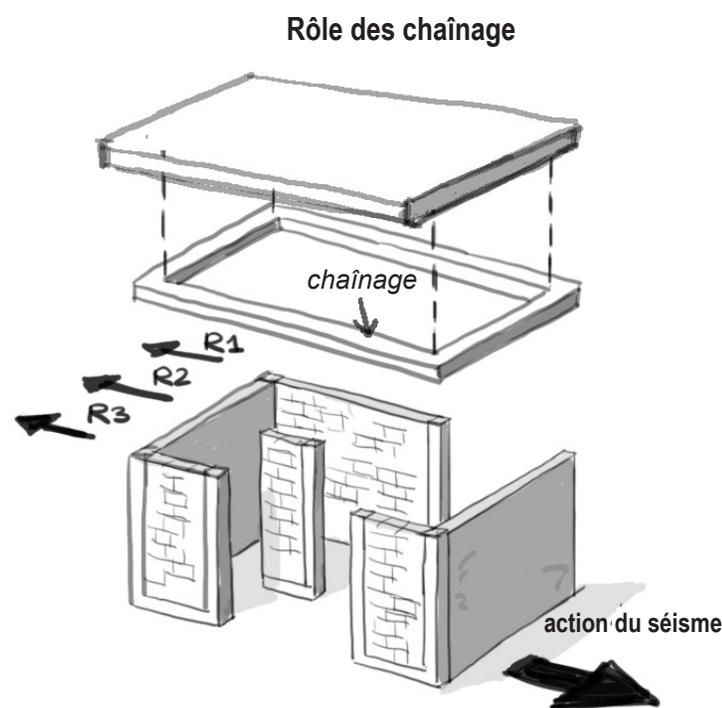
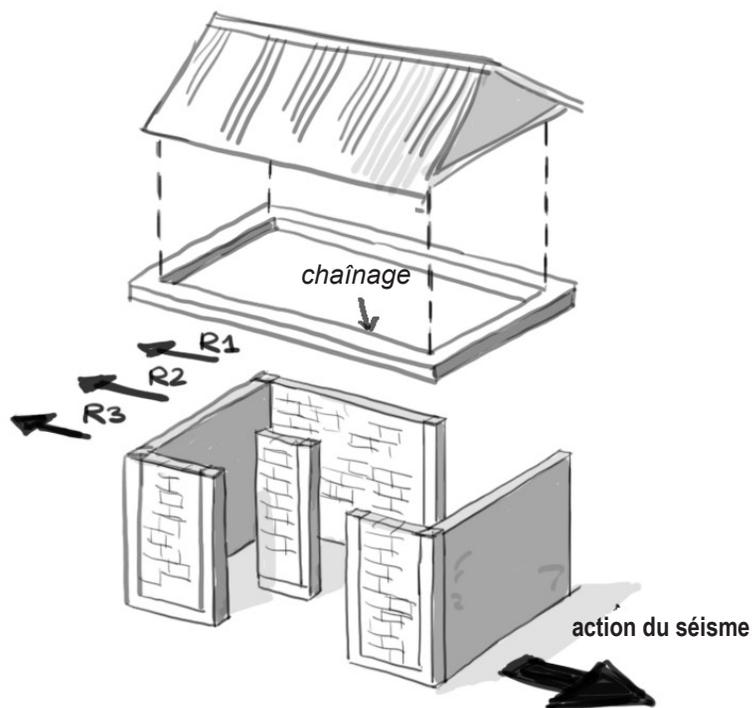


Rôle des chaînage

### Les planchers

Les planchers et la toiture lourde doivent être conçus et dimensionnés de manière à présenter une rigidité suffisante, eu égard à leur déformabilité en plan de façon à assurer une fonction de diaphragme, c'est-à-dire de transmission des efforts.

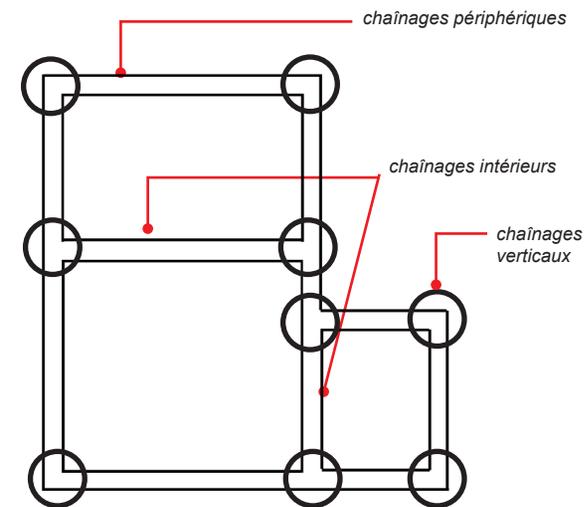
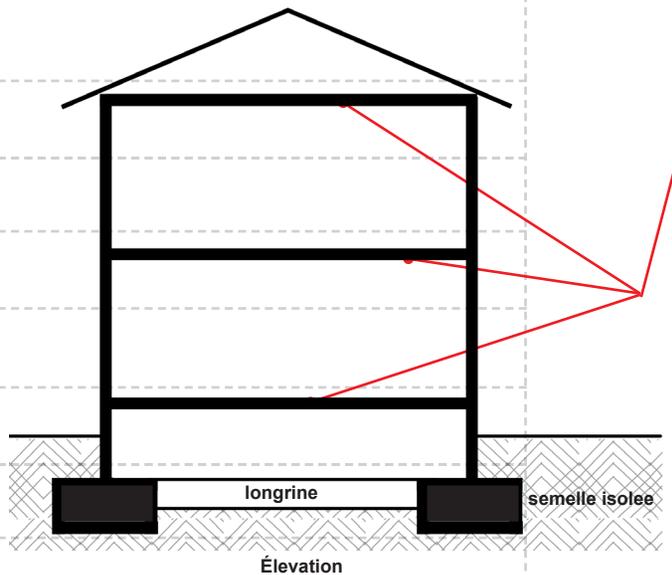
Dans le cas où la toiture est légère, les forces sismiques perpendiculaires aux murs sont reprises par ces derniers, les murs qui leur sont perpendiculaires et les structures des planchers, qui fonctionnent comme diaphragme, s'ils existent.



Dessins.3 & 4- : Les planchers et la toiture

## Les chaînages

Les chaînages, avec leurs armatures, forment un réseau entre eux et entre les planchers, les éléments du contreventement de la structure. Dans le plan du plancher, le chaînage périphérique horizontal joue à la fois le rôle de tirant pour sous-tendre la voûte de décharge et de tendeur pour remonter les efforts au droit des panneaux de contreventement (voir dessin2, p. 9). Dans le panneau de contreventement, le chaînage périphérique joue un rôle de montant et de membrure (voir Dessin 2).

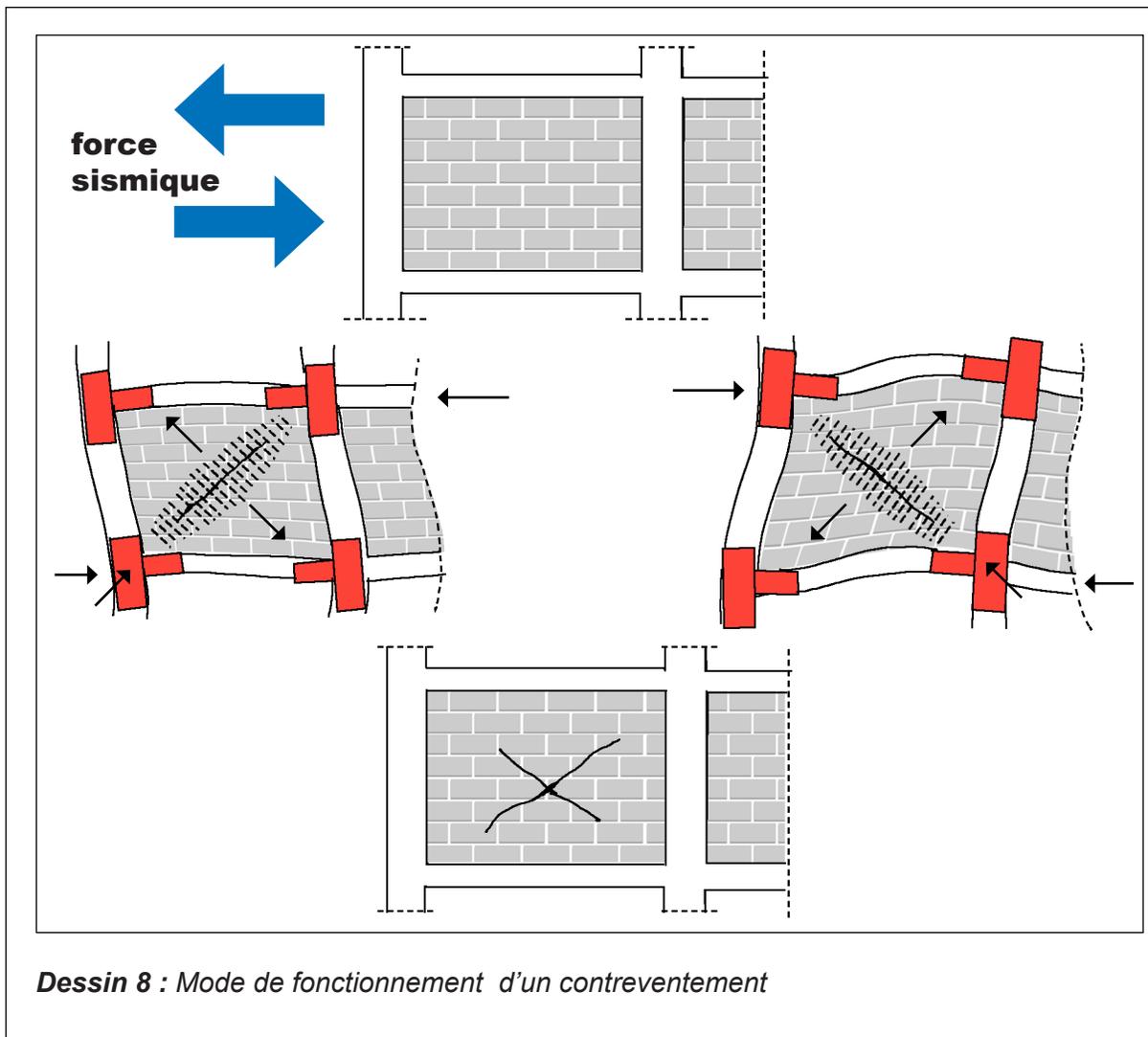


vue en plan des positions des chaînages

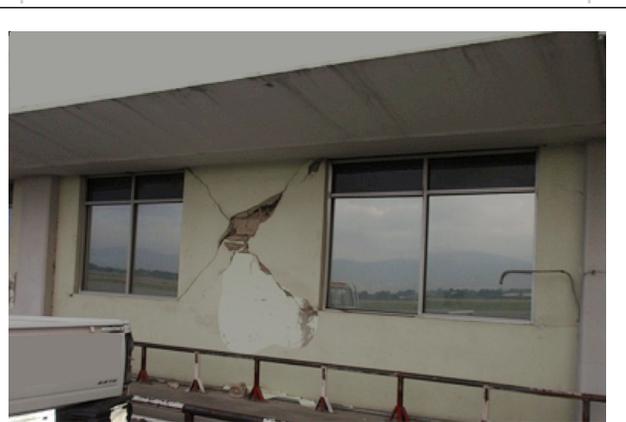
Dessins 5 & 6 : Les chaînages verticaux et horizontaux

### Les murs de contreventements

Les contreventements sont des murs pleins qui servent à transmettre les forces sismiques horizontales et verticales des planchers aux fondations. Ils doivent être reliés aux planchers et aux fondations et reliés entre eux par des chaînages.



**Dessin 8 : Mode de fonctionnement d'un contreventement**



**Dessin 7 : Rupture en croix d'un contreventement**

## 2 - Les défauts du comportement d'une construction lors d'un séisme

### Le séisme

Lors d'un séisme, les déplacements du sol engendrent dans la maison individuelle des forces en réponse. Alors que les éléments solidaires du sol suivent ces déplacements, les parties en élévation ne suivent pas instantanément ces déplacements et il s'ensuit une déformation de la structure. Les efforts maximum se reportent aux angles du bâtiment.



*Dessin 9 : Action du séisme sur un bâtiment*

Certaines dispositions de la structure sont préjudiciables à sa bonne tenue au séisme. Les exemples suivants montrent le rôle déterminant de ces défauts de conception de la structure, défauts qui doivent être corrigés par des renforcements.

### Défauts de fondations :

Les fondations reçoivent les efforts sismiques depuis les toitures les chaînages, les planchers, et les contreventements, et les transmettent au sol dans lequel elles se dissipent.

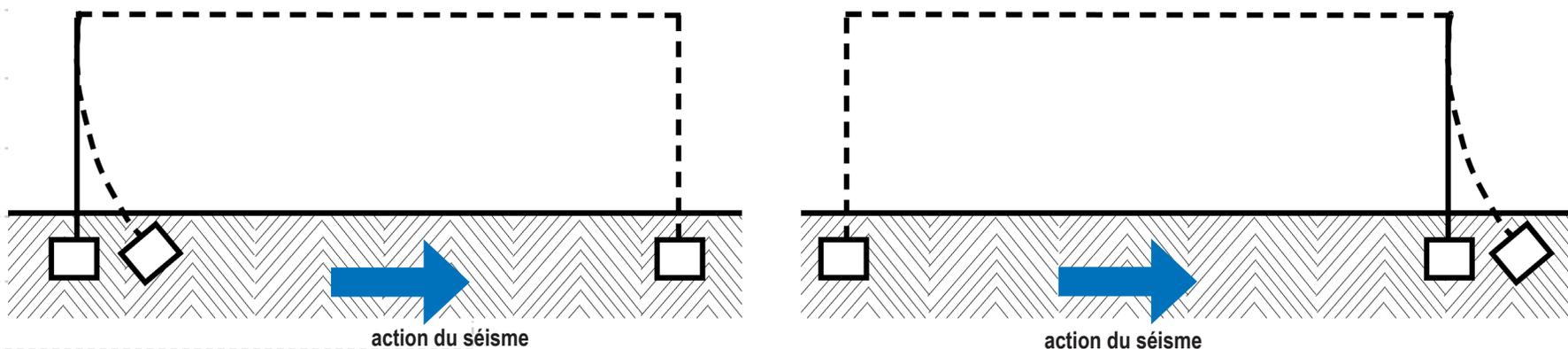
Elles doivent être reliées aux contreventements et reliées entre elles par des longrines.

#### Semelles isolées non reliées par des longrines

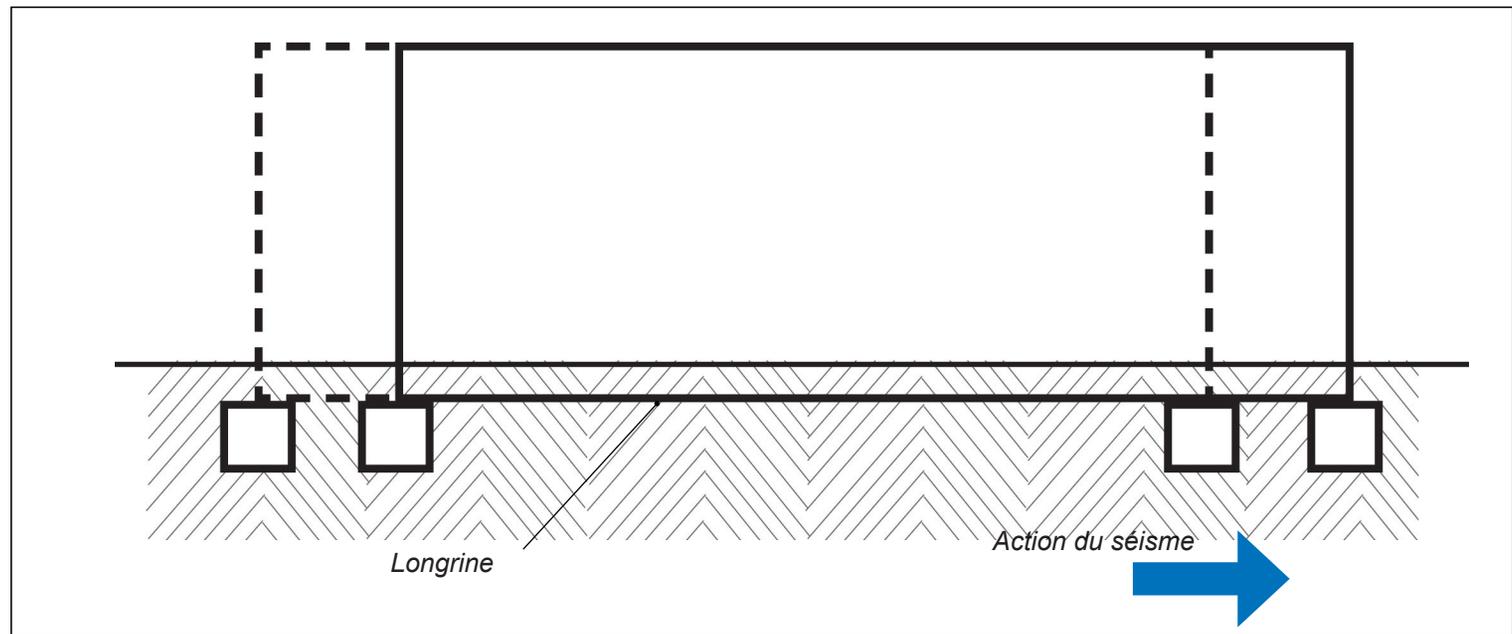
Lorsque ce défaut est constaté se reporter au paragraphe «FON - Liaisons des fondations» pour les solutions de renforcement.

On doit réaliser des longrines pour lier les têtes de fondations lorsque les fondations ne sont pas suffisamment profondes. Les semelles isolées non reliées par des longrines peuvent en effet sous une action sismique présenter des déplacements indépendants, susceptibles d'entraîner des désordres graves, voire l'effondrement de la maison. Il est donc nécessaire que chaque semelle isolée soit reliée par un réseau croisé de longrines selon les deux directions principales du bâtiment. Dans ce cas on mettra en œuvre la solution de renforcement «FON - Liaisons des fondations».

#### Murs sans semelles filantes



Dessin 10 : Effets de l'action sismique lorsque les fondations ne sont pas reliées par des longrines



**Dessin 11 :** Effets de l'action sismique lorsque les fondations sont reliées par des longrines

### Défauts de planchers et/ou de toitures

Lorsque le plancher ou la toiture est constitué de béton réalisé avec du sable blanc type «la Boule» au lieu de sable de silice, si les armatures du plancher ou de la toiture sont apparentes en surface, si ces armatures ne sont pas reliées aux chaînages, s'il n'y a pas de chaînage, si certaines parties de la dalle se sont effondrées, le plancher ou la toiture n'assure alors pas sa fonction de diaphragme, il faut le démolir et le remplacer par:

1 - une toiture légère respectant les conditions paracycloniques dans le cas d'un bâtiment à un niveau.

2 - Par un nouveau plancher et/ou une nouvelle toiture légère ou lourde dans le cas d'un bâtiment à deux niveaux.

Lorsqu'il y a un défaut de liaison du plancher aux contreventements, il faut créer ces liaisons. Se reporter au paragraphe «PLAN - Renforcement des liaisons d'un plancher poutrelles-blocs de béton existant» pour les solutions de renforcement.

### Défauts de chaînages horizontaux, verticaux ou d'ouvertures.

Les chaînages, avec leurs armatures, forment un réseau entre eux et entre les planchers, les éléments du contreventement de la structure. Lorsque l'un des défauts suivants est constaté se reporter au paragraphe: «CHAI - Renforcement par ajout de chaînages, pour les solutions de renforcement».

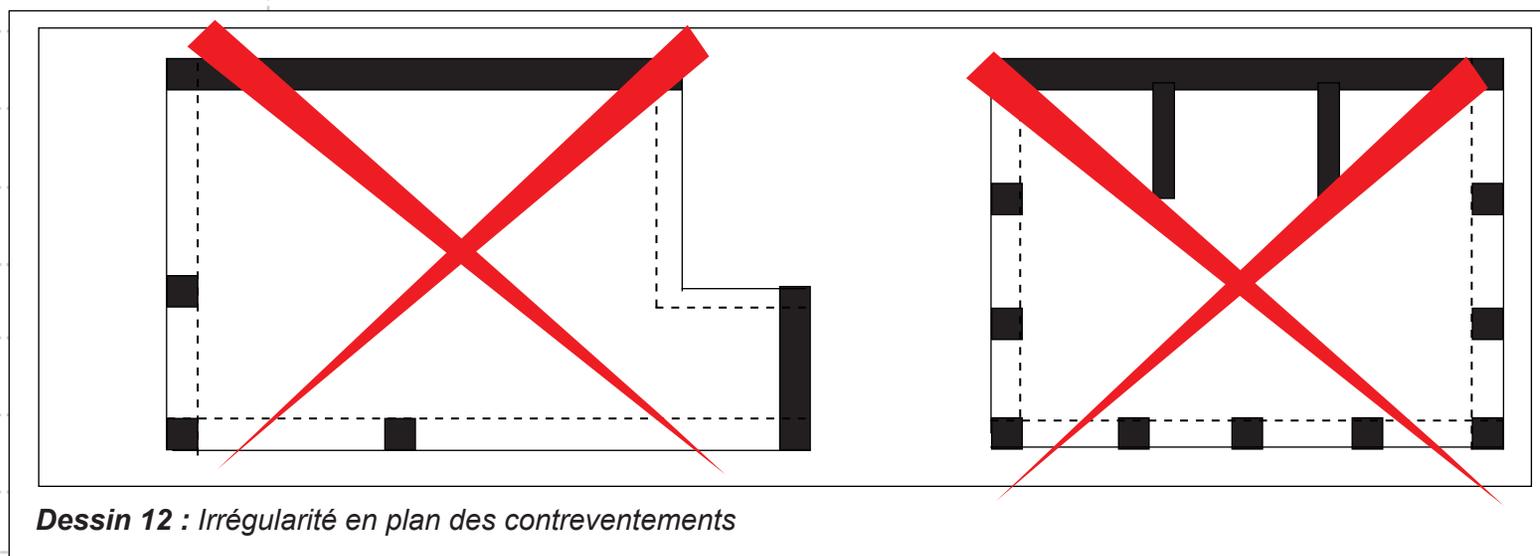
On peut aussi remplir une ouverture au lieu de la chaîner : se reporter au paragraphe: «OUV - Remplissage d'ouvertures».

### Défauts de contreventements

Lorsque l'un des défauts suivants est constaté se reporter au paragraphe: «CONT - Renforcement par ajout ou renforcement de murs de contreventements), pour les solutions de renforcement.

**Irrégularité en plan des contreventement :** Disposition non symétrique des éléments de contreventement. Cette irrégularité, par l'effet de torsion induite, va entraîner des déformations et des ruptures dans le bâtiment. Un bâtiment doit être suffisamment contreventé dans les deux directions.

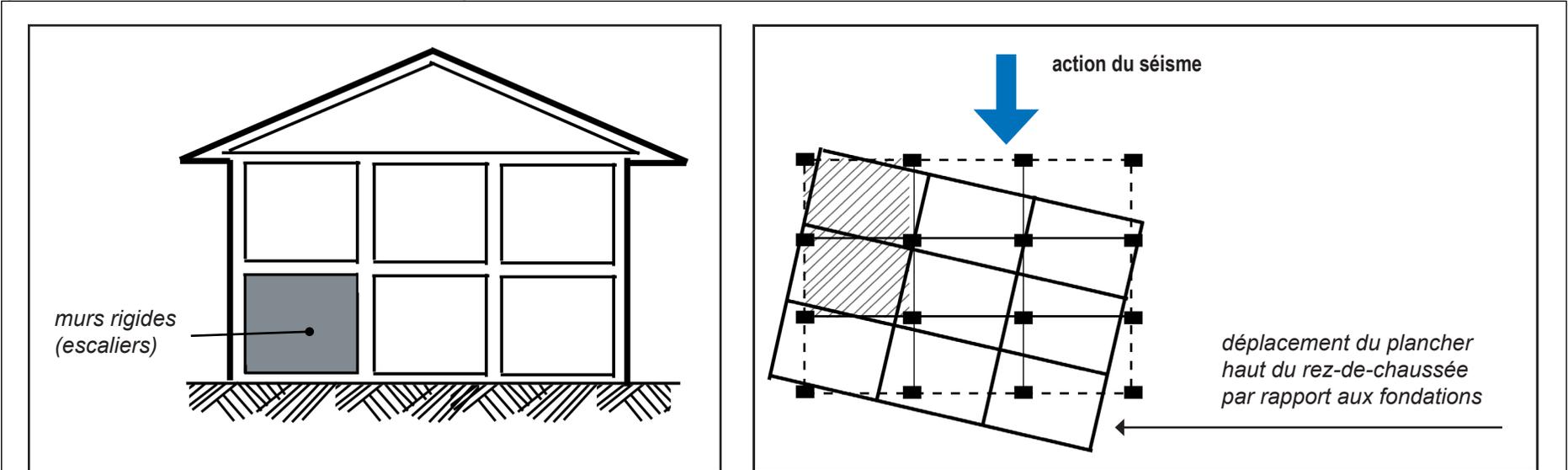
Pour la solution à ce défaut se reporter au paragraphe: «CONT1 - Le dimensionnement de la répartition et du dimensionnement en plan des panneaux de contreventement et CONT2 - Le principe de dimensionnement de chaque panneau de contreventement».



**Phénomène de torsion :**

La présence au rez-de-chaussée de murs rigides excentrés (cage d'escalier, pièce fermée ...) et de poteaux plus souples (de type pilotis), peut provoquer, sous une action sismique, une torsion d'axe vertical : la sollicitation des poteaux d'angle est alors très importante et peut même se traduire par leur destruction.

Pour la solution à ce défaut se reporter au paragraphe: «CONT1 - Le dimensionnement de la répartition et du dimensionnement en plan des panneaux de contreventement» et «CONT2- Le principe de dimensionnement de chaque panneau de contreventement».



**Dessin 13 : Phénomène de torsion**

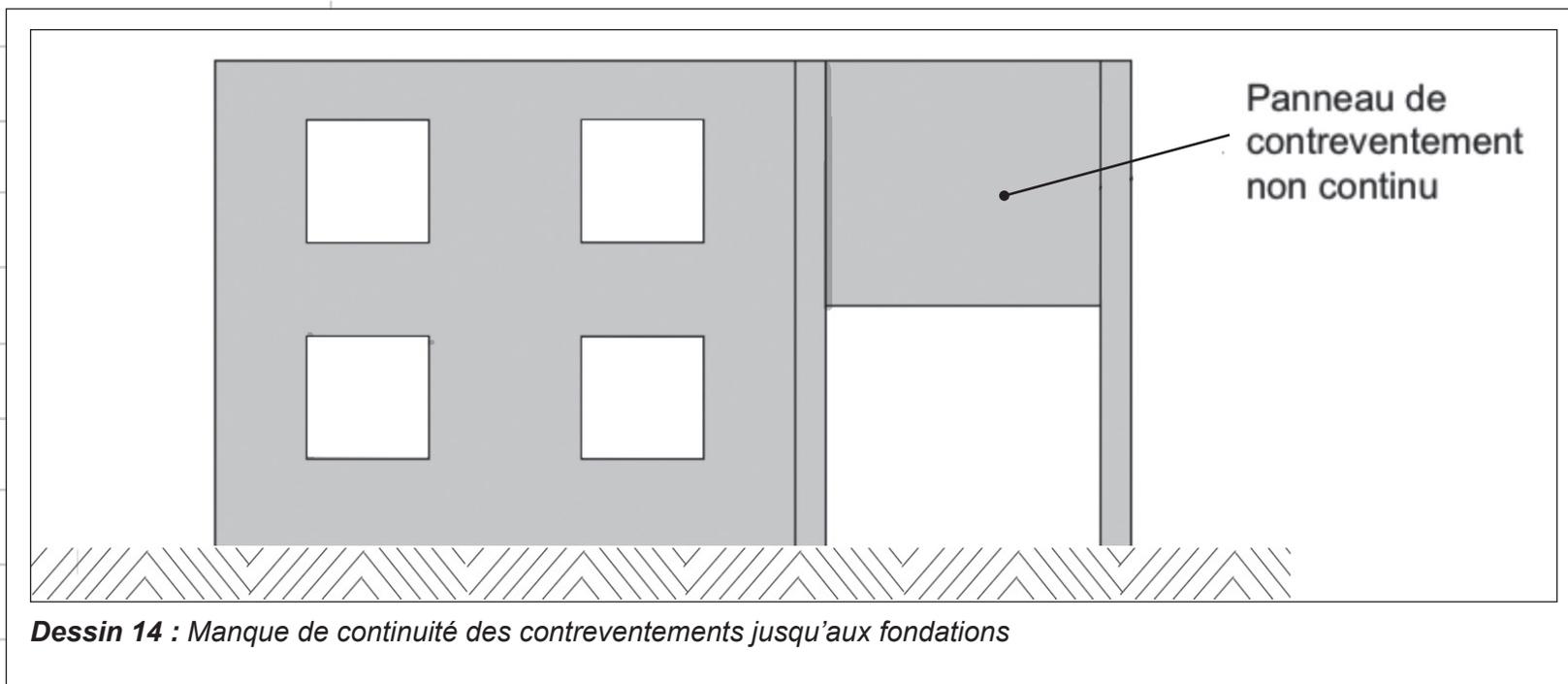


## Irrégularités en élévation

### - **Manque de continuité des contreventements de sommet jusqu'aux fondations :**

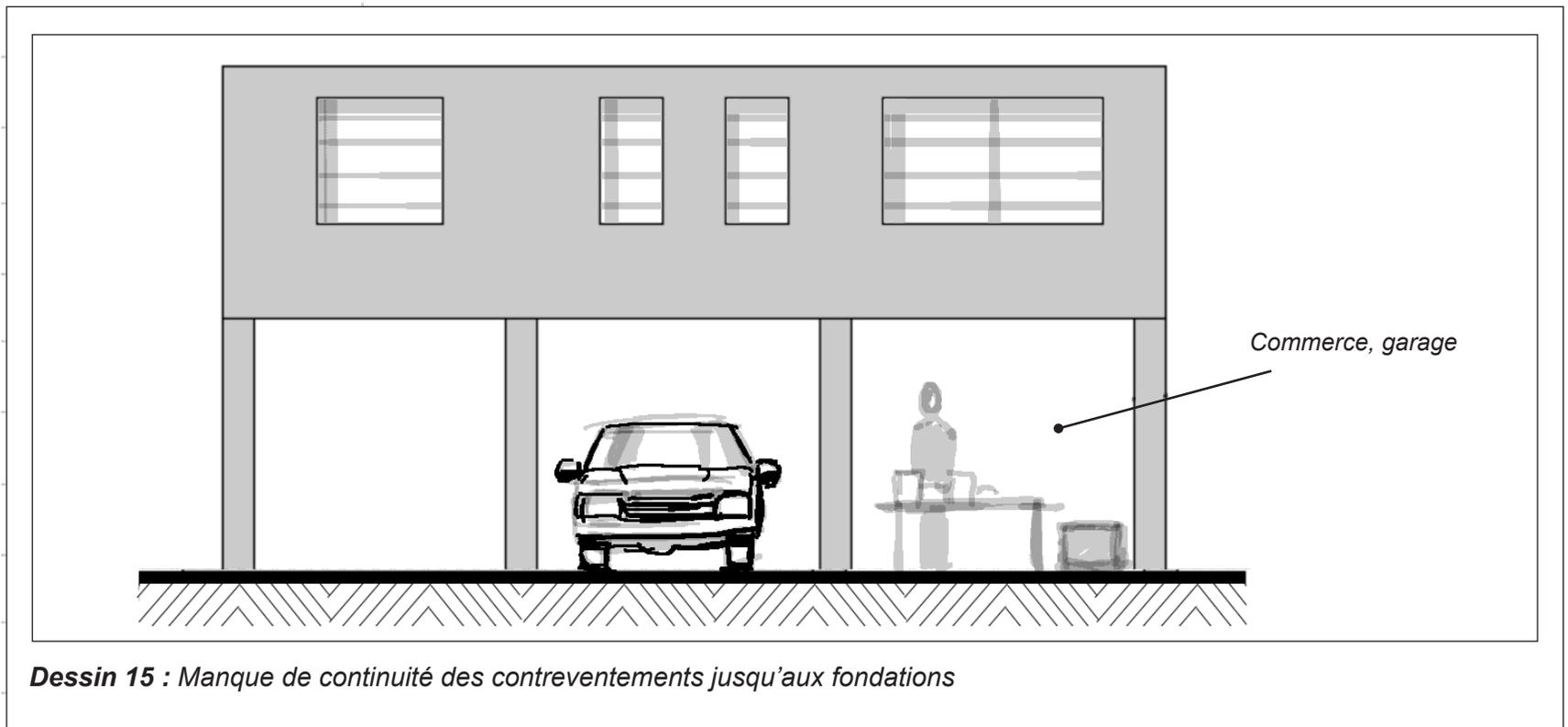
Cette irrégularité, par l'effet de la non linéarité de la transmission des efforts sismiques, va entraîner des déformations et des ruptures dans le bâtiment. La configuration en élévation des constructions doit être telle que chaque élément de contreventement doit être continu de son sommet jusqu'à sa fondation. De plus, l'écart entre les surfaces des divers planchers du bâtiment ne doit pas excéder 20 %. Au-delà de cette limite, un joint doit être prévu au niveau des décrochements.

Pour remédier à ce défaut, se reporter aux paragraphes: «*CONT3 - Le renforcement par ajout de murs de contreventement en voiles béton*» et «*CONT5 - Contreventement par remplissage d'un portique en voile de béton armé*».



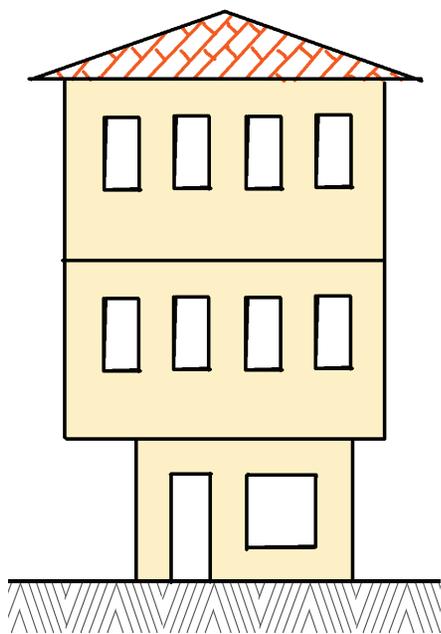
- **Niveau Transparent** : Lorsqu'un niveau est beaucoup moins raide que les niveaux supérieurs ou inférieurs, il se produit une irrégularité de la distribution des efforts sismiques dans le bâtiment et les niveaux les plus souples sont détruits par le séisme, à cause de l'effet de la différence de raideur entre les niveaux.

Pour remédier à ce défaut, se reporter aux paragraphes: «*CONT3 - Le renforcement par ajout de murs de contreventement en voiles béton*» et «*CONT5 - Contreventement par remplissage d'un portique en voile de béton armé*».



- **Encorbellement ou Porte-à-faux** : Lorsqu'un niveau supérieur est construit en porte-à-faux par rapport au niveau inférieur ou lorsqu'il existe des éléments en porte-à-faux (auvents, balcons) de portée supérieure à 1,00 m, il peut y avoir cassure, renversement, destruction ou chute de ces éléments.

Lorsque ces irrégularités existent, se reporter au paragraphe: «PAF - Renforcements de balcons, d'encorbellements ou d'auvents) pour des solutions de renforcement»



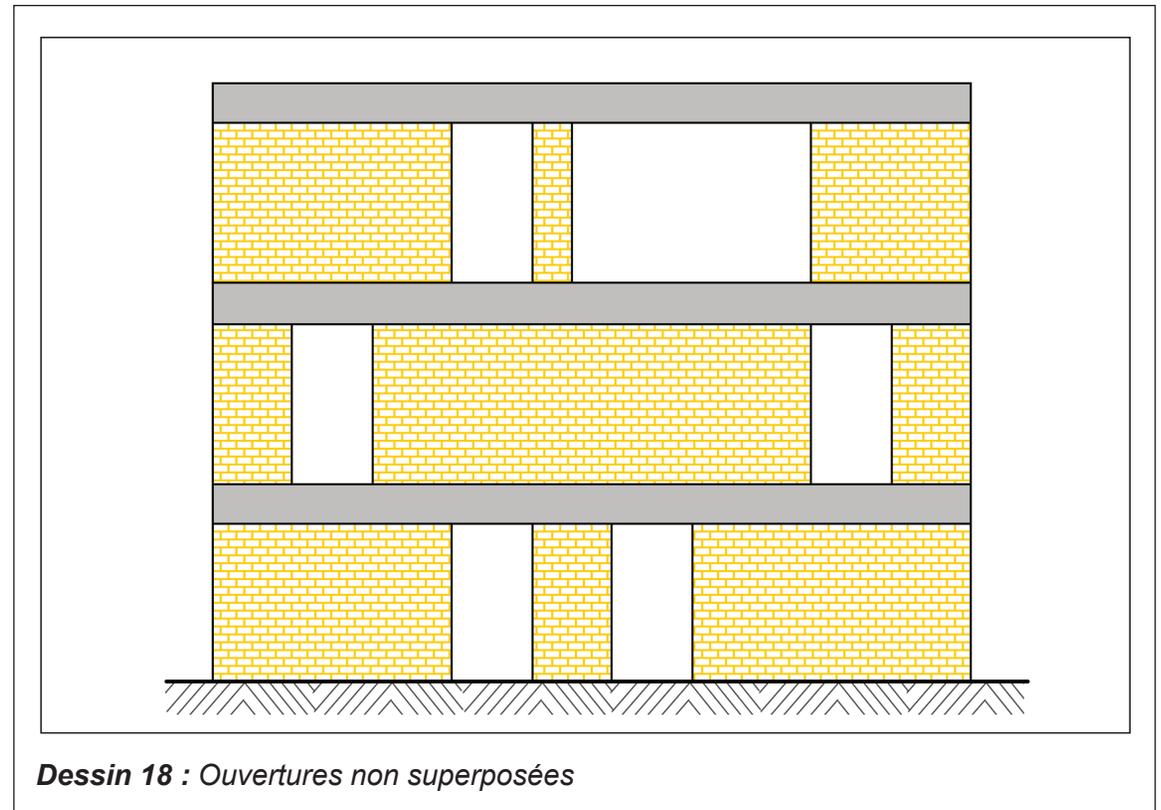
Dessin 16 : Encorbellement



Porte-à-faux : balcon et auvent

- **Ouvertures non superposées** : Lorsque les ouvertures ne sont pas superposées, cela ne permet pas une bonne transmission des efforts sismiques jusqu'aux fondations.

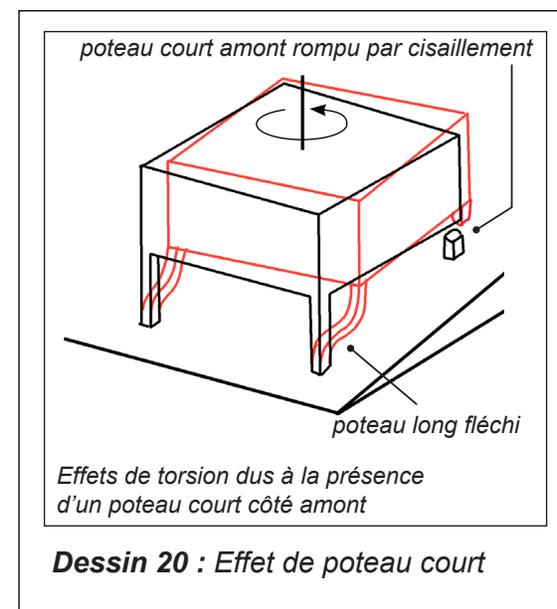
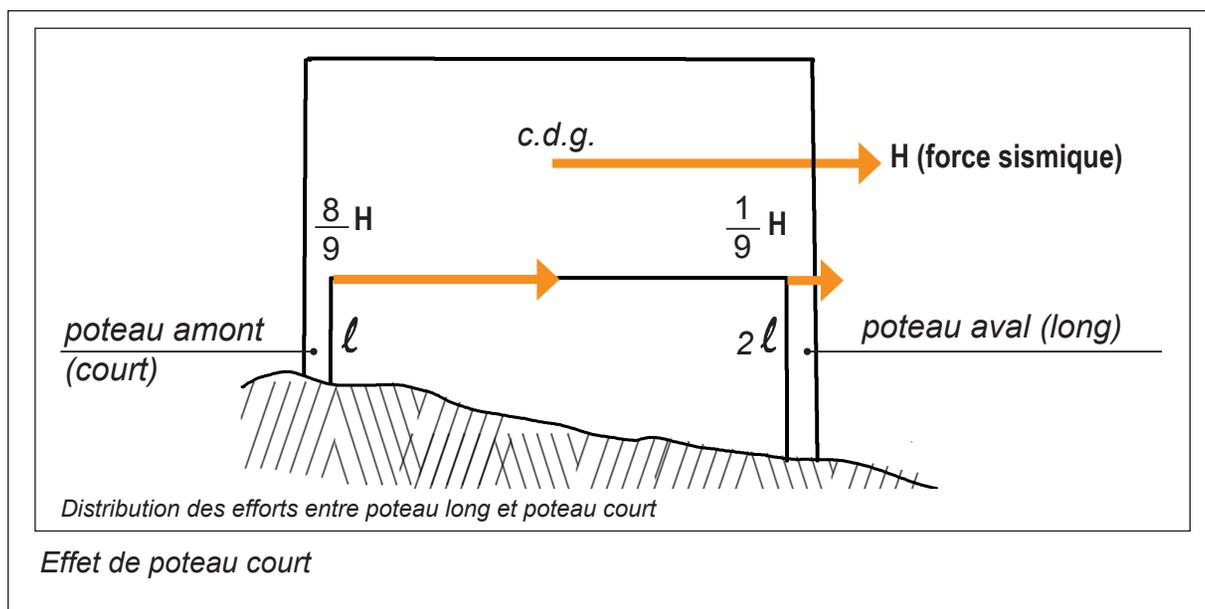
Pour remédier à ce défaut, se reporter au paragraphe: «OUV - Remplissage d'ouvertures».



### - Effets de poteaux courts

Le phénomène de poteaux courts intervient quand un bâtiment présente à un même niveau des poteaux de hauteur différente et de même section transversale.

Considérons par exemple au niveau de rez-de-chaussée sur un terrain en pente, deux poteaux présentant des sections géométriques et des caractéristiques mécaniques identiques: un poteau amont d'une longueur  $L$  et un poteau aval d'une longueur  $2L$ . En soumettant la superstructure à une charge horizontale  $H$ , le poteau amont (le plus court) subit une charge de  $\frac{8}{9}$  de  $H$  alors que le poteau aval ne subit qu'une charge de  $\frac{1}{9}$  de  $H$ .



Dans le cas d'un terrain en pente, et d'une maison sur poteaux, les charges sismiques s'exercent beaucoup plus sur les poteaux les plus courts, les plus raides. Il s'ensuit un phénomène de torsion d'axe vertical de la construction engendrant le cisaillement des poteaux les plus courts pouvant entraîner l'effondrement de la maison.

Pour remédier à ces défauts, se reporter aux paragraphes: «CONT3 - Le renforcement par ajout de murs de contreventement en voiles béton» et «CONT5 - Contreventement par remplissage d'un portique en voile de béton armé».

### - **Présence de colonnes libres**

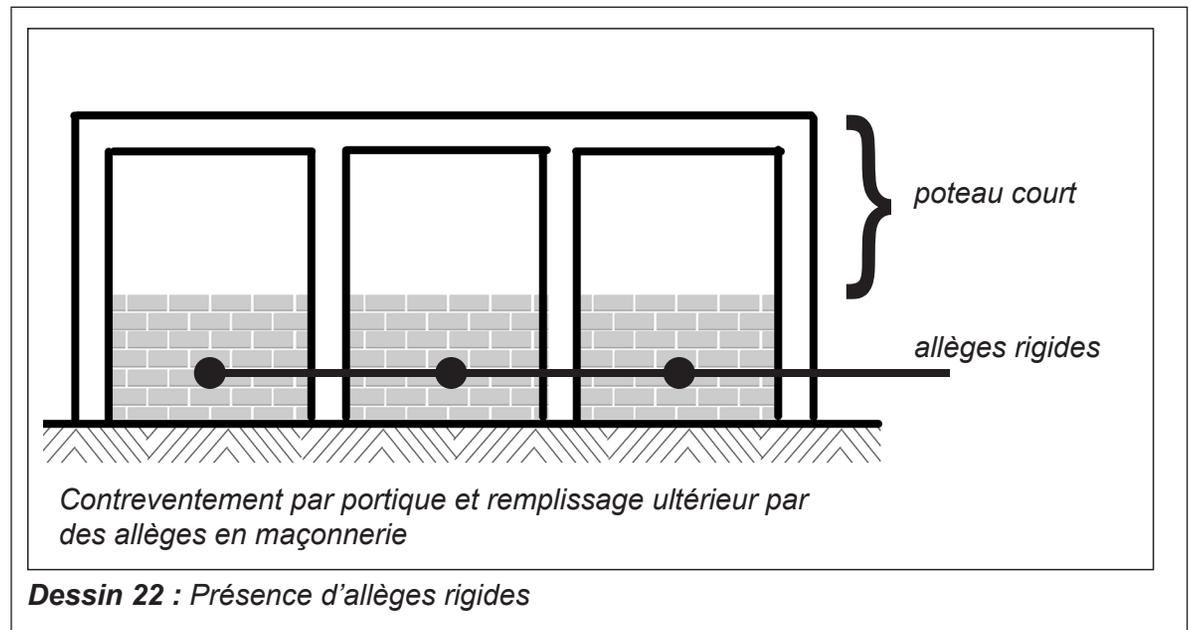
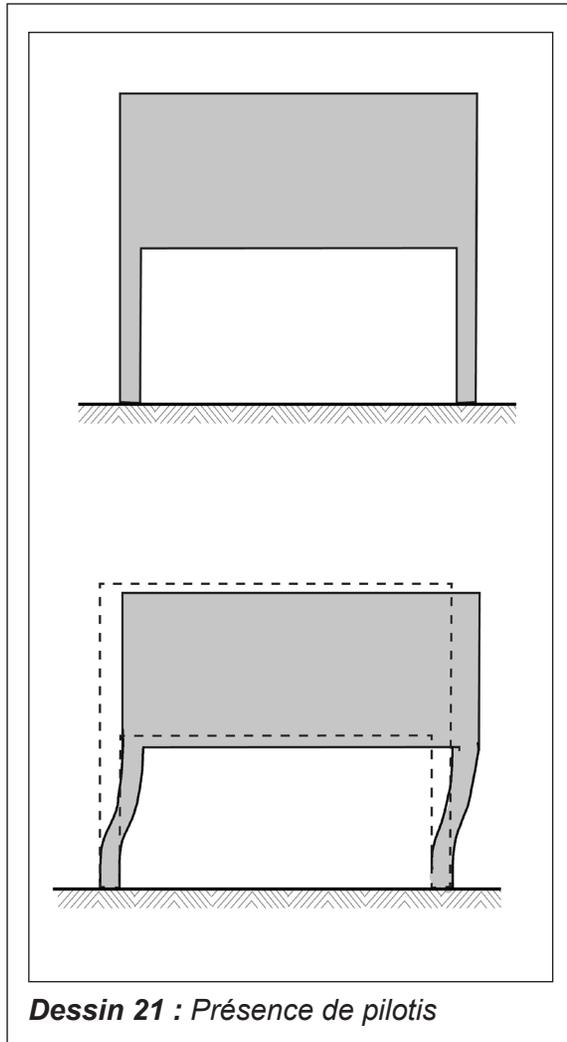
C'est le cas d'une construction comportant une structure sur colonnes libres (poteaux dont la grande dimension transversale est inférieure à 4 fois la petite dimension transversale) au rez-de-chaussée et une structure en murs rigides à l'étage. En cas de séisme, l'effondrement risque de se produire par excès de déplacement de la partie supérieure de la maison et non pas par dépassement de la résistance de la structure porteuse.

Pour remédier à ce défaut, se reporter aux paragraphes: «*CONT3 - Le renforcement par ajout de murs de contreventement en voiles béton*» et «*CONT5 - Contreventement par remplissage d'un portique en voile de béton armé*».

### - **Présence d'allèges rigides**

Si la longueur libre des poteaux est réduite par des murs de remplissage partiel en maçonnerie, la partie libre est davantage sollicitée et la rupture s'effectue par cisaillement, c'est un des effets de « poteau court ».

Si ce défaut est constaté, se reporter au paragraphe: «*OUV - Remplissage d'ouvertures*».

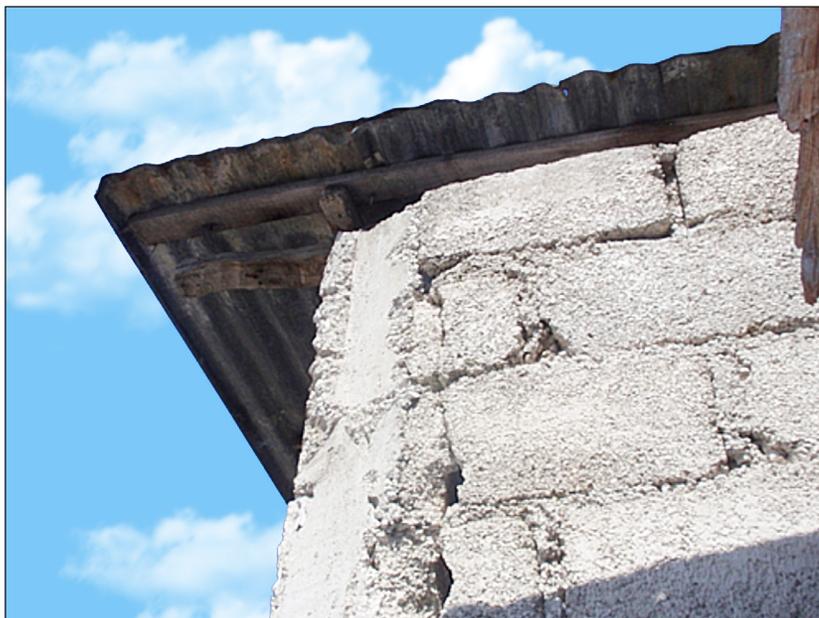


### **- Murs de mauvaise qualité**

Les murs de contreventement sont de mauvaise qualité quand ils sont:

- constituées des parpaings faits avec du sable blanc type «la Boule» au lieu de sable de silice
- érigées avec du mortier à base de sable blanc type «la Boule» au lieu de sable de silice
- mis en œuvre de mauvaise qualité (lits de parpaings non linéaires et inclinés, etc.)
- dégradés par le séisme et/ou l'humidité.

Pour remédier à ces défauts se reporter au paragraphe: «*CONT4 - Contreventement par renforcement d'un mur par treillis ou lit d'armatures*».



**Dessin 23**

**Murs de mauvaise qualité**



**Dessin 24 :**

### 3 - Le diagnostic d'un bâtiment

#### Objectifs du diagnostic préalable au renforcement

- 1) Diagnostic Qualitatif : Répertorier les défauts structurels décrits au paragraphe 2 « Les défauts du comportement d'une construction lors d'un séisme »
- 2) Diagnostic Quantitatif : Décrire, analyser et quantifier des éléments structurels du bâtiment tel que décrit dans la section «Le diagnostic quantitatif».
- 3) Proposition de solutions de renforcement
- 4) Evaluation des coûts de renforcement
  - 4.1 Coûts de renforcement acceptable : élaboration du projet de renforcement.
  - 4.2 Coûts de renforcement non acceptable : la démolition est conseillée.

#### - Le diagnostic qualitatif

Maison n°	2-119-6		
Situation		Commentaires	Favorable / Défavorable
Département			
Commune			
Quartier / village			
Rue			
Coordonnée GPS			
Nombre d'occupants du bâtiments			
% de dommages du bâtiment			
Évaluation faite par			
<b>Vulnérabilites du site</b>	<b>(oui/non)</b>		
Glissement de terrain			
Liquéfaction			
Forte pente			
Pied de falaise			
Autres			

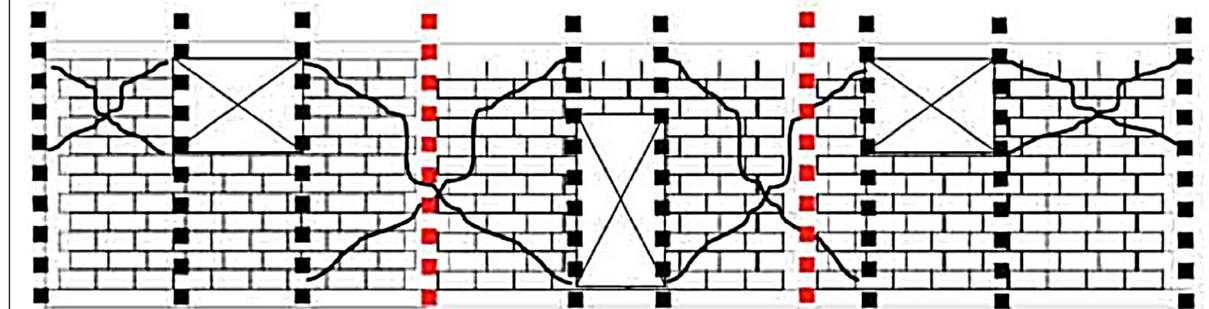






## - Le diagnostic quantitatif

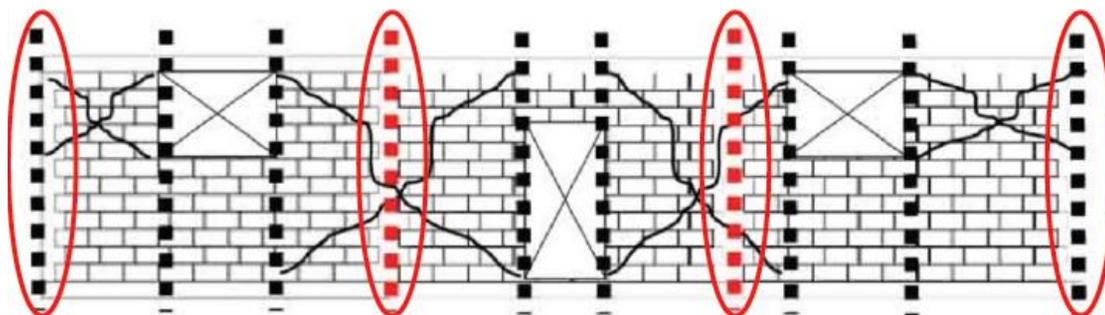
### 1) Identifier et quantifier les bordures des murs.



- **Identifier les bordures des murs**
  - . À l'extérieur du bâtiment
  - . Autour des couloirs, portes et ouvertures de plus d'un mètre de large
- **Aux intersections des murs**
  - . À partir des murs placés dans la direction opposée

*Dessin 25 : Identifier les bordures des murs*

## 2) Identifier les armatures existantes.

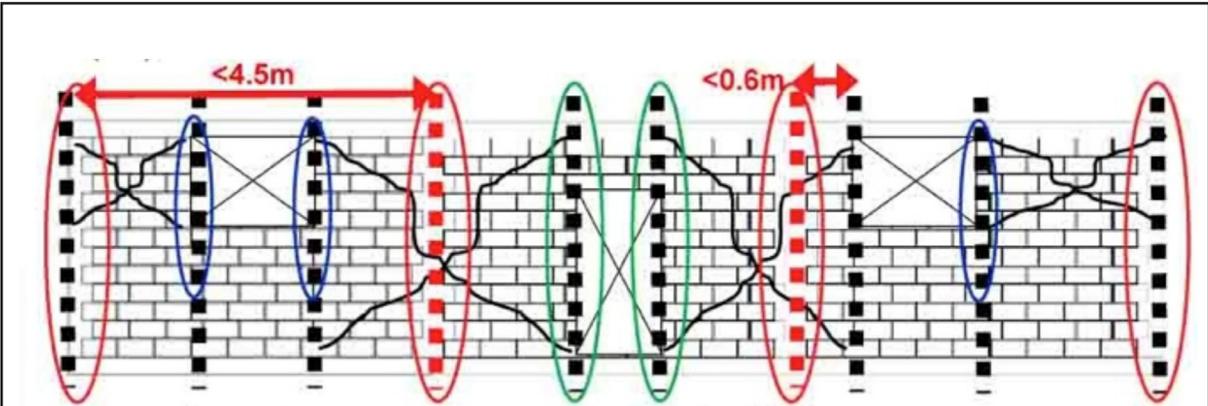


Procéder à des investigations d'usages afin de localiser les armatures présentes dans les murs

. Identifier les chaînages verticaux placés aux extrémités (4 barres) et les tiges d'armatures additionnelles (1 ou 2 barres)

*Dessin 26 : Identifier les armatures existantes*

### 3) Identifier les armatures nécessaires.

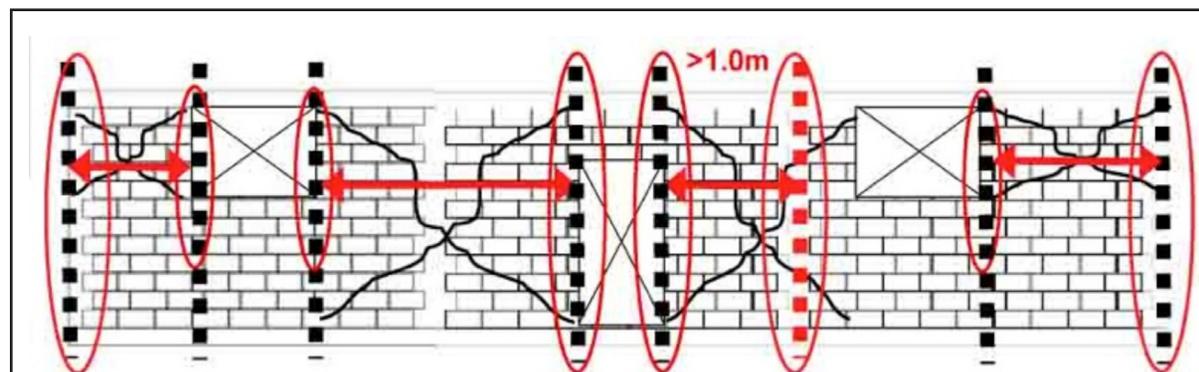
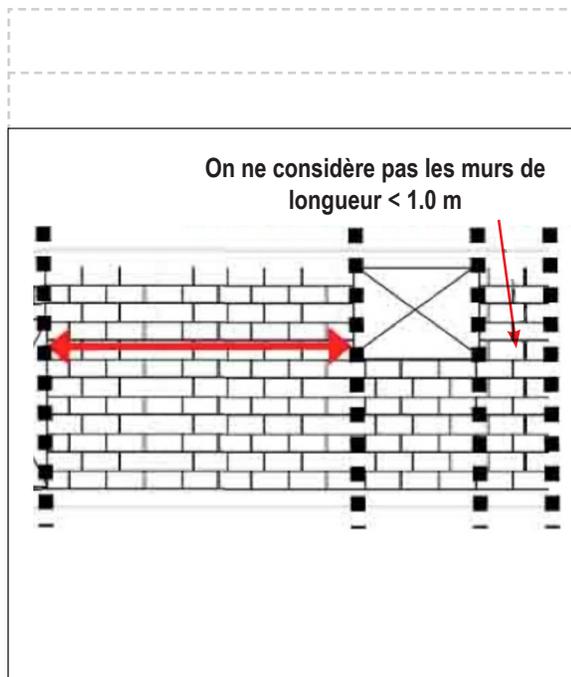


**Les murs en maçonnerie chaînée**

- . Doivent avoir des armatures à moins de 0.6 m de toutes les bordures
- 2 barres aux extrémités du bâtiment, couloirs et portes
- 1 ou 2 barres au niveau des fenêtres
- Les chaînages verticaux renforcés par 4 barres ne doivent pas être distants de plus de 4.5 m
- Il doit y avoir des armatures :
  - Au niveau des poutres ou dans les murs en maçonnerie situés au-dessus.
  - En-dessous des fenêtres ou dans les fondations.

**Dessin 27 : Identifier les armatures nécessaires**

#### 4) Confirmer les longueurs des murs de contreventement



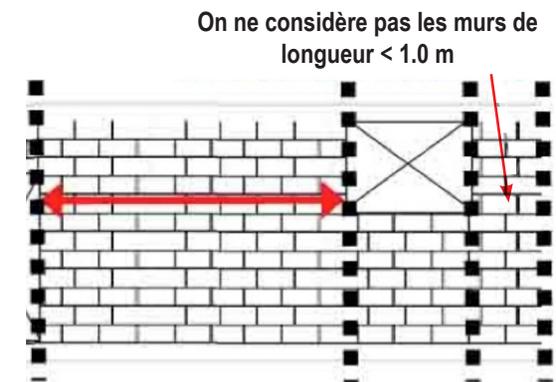
• Armatures requises pour la maçonnerie chaînée

#### Déterminer les longueurs des murs de contreventement

- . La longueur minimale des murs pour assurer la résistance latérale est de 1.0 m.
- . La distance entre deux chaînages verticaux ne doit pas dépasser 4.5 m.
- . Ignorer les petites ouvertures représentant moins de 10% de la longueur entre les deux chaînages..

**Dessin 28** : Confirmer les longueurs des murs de contreventement.

**5) Par défaut, évaluer le mur comme étant en MNA (Maçonnerie Non Armée)**



**Les murs en MNA**

- . Longueur minimale requise  $L = 0.6$  m
- . Ou au moins 1.0 m pour la résistance latérale

*Par défaut, évaluer le mur comme étant en Maçonnerie Non Armée (MNA)*

## 4 - Éléments non structurels

### Les citernes

Les citernes doivent être placées en partie basse de la maison et non pas sur le toit. L'étude de renforcement devra prévoir le déplacement de ces éléments.



*Dessin 31: Citerne placée sur un toit*

### Les escaliers

Les escaliers en béton en saillie, en dalle mince ou non reliés de façon satisfaisante à la structure doivent être détruits et remplacés par des escaliers légers en bois ou en structure d'acier et marches en bois autostables.

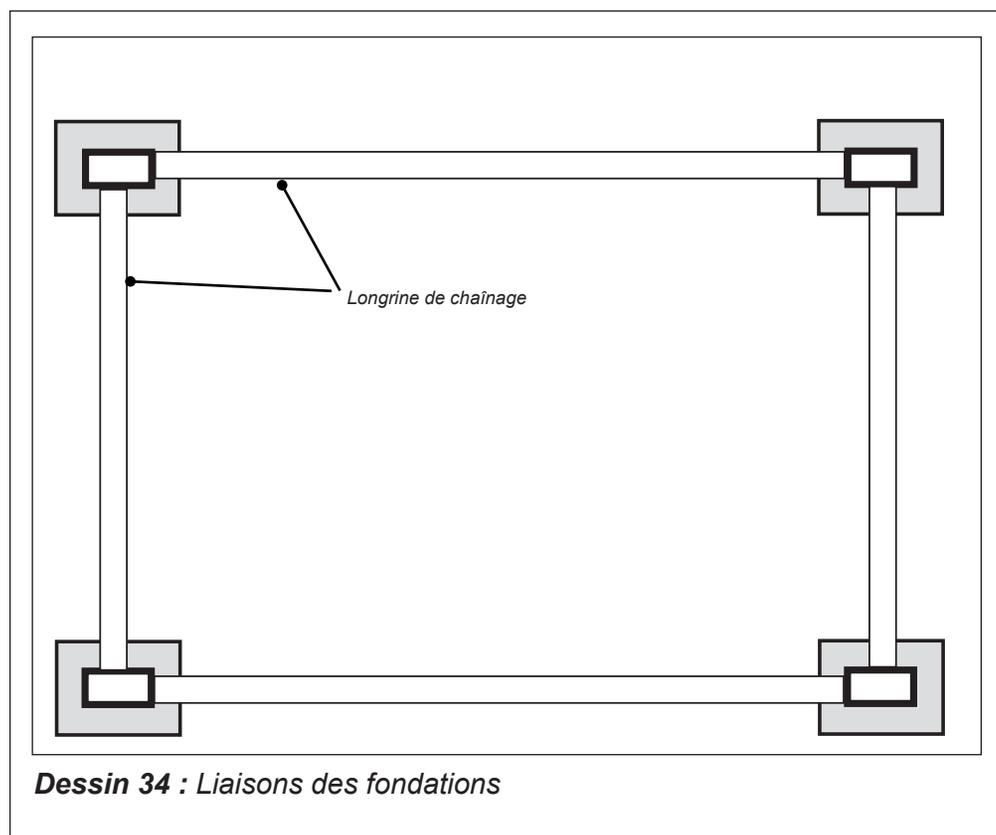


*Dessin 32 & 33 : Escaliers existants à Bristout-Bobin*

## 5 - Les solutions de renforcement

### 5.1- FON - Liaison des fondations

On doit réaliser des longrines pour lier les têtes de fondations pour un ancrage supérieur à 0,50 m. Si les semelles de fondations sont situées à moins de 0,50 m, le rôle des longrines est alors assuré par un chaînage bas des murs.



#### Procédure

1. Découper le parquet et /ou le dallage.
2. Creuser une tranchée sous la future longrine au niveau des fondations.
3. Percer les fondations à l'emplacement des armatures de liaisons.
4. Mettre le ferrailage de la longrine.
5. Sceller les armatures de la longrine dans les fondations.
6. Coffrer la longrine.
7. Couler le béton de la longrine jusqu'au niveau supérieur de la longrine.

#### Dimensionnement minimal de la longrine

Les longrines, ou chaînages de fondations, doivent être de dimensions courantes :

1. Section minimale de coffrage des longrines : 20 cm × 20 cm.
2. Section minimales des armatures longitudinales : 1.25% de la section de béton. Ou quatre HA 1/2 (i.e. #4).
3. Section des armatures transversales et leurs espacements : HA1/4 ou HA3/8 tous les 10 à 15 cm.
4. Recouvrement minimal des barres longitudinales : 60 diamètres.

## 5.2 - PLAN - Renforcement des liaisons d'un plancher poutrelles-blocs de béton existant (dalle en corps creux)

La dalle est constituée de poutrelles en béton armé régulièrement espacées avec des corps creux (blocs de béton creux) entre les poutrelles et une chape de béton de 5cm minimum. Il s'agit d'améliorer la transmission des efforts horizontaux à la structure par la mise en place de liaisons de ce plancher avec les contreventements ainsi que l'ajout d'une chape de répartition de 5 cm.

Soit il faut alors recréer un chaînage, soit utiliser le chaînage existant.

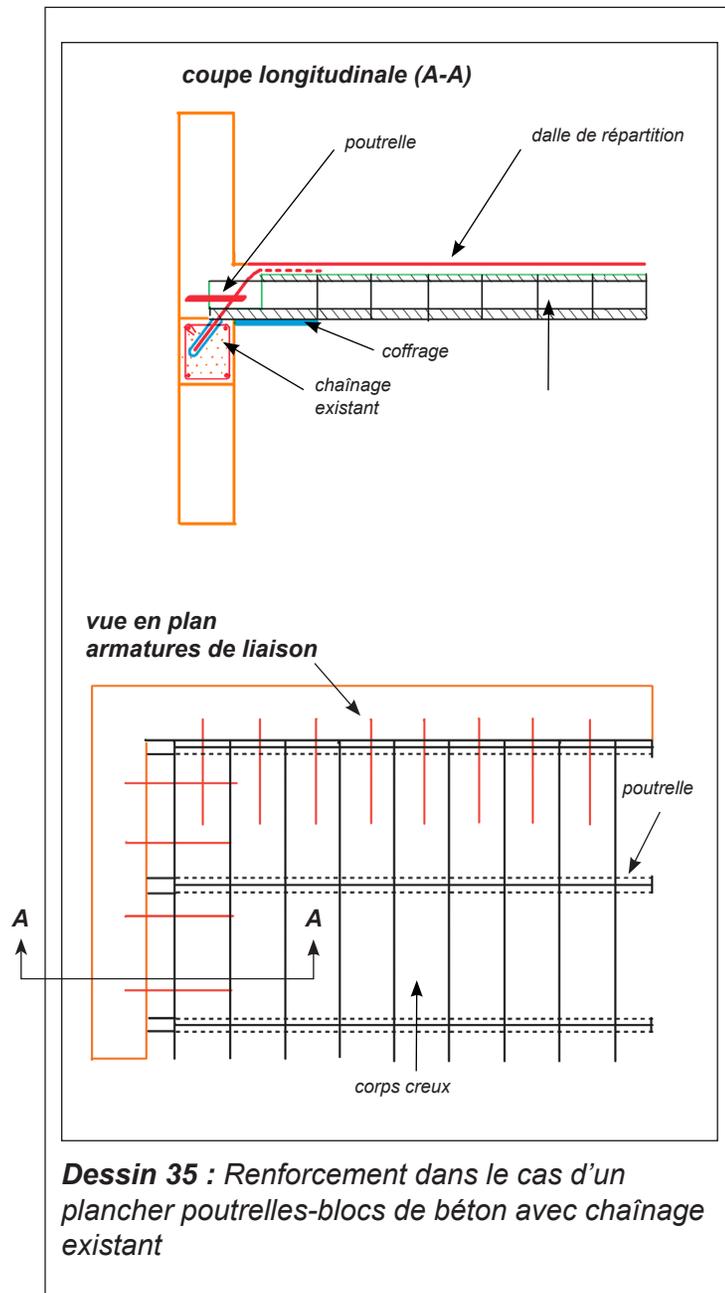
### - Mise en œuvre pratique :

#### 1. Préparation :

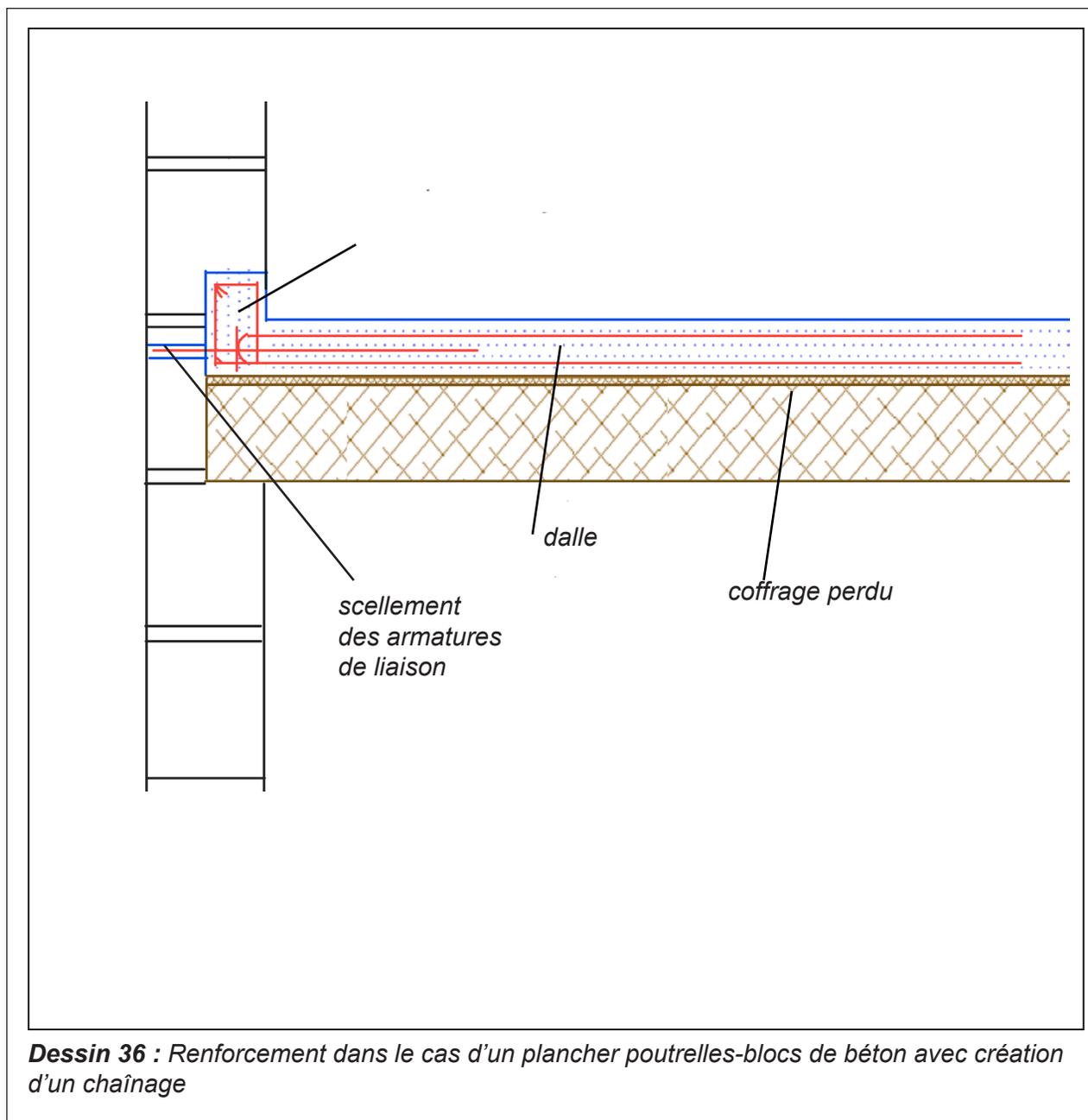
Dégager ces corps creux en dégarnissant le plancher de son revêtement et de la chape. A l'interface avec le mur, dans le sens transversal, détruire le dernier bloc de béton de chaque trame. Réaliser les trous de scellement dans le chaînage sur tout le pourtour du plancher et sceller les armatures de liaison. Boucher les alvéoles des corps creux en rive de plancher (sens transversal). Coffrer les rives dégagées. Mettre en place le ferrailage de la dalle.

#### 2. Coulage et finitions

Couler la dalle de répartition et les extrémités de plancher. Après séchage, enlever les étais et procéder aux finitions.



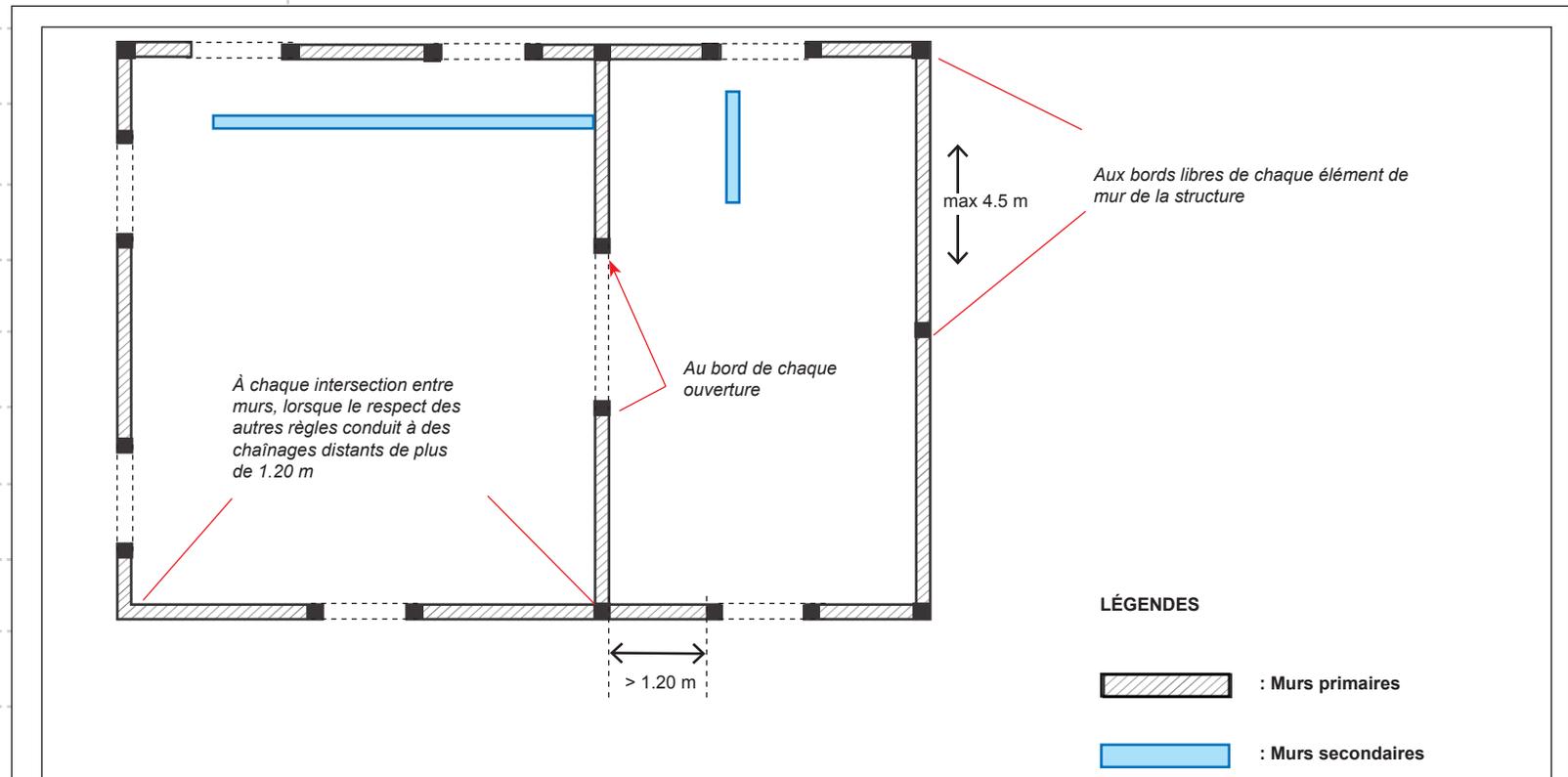
**Dessin 35 :** Renforcement dans le cas d'un plancher poutrelles-blocs de béton avec chaînage existant



### 5.3 - CHAI - Renforcement par ajout de chaînages

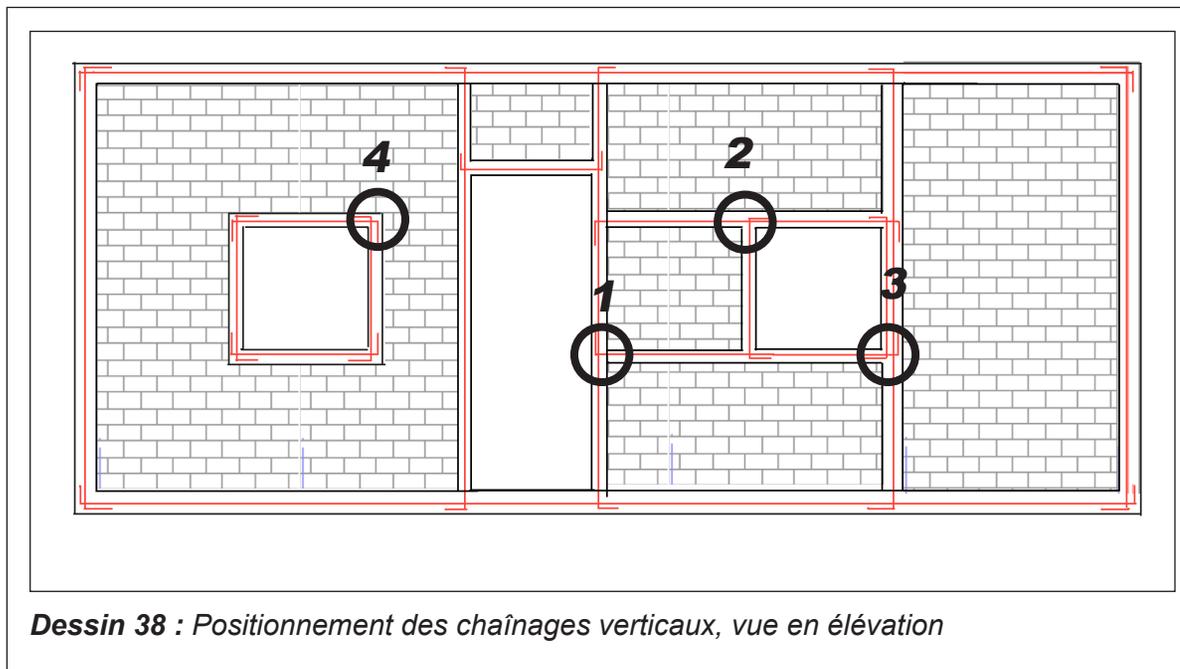
#### 5.3.1 - CHAI1 - Positionnement des chaînages

On distingue : les chaînages périphériques, situés à la périphérie du bâtiment et les chaînages intérieurs disposés à l'intérieur du bâtiment. Il est rappelé les prescriptions suivantes qui relèvent des règles de l'art : les chaînages horizontaux sont liaisonnés aux chaînages verticaux en leurs points de croisement, les chaînages périphériques sont rendus continus dans leurs angles, par recouvrement des armatures, les chaînages intérieurs sont prolongés jusqu'aux chaînages périphériques, dans lesquels ils sont ancrés



Dessin 37 : Positionnement des chaînages verticaux, vue en plan

- 1**  
**2** } Voir Dessin 52  
**3** }  
**4** Voir Dessin 51



### 5.3.2 - CHAI2 - Dimensionnement des chaînages

Les chaînages horizontaux, verticaux et d'ouvertures doivent être liés entre eux et couturés aux éléments de maçonnerie existants par des épingles de 30 cm de longueur, repliées de 10 cm à une extrémité, en aciers de diamètre HA6 (1/4), dans chaque lit de maçonnerie existante, et ceci tous les 20 cm.

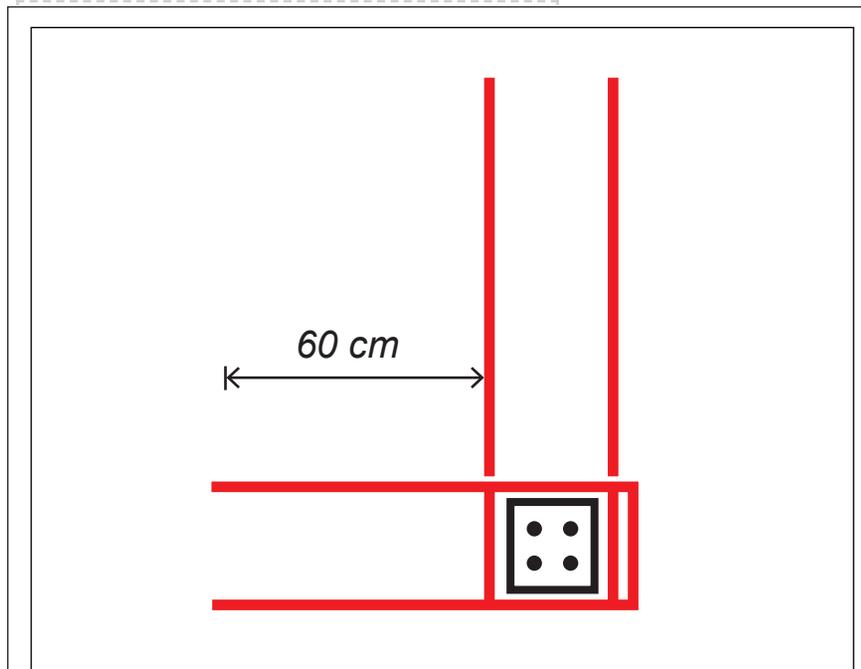
Dimensionnement courant des chaînages horizontaux et verticaux :

- Section droite du béton des chaînages : au moins un carré de 15 x 15 cm.
- Section des armatures de chaînage en acier : # 3 ou # 4. Pour tous les chaînages horizontaux en béton armé, la section minimale d'acier est de 3 cm<sup>2</sup>.
- Section des cadres et leurs espacements : # 2 tous les 10 cm.
- Règle de recouvrement des aciers : 60 diamètres soit 60 cm pour des barres HA10 (3/8) et 72 cm pour des barres HA12 (1/2)

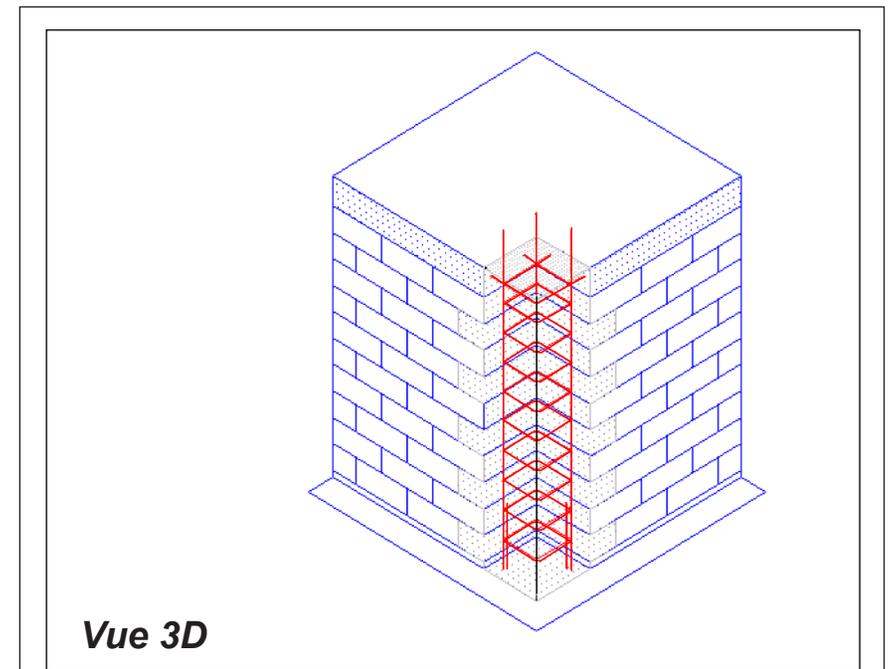
### 5.3.3 - CHA13 - Chaînages verticaux

#### Solution n° 1 :

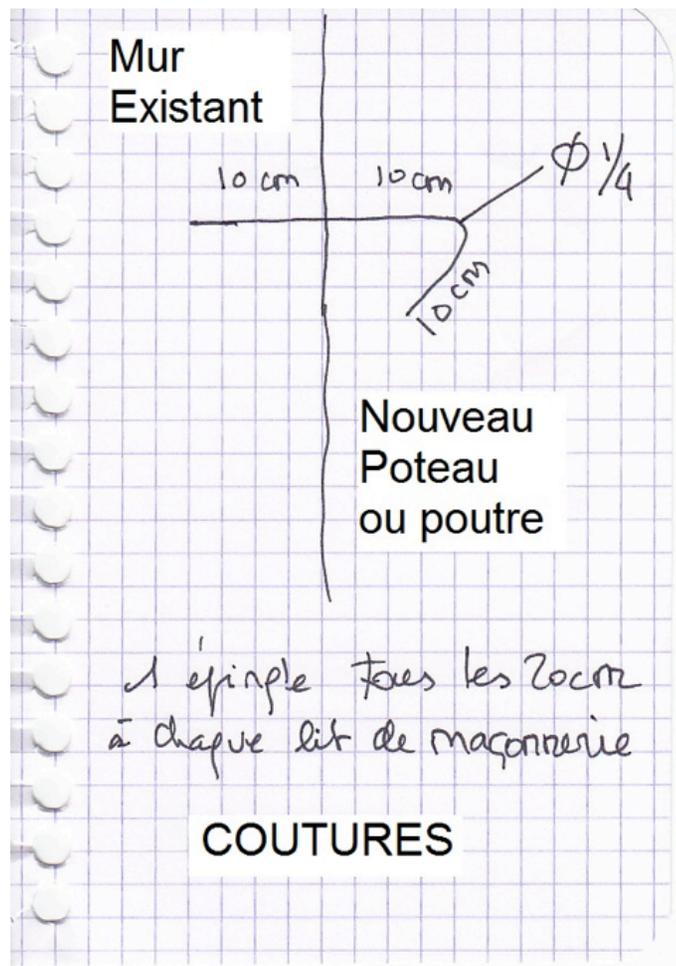
Il convient de placer les chaînages verticaux aux bords libres de chaque élément de mur de la structure : si nécessaire à l'intérieur du mur pour que l'espacement entre les chaînages ne dépasse pas 4.5 m et à chaque intersection entre les murs de la structure, lorsque les chaînages sont distants de plus de 1,20 m. Les chaînages verticaux sont armés par 4 barres filantes HA10 (3/8) pour les maisons à simple rez-de-chaussée (R+0) et 4 HA12 (1/2) pour celles d'un étage (R+1). Dans tous les cas, les 4 barres filantes sont maintenues par des cadres HA6 (1/4) espacés de 10 cm. Des coutures par des épingles en aciers HA6 (1/4), recourbées de 10 cm à une extrémité, seront mises en place entre les murs existants et les chaînages, tous les 20 cm et à chaque joint de lit de la maçonnerie existante.



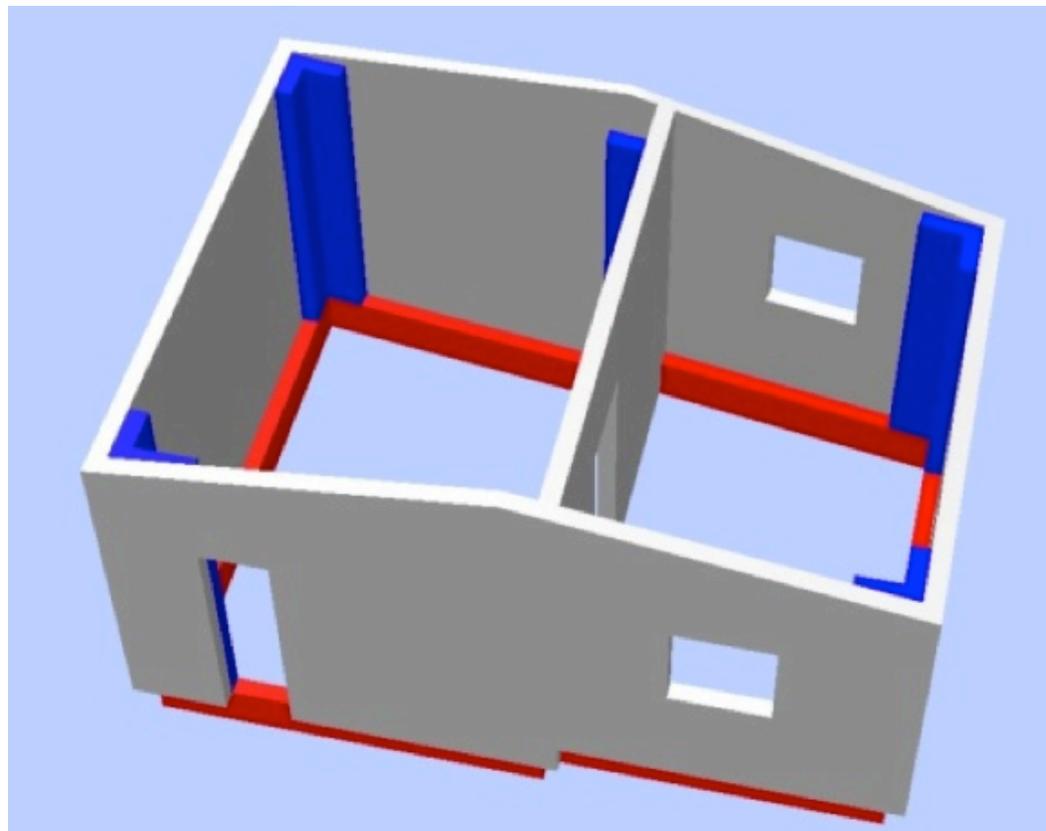
Dessin 39 : Chaînages verticaux



Dessin 40 : Chaînages verticaux



Dessin 41 : Coutures



Dessin 42 : Exemple de renforcement par chaînages verticaux (en bleu)



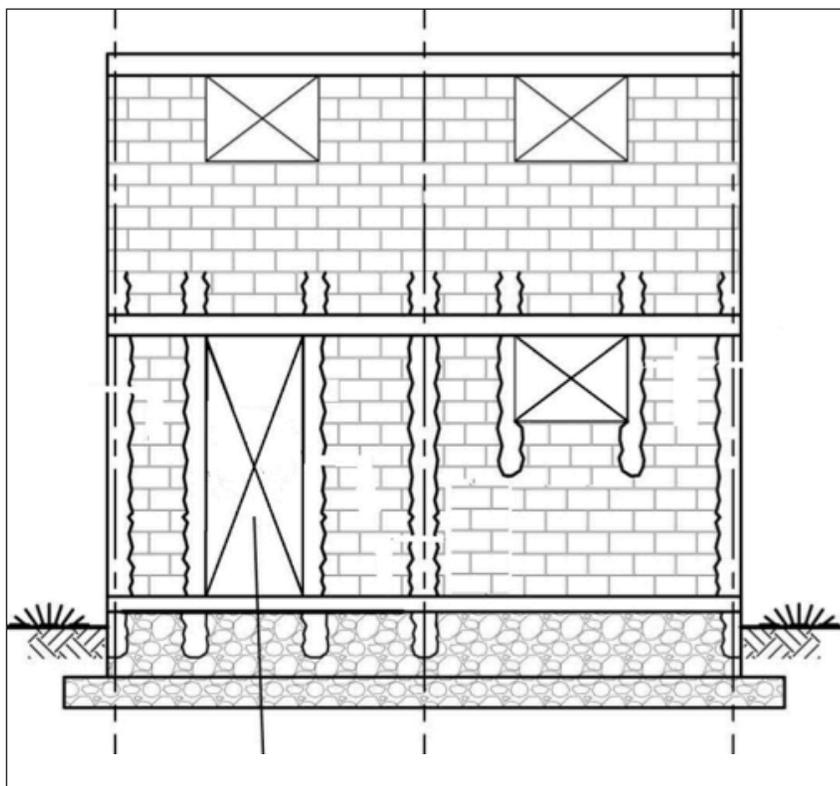
*Dessin 43 : Un manque de chaînage vertical*



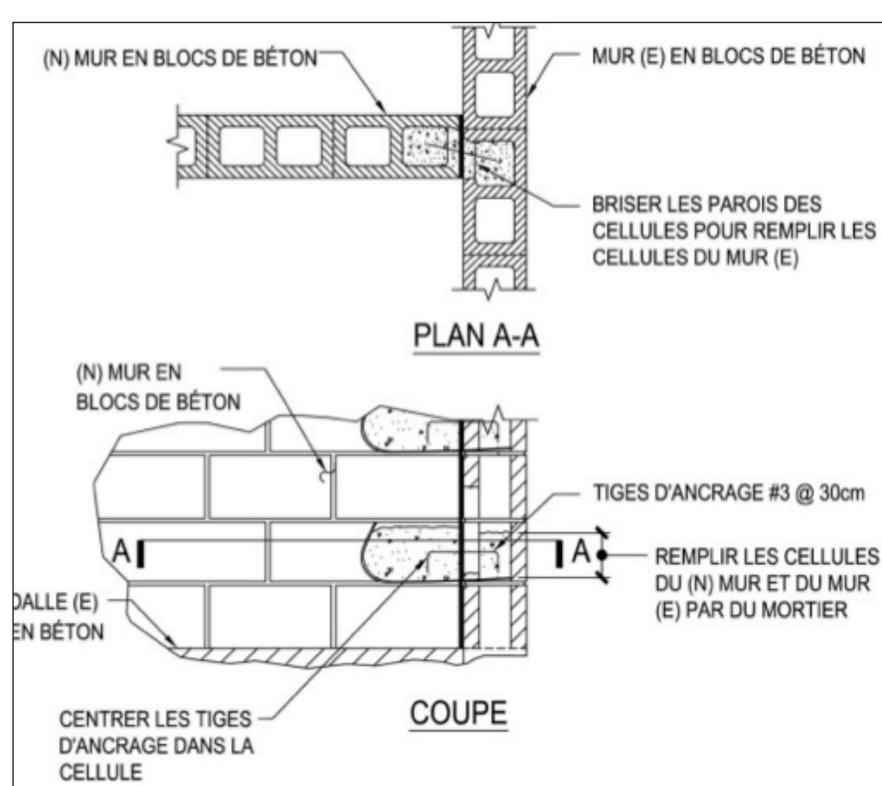
*Dessin 44 :Exemple de chaînages verticaux réalisés*

**Solution n° 2 :**

Il est aussi possible de créer une meilleure connexion entre les murs de façon à assurer cette fonction de chaînage vertical



**Dessin 45 :** Emplacements des chaînages verticaux

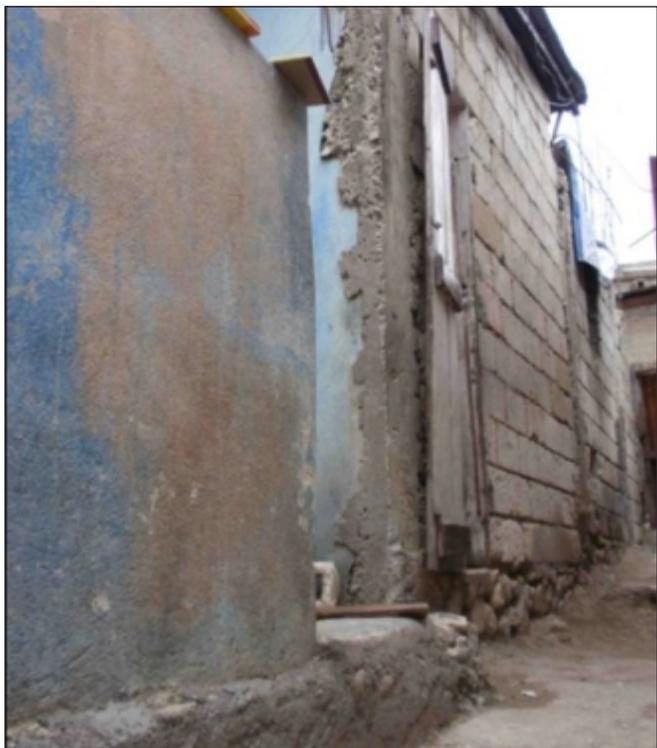


**Dessin 46 :** Connexions renforcées aux angles

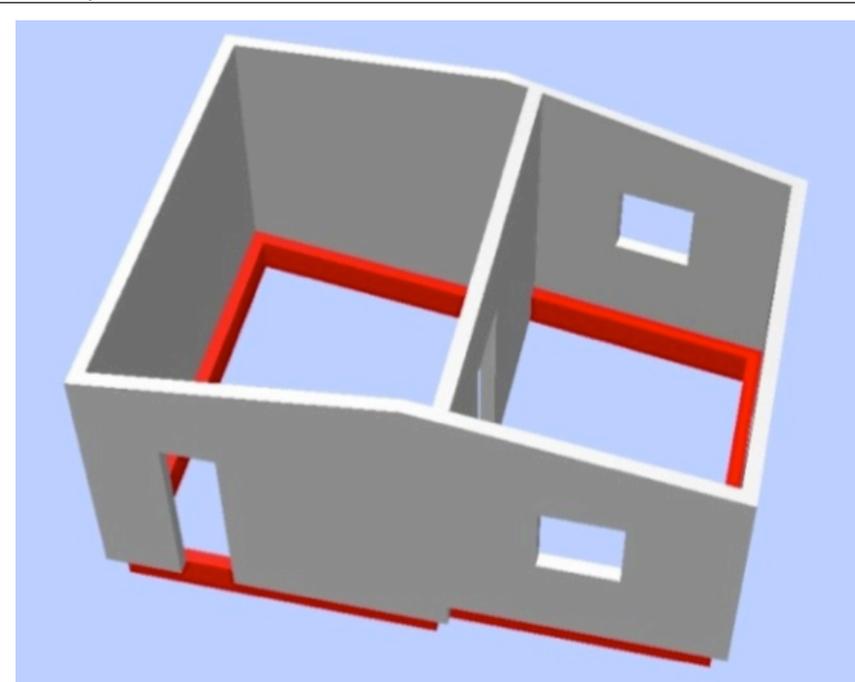
### 5.3.4 - CHA14 - Chaînages horizontaux

Les chaînages horizontaux doivent être placés dans le plan du mur, au niveau de chaque plancher, au niveau du couronnement des combles, au niveau des fondations, et au niveau de l'appui d'une charpente en tête de mur, lorsqu'il n'y a pas de plancher à ce niveau. En aucun cas, leur espacement vertical ne doit être supérieur à 3 m. Des coutures par des épingles en aciers HA6 (1/4), recourbées de 10 cm à une extrémité, seront mises en place entre les murs existants et les chaînages tous les 20 cm et à chaque joint de lit de la maçonnerie existante.

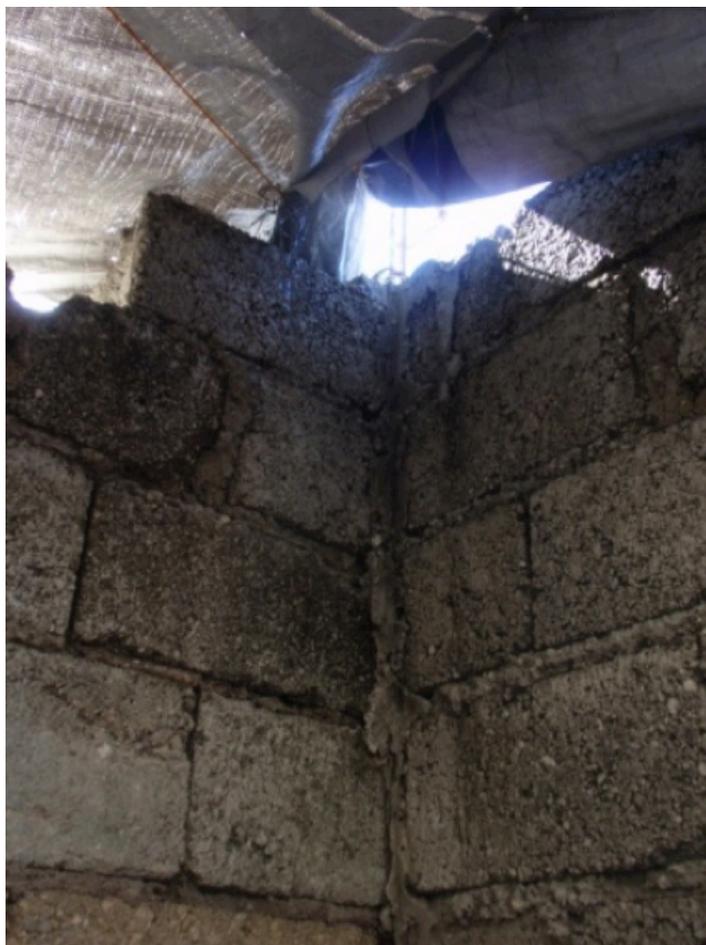
Un chaînage horizontal périphérique continu d'un minimum de 3 cm<sup>2</sup> soit 4 HA10 (3/8) doit exister au niveau de chaque plancher. Un chaînage horizontal d'un minimum de 1,5 cm<sup>2</sup> d'acier soit 2 HA10 (3/8) doit exister à chaque intersection d'un panneau de contreventement avec le plancher



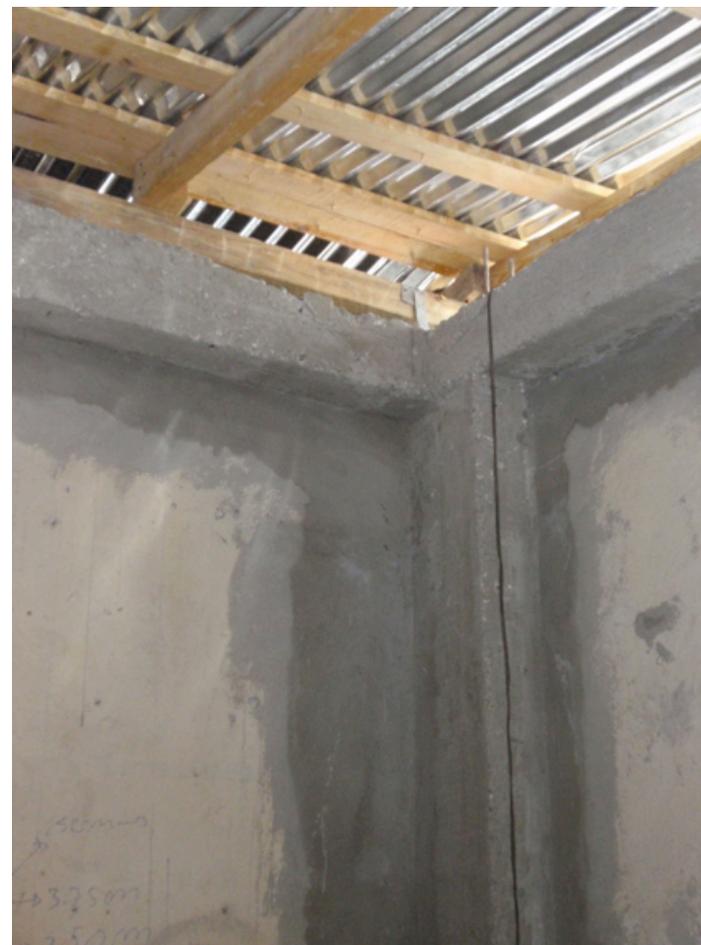
**Dessin 47** : Un manque de chaînage bas horizontal



**Dessin 48** : Mise en place d'un chaînage interieur horizontal ( en rouge )



*Un manque de chaînage supérieur horizontal*



**Dessin 50** : *Mise en place d'un chaînage supérieur horizontal*

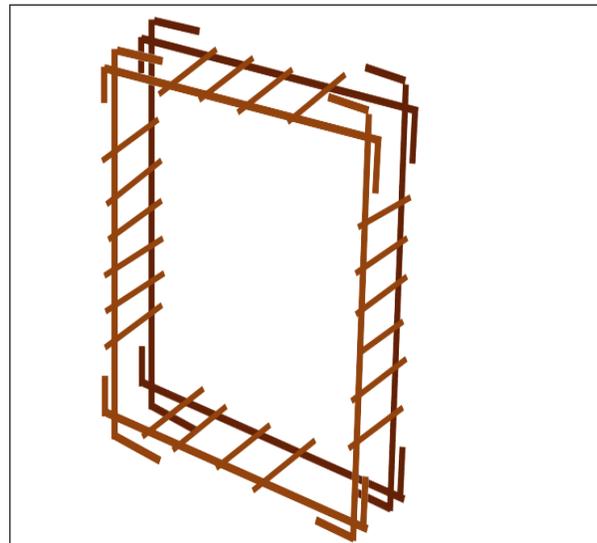
### 5.3.5 - CHAI5 - Chainage d'ouvertures

L'encadrement a seulement un rôle de solidarisation des blocs. On peut alors exécuter l'encadrement en une seule fois :

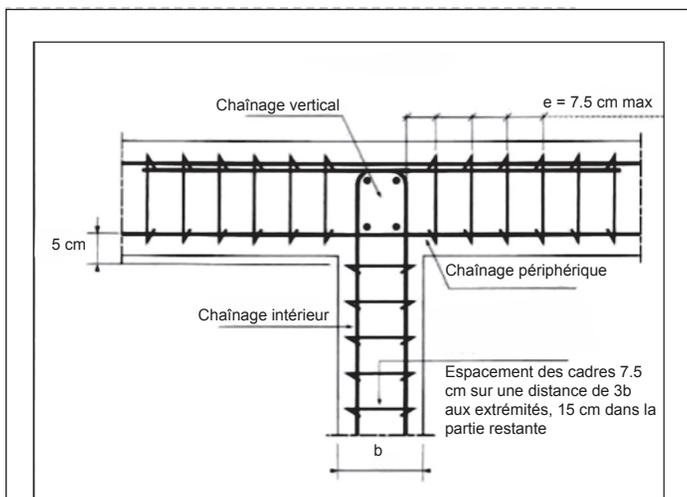
1. Préparer le ferrailage au complet.
2. Élargir l'ouverture de 10 cm sur son périmètre.
3. Placer les armatures.
4. Coffrer et couler le béton

Pour assurer une bonne liaison en partie supérieure, boucher éventuellement l'espace entre le linteau et la maçonnerie avec du mortier après que le béton a effectué son retrait.

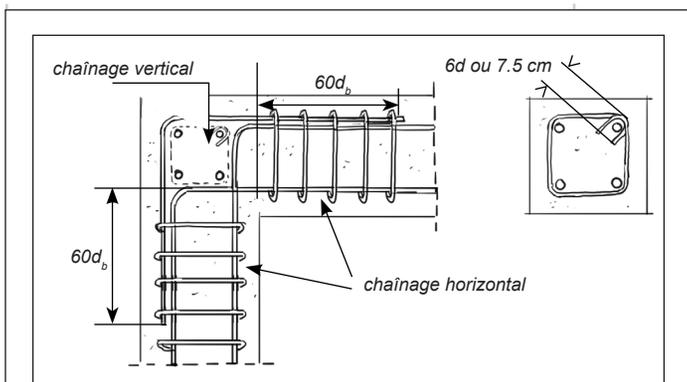
- Section droite du béton des chaînages : au moins un rectangle de 15 x 10 cm.
- Section des armatures de chaînage en acier : 2 HA6 (1/4) mine.
- Section des épingles et leurs espacements : HA6 (1/4) tous les 15 cm.



**Dessin 51** : Ferrailage d'un chaînage d'ouverture supérieure



**Dessin 52 :** Exemple de liaison entre chaînages en partie courante



**Dessin 53 :** Exemple de liaison entre chaînages en angle

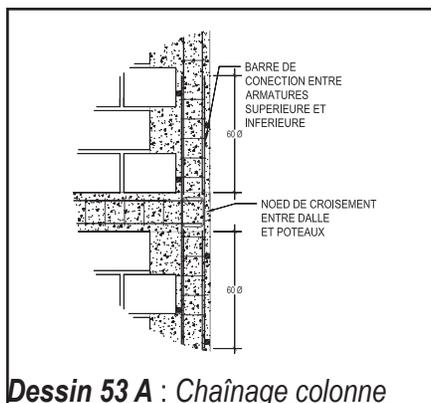
### 5.3.4 - CHA16 - Liaisons entre les chaînages

Les liaisons entre les différents chaînages doivent être conçues pour assurer le transfert et l'ancrage des efforts de traction qui les sollicitent. C'est pourquoi :

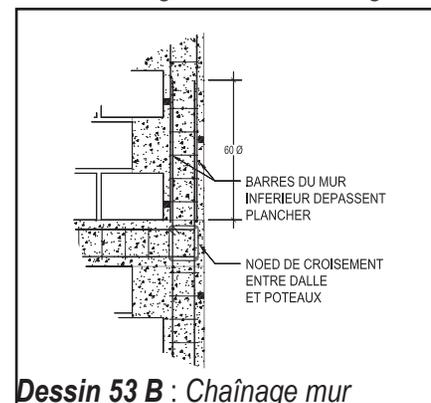
- La continuité et le recouvrement des divers chaînages concourant en un même nœud doivent être assurés dans les trois directions.
- Les recouvrements doivent être au minimum de 60 fois le diamètre des armatures.
- Les dispositions adoptées ne doivent donner lieu à aucune poussée au vide.

Suivant l'espace résultant de l'épaisseur du mur, il y a deux types de mise en œuvre pour assurer la continuité des aciers des chaînages verticaux:

- Soit le recouvrement est assuré, comme celui traditionnel des aciers de poteaux, par le fait que les aciers verticaux du mur inférieur dépassent du plancher. Le recouvrement se fait donc dans la partie inférieure du mur supérieur. Cette possibilité suppose un nœud de croisement des chaînages assez large pour permettre aux armatures des chaînages verticaux d'être convenablement enveloppés par les armatures des chaînages horizontaux.
- Soit le recouvrement est assuré par des barres placées spécialement pour cela et se recouvrant sur les armatures du chaînage vertical du mur inférieur interrompus juste sous le plancher et les armatures du chaînage du mur supérieur repartant juste au dessus du plancher. Cette possibilité, qui double les quantités d'acier dans les zones de recouvrement, reste toutefois la seule valide en cas de nœuds de croisement exigus entre chaînages



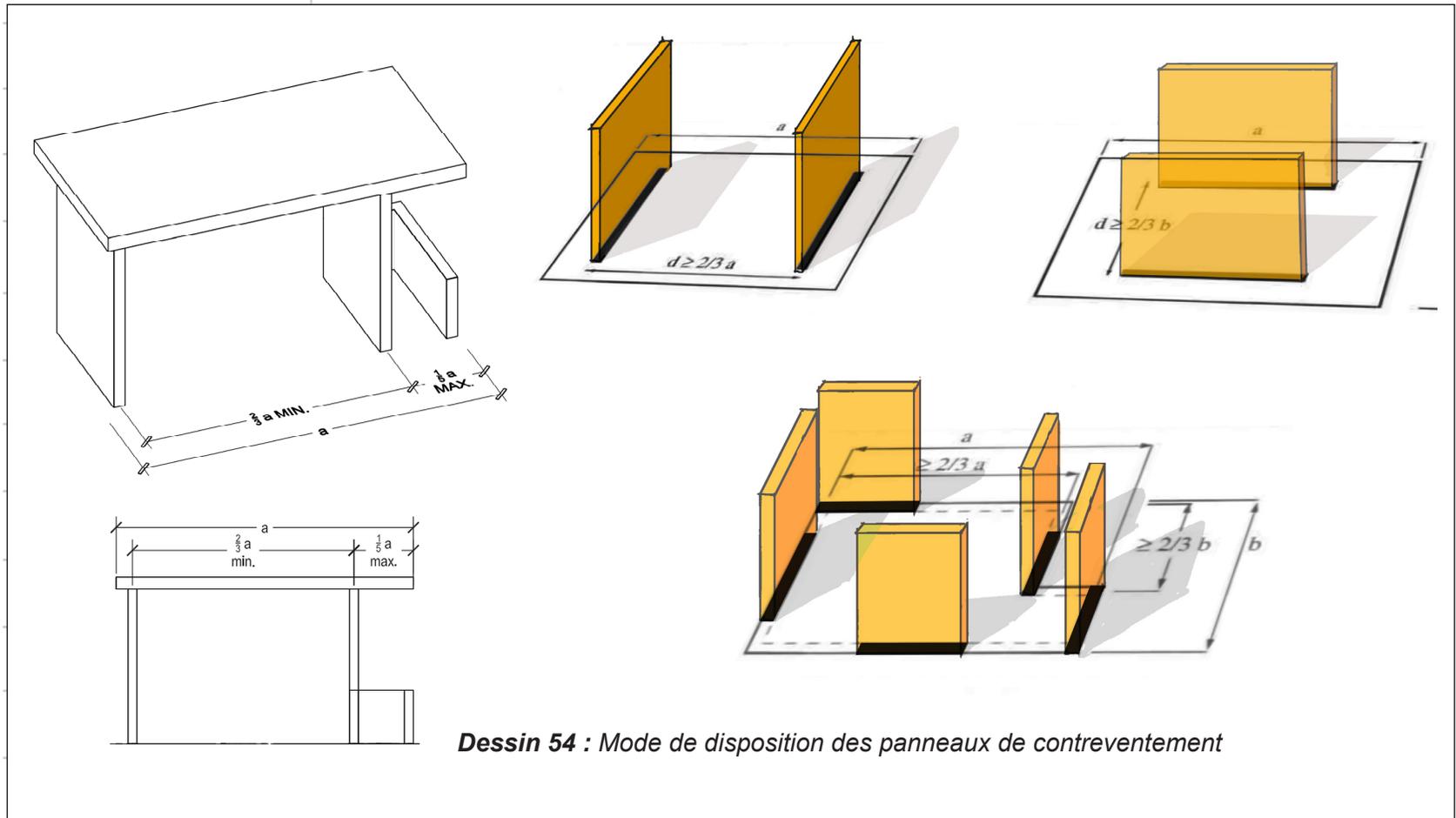
**Dessin 53 A :** Chaînage colonne



**Dessin 53 B :** Chaînage mur

### 5.4 - CONT - Renforcement par ajout ou renforcement de murs de contreventement

Les murs de contreventement sont des éléments structuraux qui résistent aux efforts latéraux, on les appelle des éléments primaires. Il faut éviter le plus possible les ouvertures dans un mur de contreventement. Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis des sections des panneaux de contreventement.



Dessin 54 : Mode de disposition des panneaux de contreventement

### 5.4.2. CONT2 - Le principe de dimensionnement de chaque panneau de contreventement

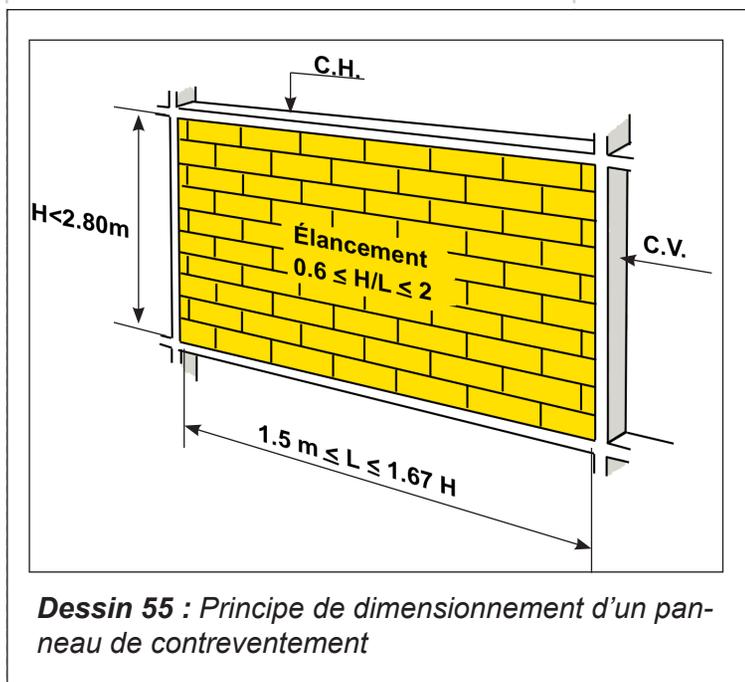
- En maçonnerie chaînée : épaisseur minimale de 15 cm.

Les panneaux de contreventement ont une épaisseur minimale de 15cm. Leur longueur est d'au moins 4 fois leur épaisseur, sans descendre en dessous de  $0,4H$  ;  $H$  étant la hauteur de l'étage. Si cette condition de longueur minimale n'est pas respectée, les éléments considérés sont des poteaux. Ils sont chaînés par des chaînages horizontaux et verticaux décrits au paragraphe (*CHAI - Renforcement par ajout de chaînages*) et dont les dimensions sont données par les annexes : tableaux 1, 2, 3 et 4.

- En voile béton : épaisseur minimale de 15 cm.

Ces voiles devront avoir un lit d'armatures, un ou deux extérieures. Seront constitués d'armatures ayant pour section minimale  $1,2 \text{ cm}^2$  d'acier horizontal par mètre linéaire et  $1,2 \text{ cm}^2$  d'acier vertical par mètre linéaire. Dans les deux sens, l'espacement des armatures sera au moins égal à 10 cm. Ces voiles recevront les mêmes chaînages verticaux que ceux préconisés dans les tableaux.

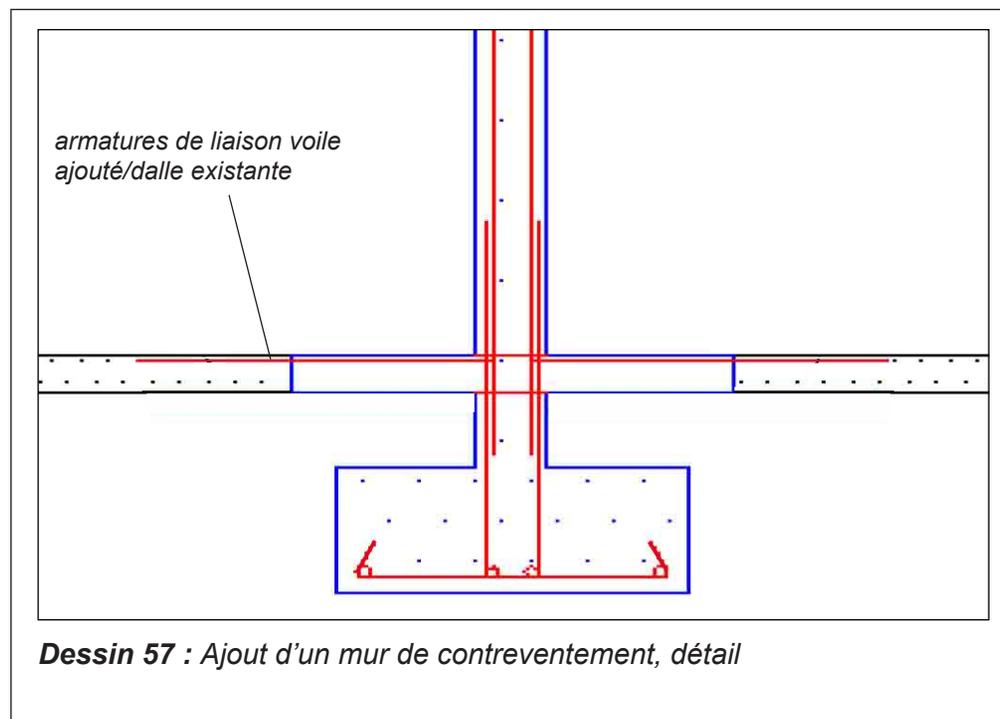
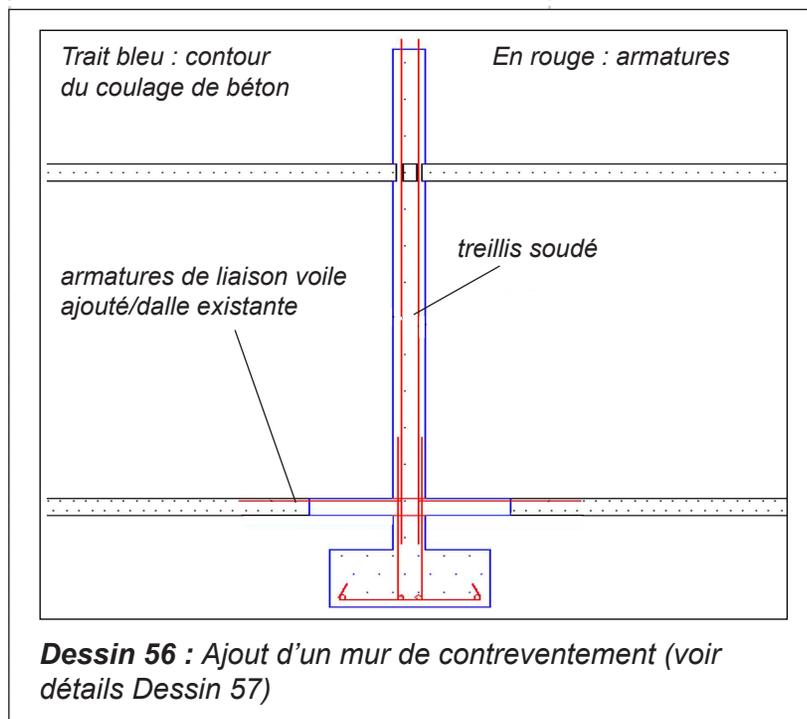
La longueur minimale du panneau en maçonnerie doit être prise égale à  $L_{\min} \geq \max(4e ; 0,40h)$  avec  $e$  = épaisseur du panneau et  $H$  = hauteur de l'étage. Si cette condition de longueur minimale n'est pas respectée, l'élément est considéré comme une colonne.

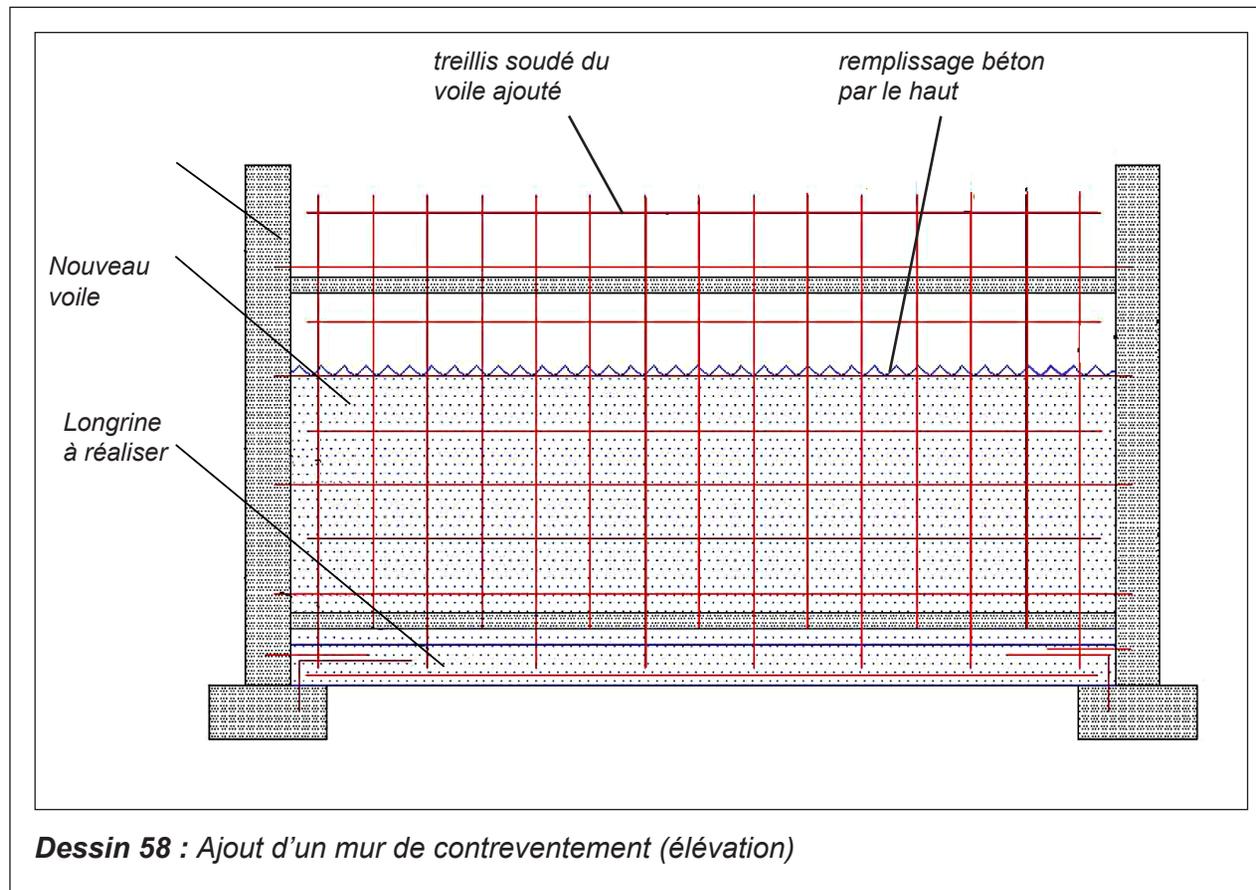
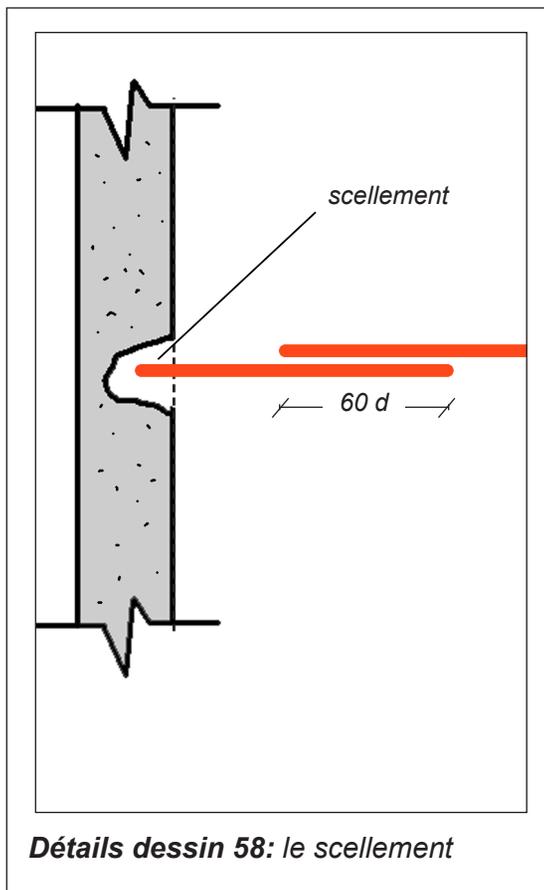


**Dessin 55** : Principe de dimensionnement d'un panneau de contreventement

### 5.4.3 - CONT3 - Le renforcement par ajout de murs de contreventement en voiles béton

Il s'agit d'ajouter des voiles en béton armé à tout bâtiment insuffisamment contreventé. Cette technique fonctionne par la reprise des efforts horizontaux, l'augmentation de la raideur d'ensemble du bâtiment et la diminution de l'effet de torsion. Cependant les défauts de cette méthode sont de modifier les espaces intérieurs; de reporter les charges sur les zones plus faibles et de risquer de créer des irrégularités en élévation. C'est de plus une intervention lourde dans un bâtiment. Les effets de surcharge, notamment sur les fondations, doivent être pris en compte. Les liaisons avec la structure existante doivent être très soignées. Il faut sceller des barres de liaison, régulièrement espacées, dans la structure existante et les lier au ferrailage du nouveau voile pour assurer une transmission des efforts, en traitant au mortier sans retrait les interfaces entre nouvelle et ancienne structure.

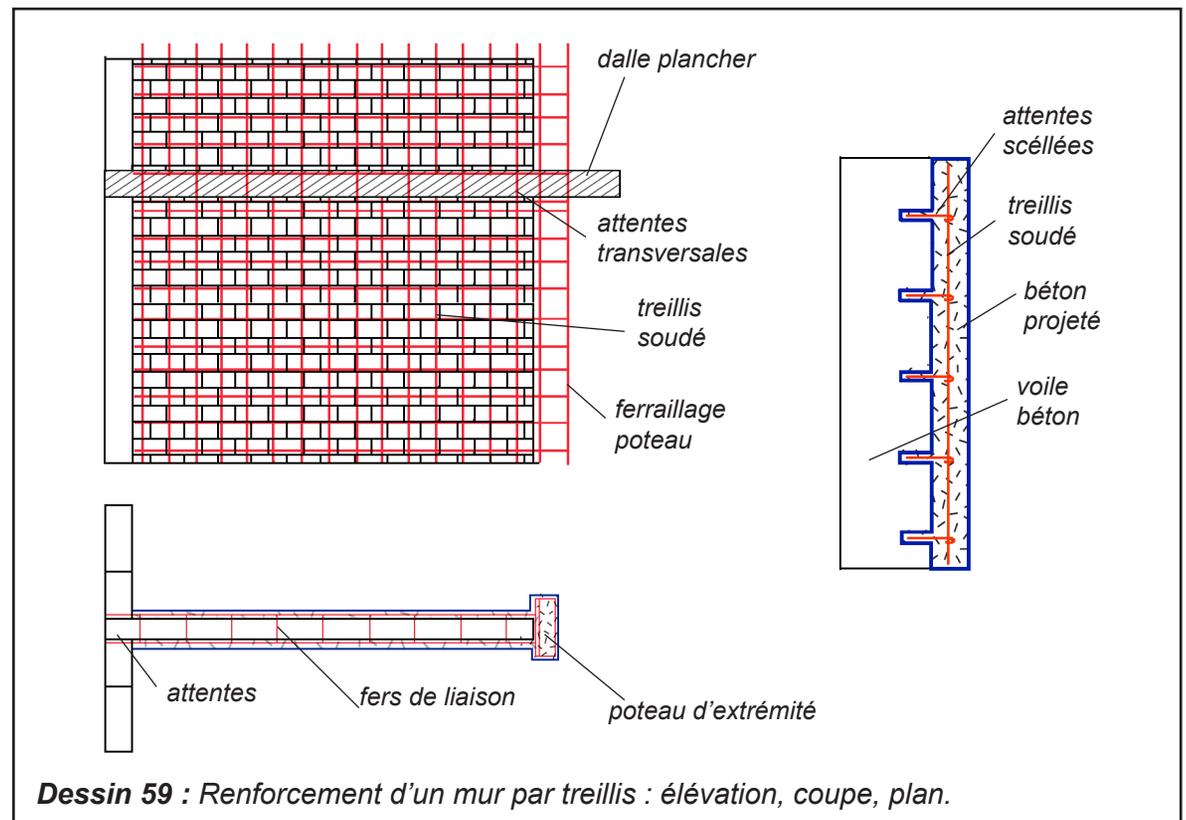




#### 5.4.4 - CONT4 - Contreventement par renforcement d'un mur par treillis ou lit d'armatures

Les treillis sont fixés sur l'élément à renforcer. Cette méthode est utilisée pour les poutres des structures poteaux-poutres (à portiques) et pour les murs de tous les bâtiments. Elle fonctionne par l'augmentation de la résistance de cette structure en flexion dans le sens longitudinal et au cisaillement dans le sens transversal. Un enduit ciment est ensuite projeté sur le treillis ou le lit d'armatures.

Le treillis doit être constitué d'une armature ayant pour section minimale #2 barre d'acier à 15 cm (horizontale et vertical).

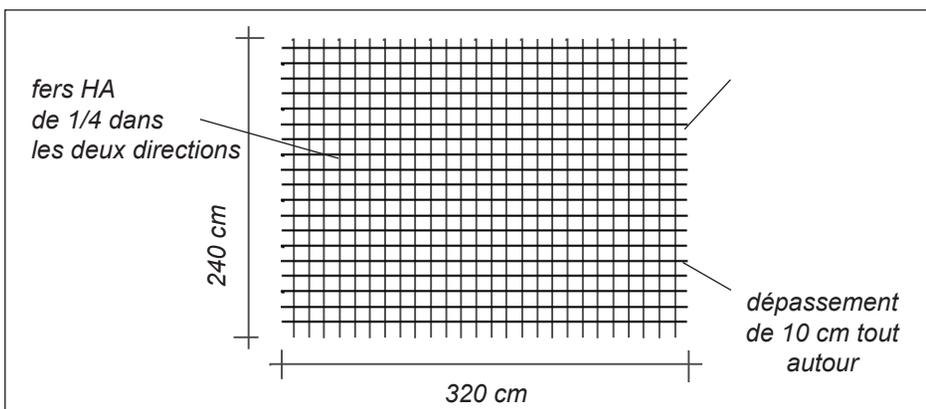


### 5.4.5 - CONT5 - Contreventement par remplissage d'un portique en voile de béton armé

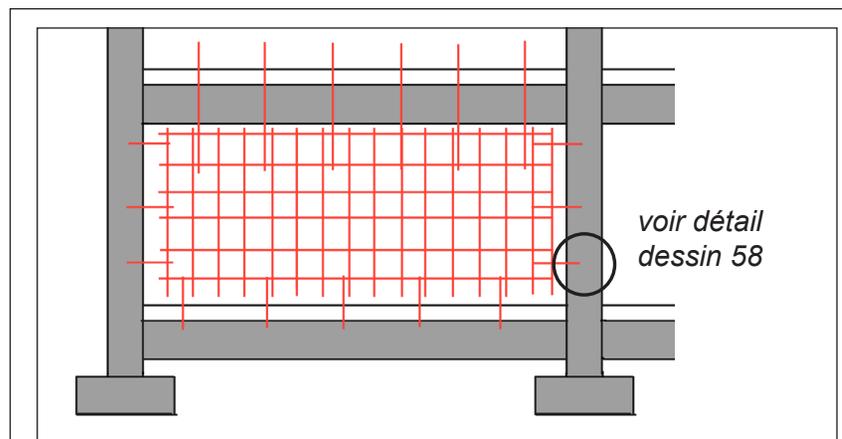
Cette solution est utilisée pour les poutres des structures poteaux-poutres (à portiques). Cette technique fonctionne par la reprise des efforts horizontaux, l'augmentation de la raideur d'ensemble du bâtiment et la diminution de l'effet de torsion. C'est une intervention lourde dans le bâtiment qui doit être prise en compte notamment par ses effets sur les fondations. Le remplissage par voile en béton armé peut être éventuellement appliqué aussi au bouchage d'ouvertures afin de donner une fonction de contreventement à un mur, de façade par exemple. Méthode : sceller les armatures de continuité et les barres de liaison. Mettre en place le ferrailage du voile (treillis soudé). Coffrer en laissant suffisamment de place pour couler le béton. Couler le béton et vibrer par l'extérieur. Veiller à assurer la meilleure liaison possible entre la poutre et le voile.

Ces panneaux ou «voiles» doivent présenter une épaisseur de 15 cm et une longueur minimale  $L_{min} \geq \max(4e ; 0,40h)$  avec  $e$  = épaisseur du panneau et  $h$  = hauteur de l'étage. Si cette condition de longueur minimale n'est pas respectée, l'élément est considéré comme une colonne.

Ils doivent disposer d'une armature ayant pour section minimale barre d'acier #4 à 75 cm (horizontale et verticale).



**Dessin 60 :** Exemple de treillis soudé, élévation.

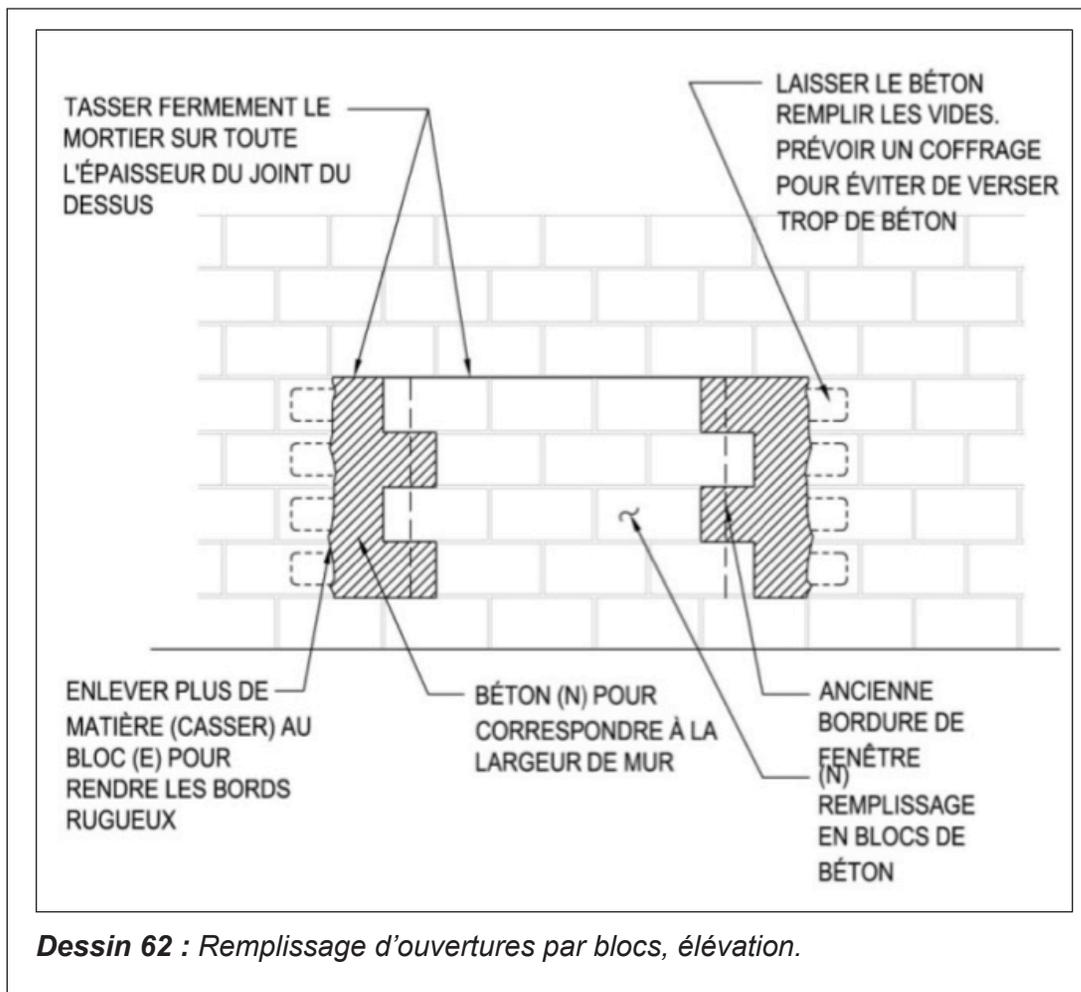


**Dessin 61 :** Mise en place du treillis, élévation.

## 5.5 -OUV - Remplissage d'ouvertures

Lorsque les ouvertures ne sont pas alignées ou si elles ne sont pas indispensables, on peut remédier à cela en remplissant certaines ouvertures.

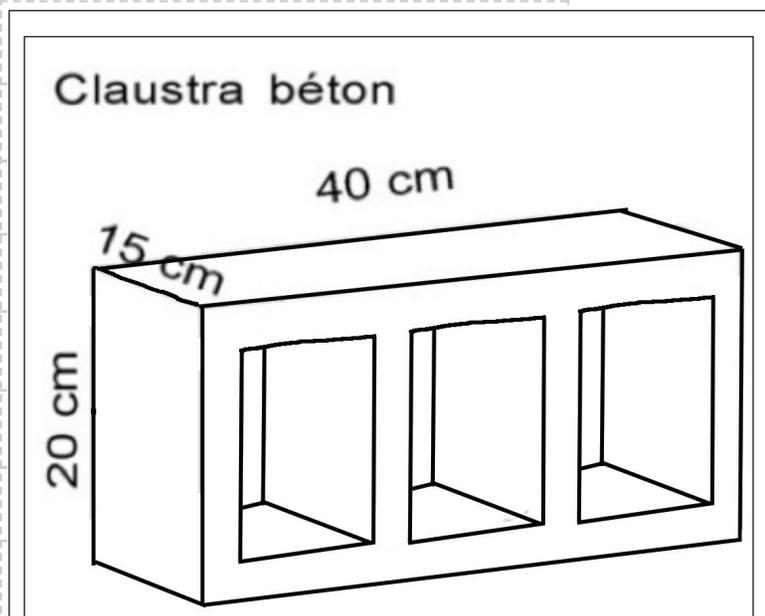
### 5.5.1 - OUV1 - Remplissages par blocs de béton



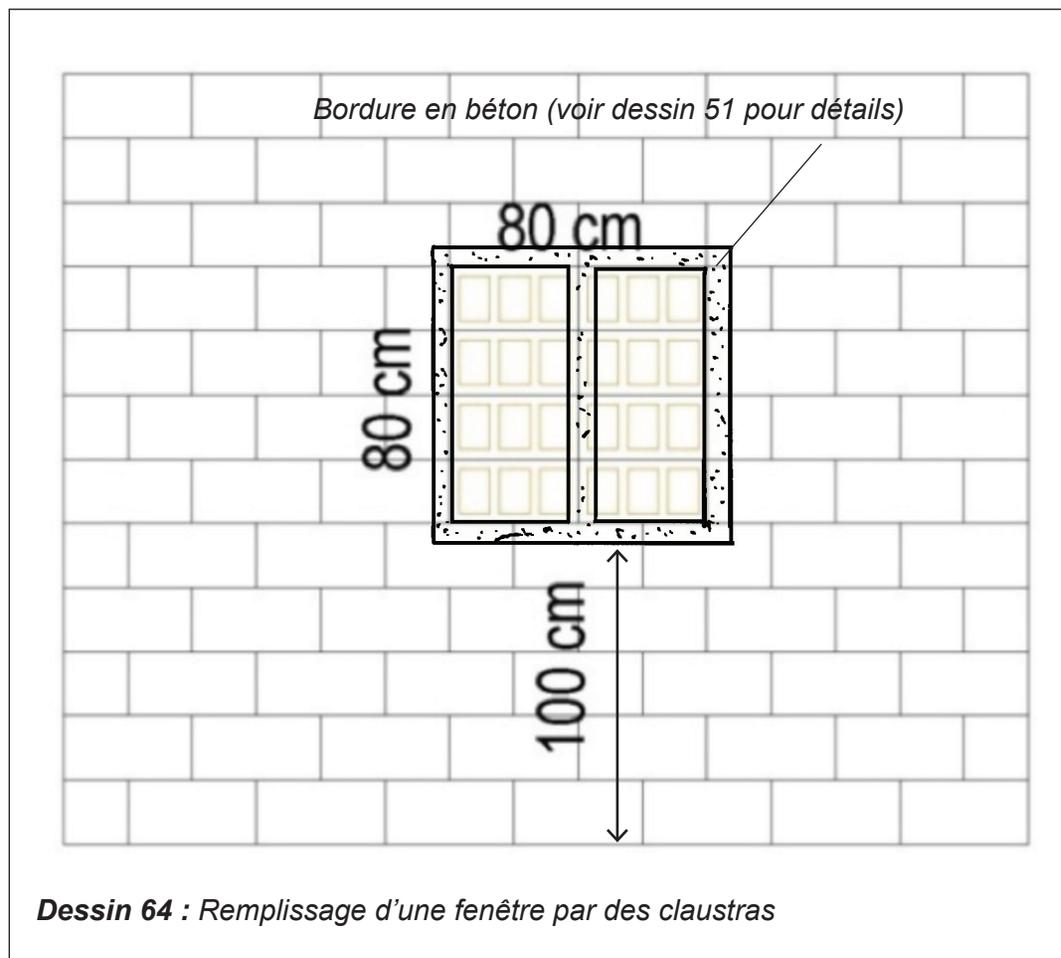
Dessin 62 : Remplissage d'ouvertures par blocs, élévation.

### 5.5.2 - OUV2 - Remplissages par claustras de béton

Ces claustras, posés avec des armatures reliées aux murs existants, résistent au cyclone, laissent passer la lumière et participent à la sécurité et à l'étanchéité de la maison.



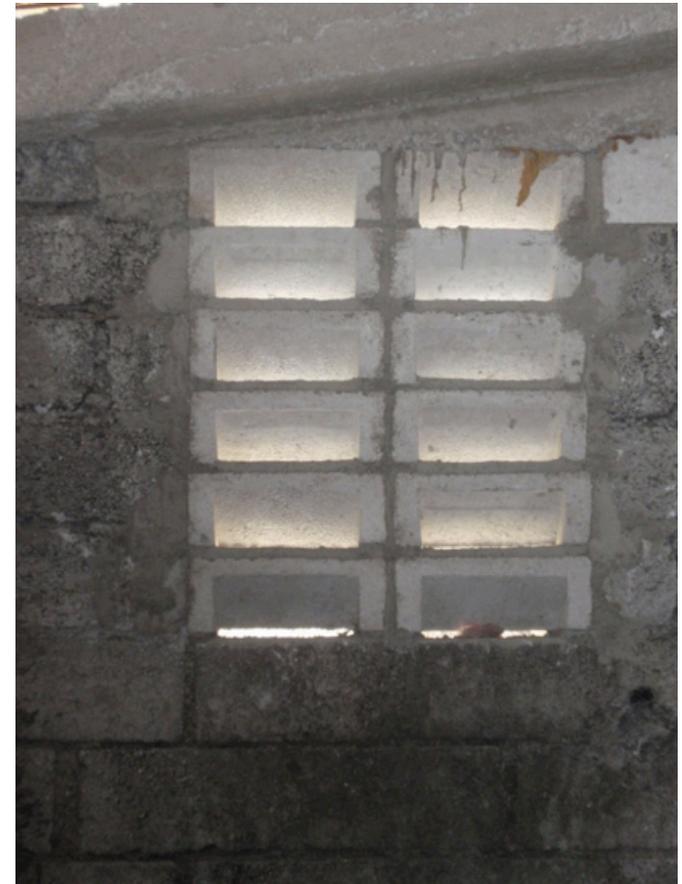
Dessin 63 : Dimensions d'un claustra.



Dessin 64 : Remplissage d'une fenêtre par des claustras



*Dessin 65 : Ouverture à remplir*

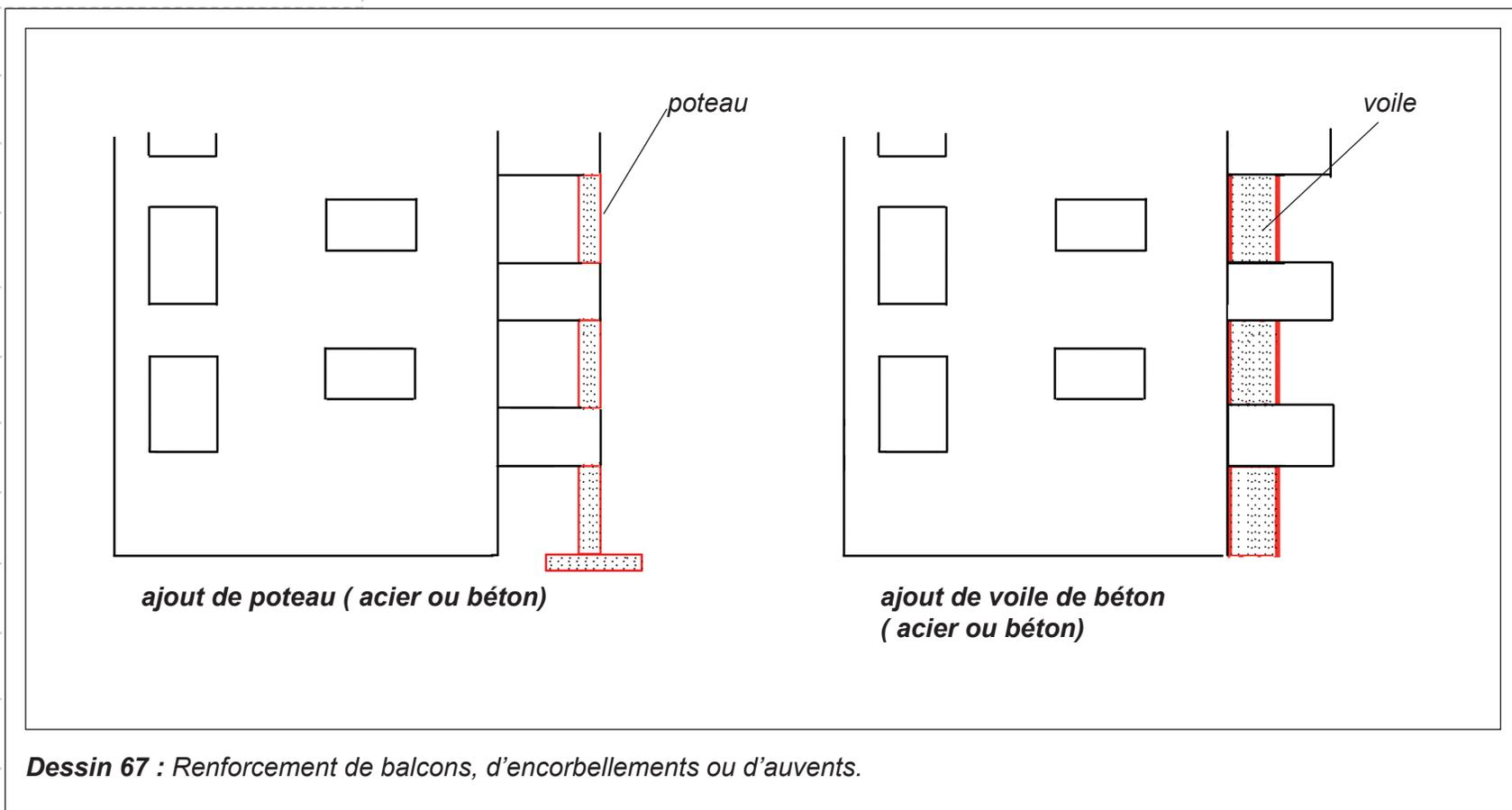


*Dessin 66 : Claustras mis en place.*



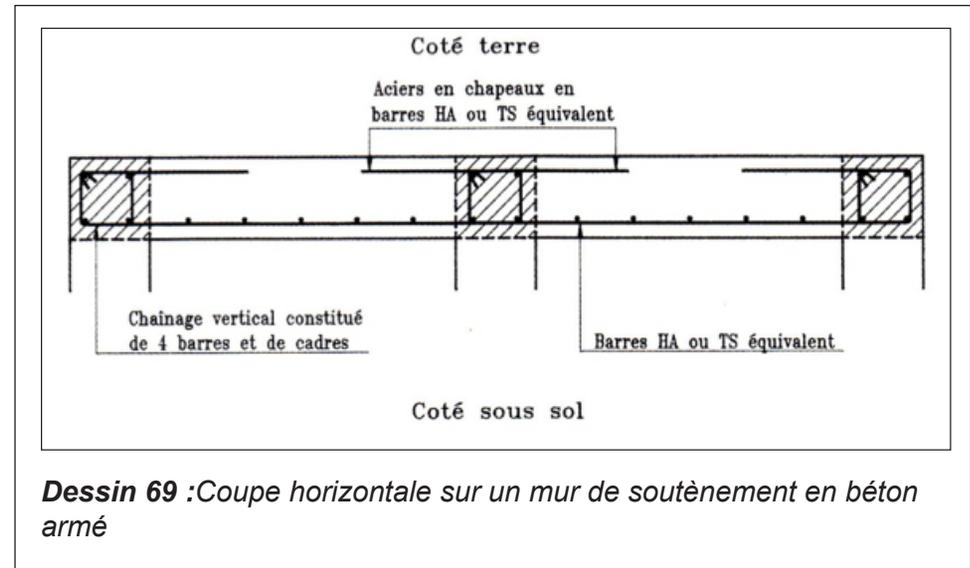
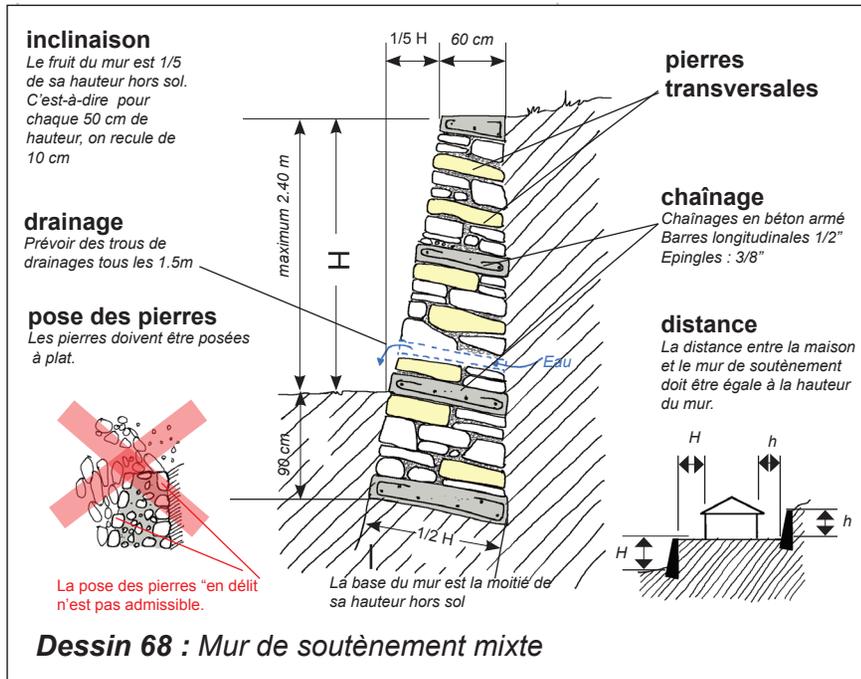
## 5.6 - PAF - Renforcements de balcons, d'encorbellements ou d'auvents

Il est possible soit de renforcer ces parties comme décrits ci-dessous, soit d'en réduire la portée, soit de les démolir. Ces dispositions de renforcement sont générales, elles peuvent être utilisées pour tout renforcement nécessaire de balcon, d'auvent ou d'encorbellement.



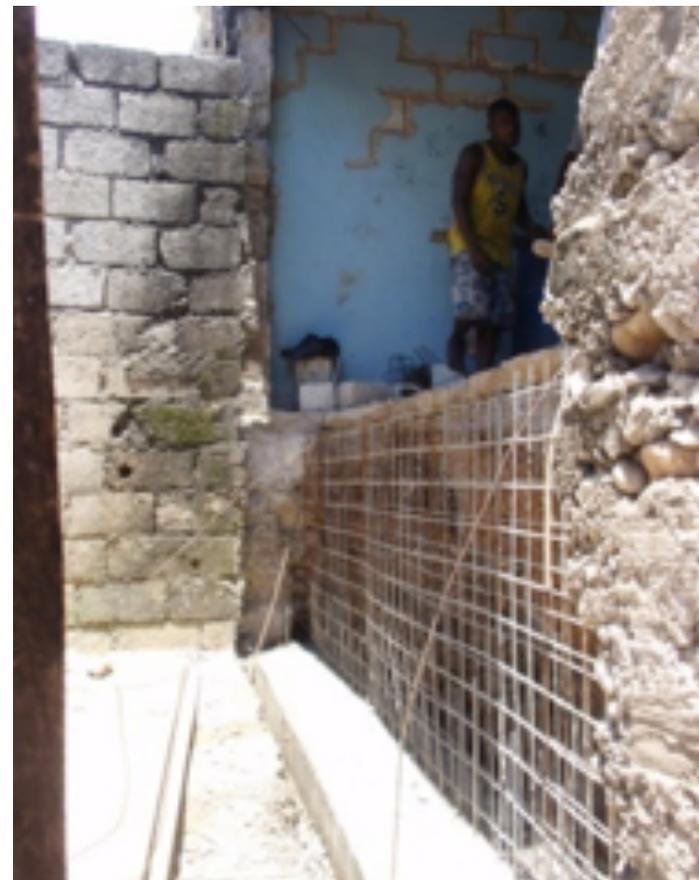
## - SOUT - Les murs de soutènement

On distingue plusieurs types de murs de soutènement : ils peuvent être en maçonnerie de moellons, en voile de béton armé ou mixte en maçonnerie de moellons et chaînages en béton armé. Le mur de soutènement devra être convenablement drainé.





*Le dénivelé existant*



*Dessin 71 :Le mur en cours de réalisation*

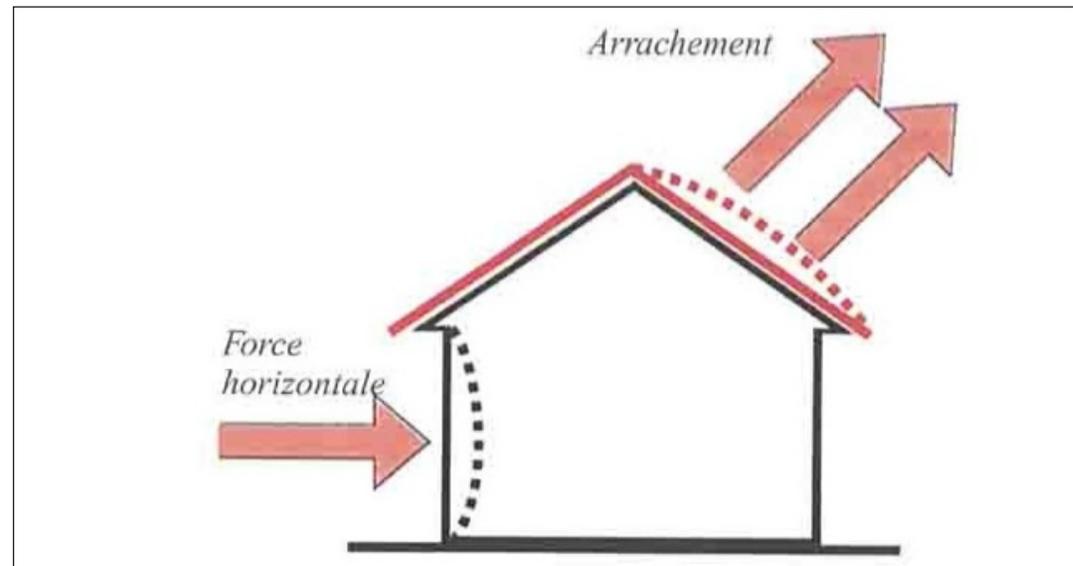


# C - LE RENFORCEMENT PARACYCLONIQUE

# 1 - Analyse du comportement d'un bâtiment lors d'un cyclone

Pour être paracyclonique, le bâtiment doit résister à une force horizontale du vent sur les murs et les fenêtres et à une force d'arrachement de la toiture vers le haut. Ces forces peuvent atteindre 300 kg par m<sup>2</sup> et parfois plus pendant un cyclone. Pour résister à un ouragan, la charpente et la couverture doivent être bien réalisées.

La dalle de béton armé en pente est déconseillée car lors de son coulage le béton ne se répartit pas uniformément sur la pente, des points vulnérables se créent et la dalle s'écroule lors d'un tremblement de terre. Par ailleurs, en zone sismique, il est déconseillé de mettre du poids en tête du bâtiment mais au contraire d'en abaisser le centre de gravité. Ainsi une toiture légère est la meilleure solution à condition qu'elle résiste à l'ouragan.

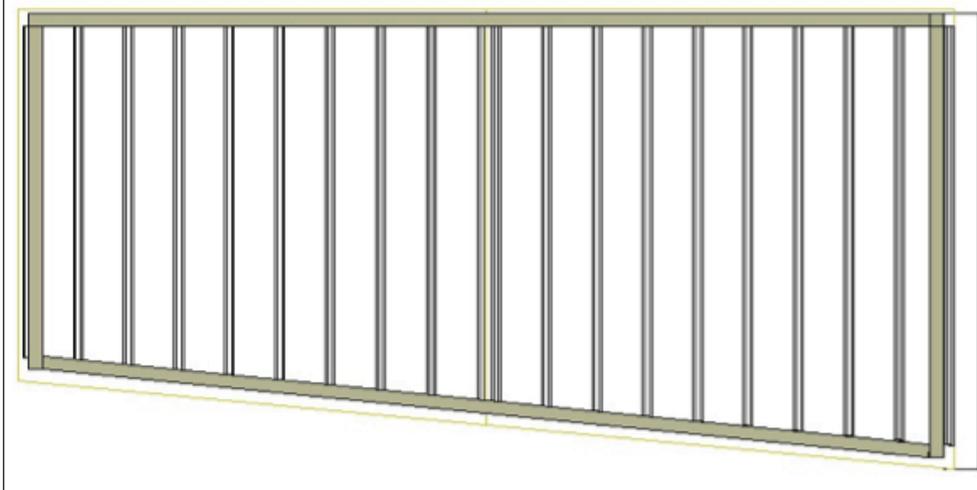


**Dessin 73** : Effets du cyclone sur un bâtiment

## 2 - Les solutions de renforcement d'une couverture

Dans le cas d'un bâtiment recouvert par une toiture légère ou d'une dalle de béton, elles seront enlevées si elles sont de mauvaise qualité. Pour la dalle de béton la mauvaise qualité se constate si la dalle est constituée de béton réalisé avec du sable blanc type «la Boule» au lieu de sable de silice, si les armatures sont apparentes en surface, si les armatures ne sont pas reliées aux chaînages, s'il n'y a pas de chaînage, ou si certaines parties de la dalle se sont effondrées. La mauvaise qualité de la toiture légère se constate si les pannes de bois sont termitées et/ou non traitées ou de section insuffisantes, si les pannes bois sont fixées par des aciers à béton retournés, si les tôles sont rouillées, ou si les tôles sont fixées par des clous

→ 59<sup>5</sup>, 55<sup>5</sup>, 60<sup>5</sup>, 56 + 60<sup>5</sup>, 56 + 57<sup>5</sup>, 54<sup>5</sup>, 56 + 57<sup>5</sup>, 54<sup>5</sup>, 59 + 56 + 59 + 56 + 59 + 51<sup>5</sup>, 56 +

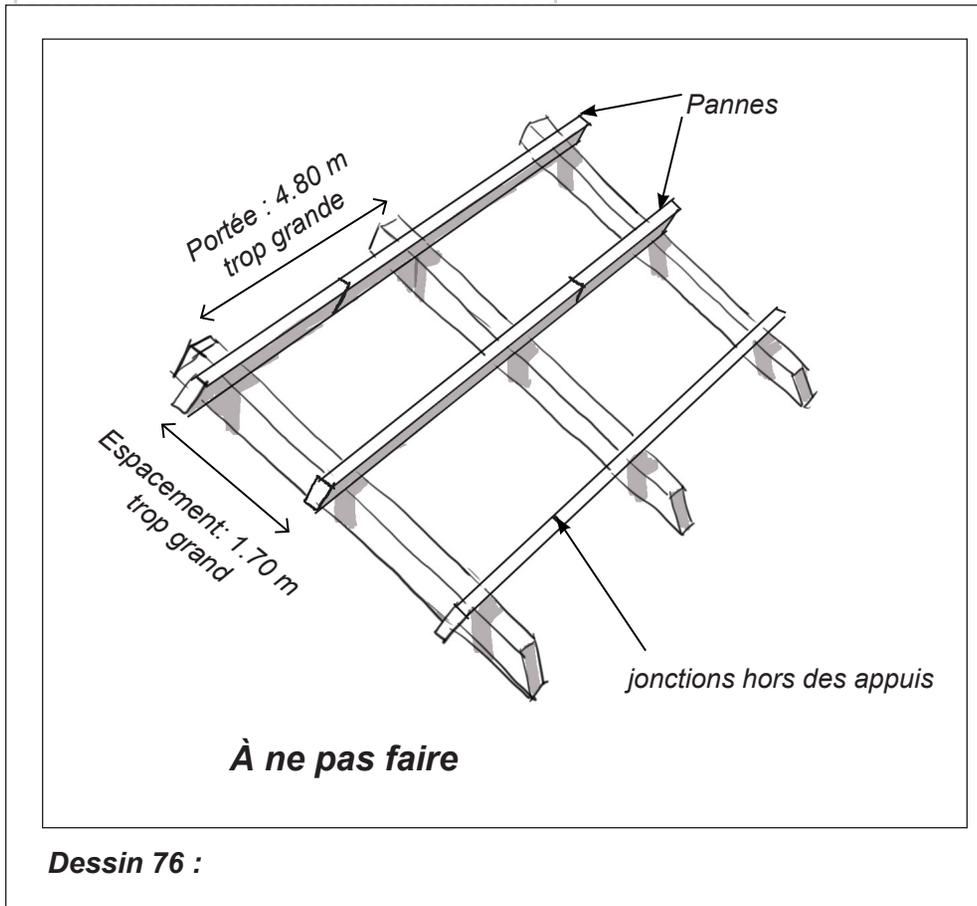


**Dessin 74** : Exemple d'une répartition de pannes

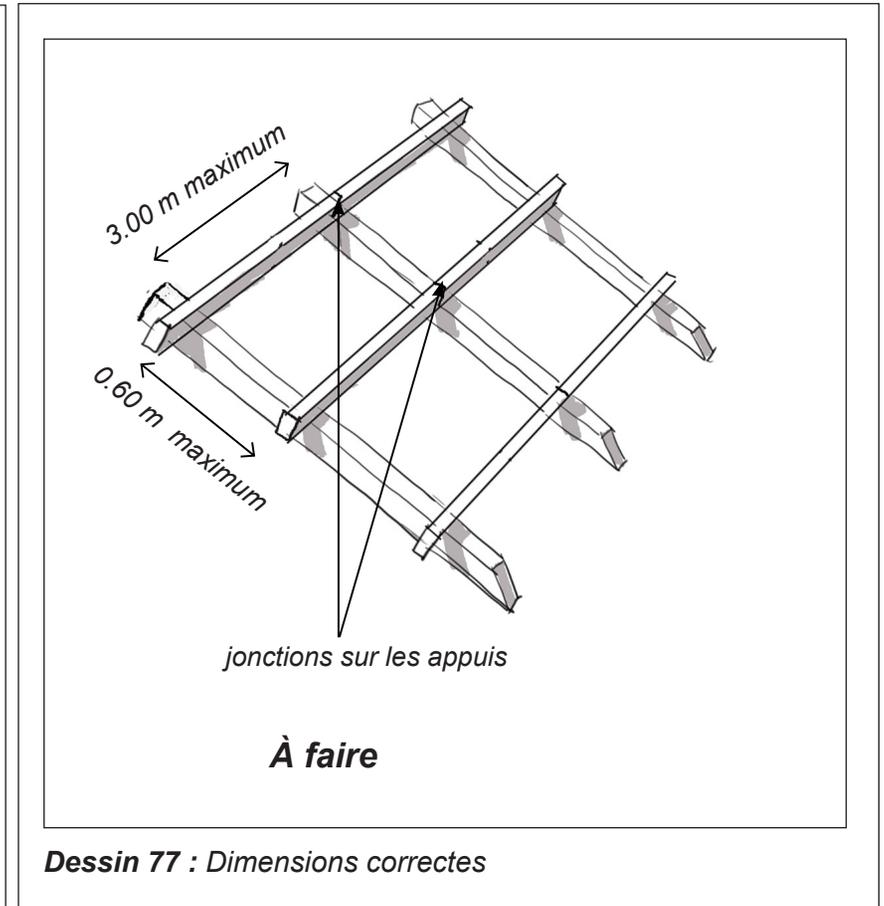


**Dessin 75** : Charpente constituée de pannes

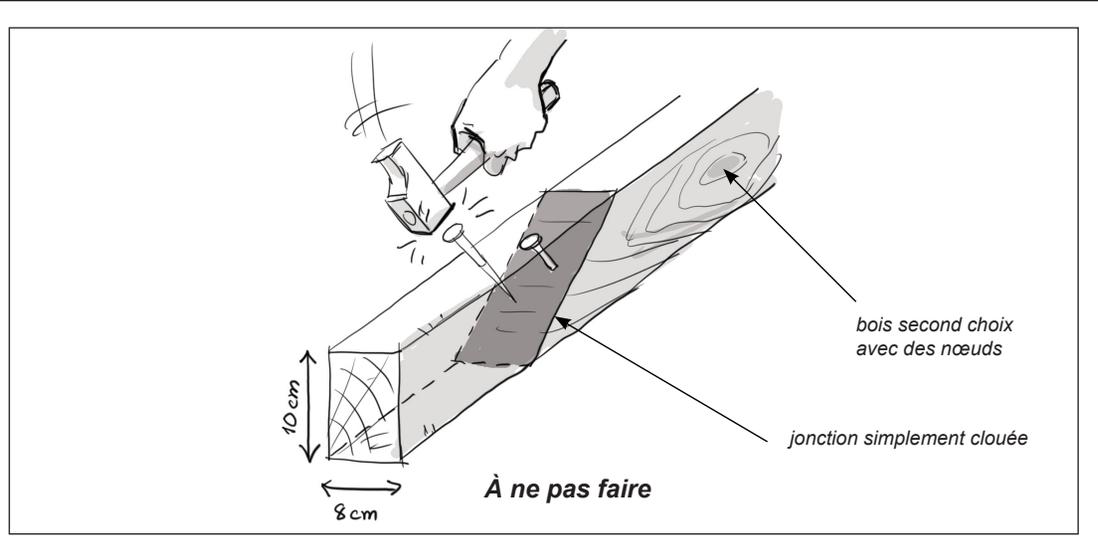
- **La charpente** : les dimensions de la charpente doivent être calculées pour une bonne résistance au vent suivant ASCE 7(05). Pour les bâtiments courants de un à deux niveaux, la solution de charpente par pannes est une solution économique car les tôles sont alors fixées directement sur ces pannes et il n'est pas nécessaire d'ajouter des tasseaux à tôles. L'écartement des pannes, qui reçoivent directement les tôles de couverture, ne doit pas excéder 60 cm. Les jonctions des pannes doivent se faire sur les appuis



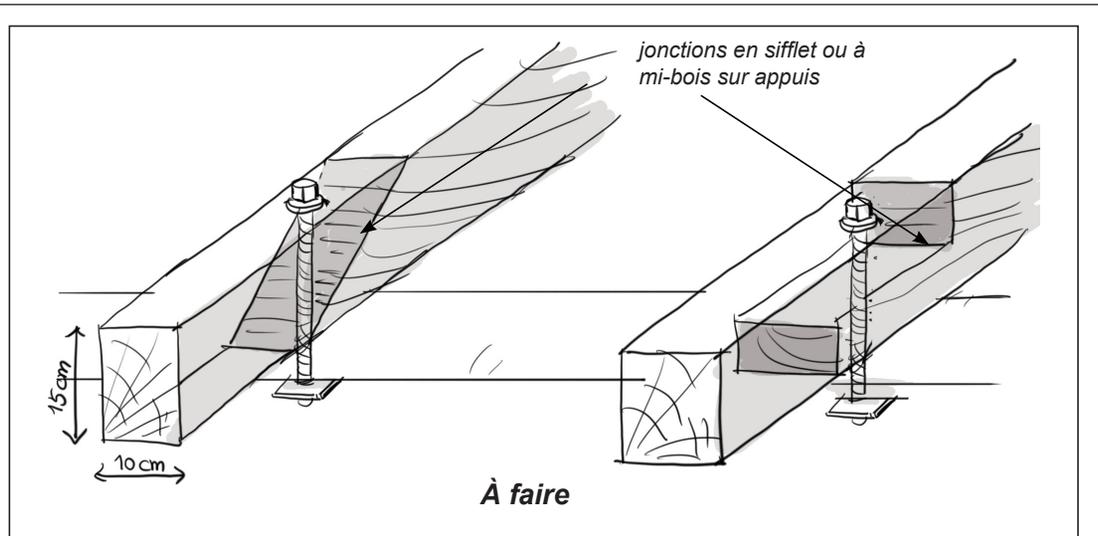
Dessin 76 :



Dessin 77 : Dimensions correctes

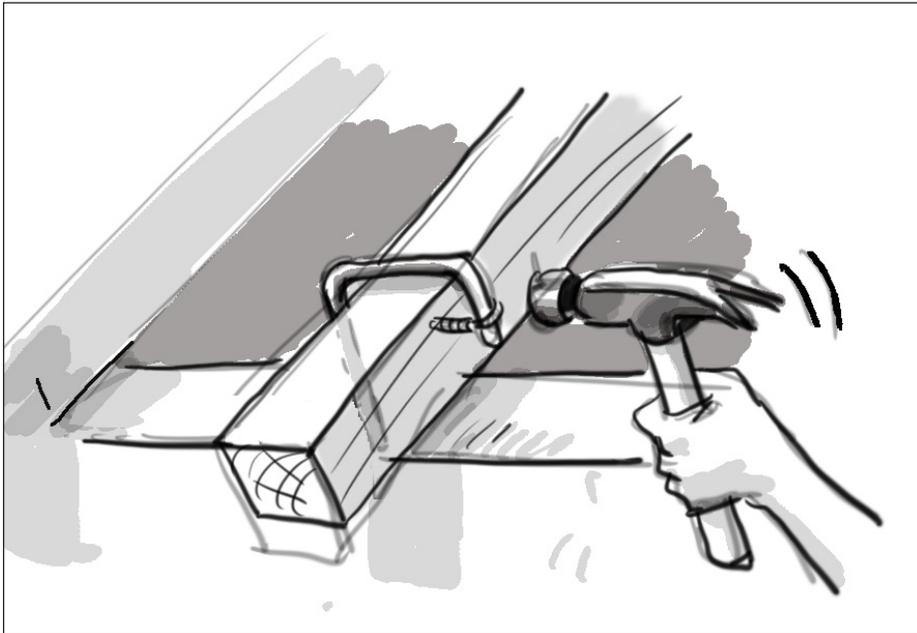


**Dessin 78 :**

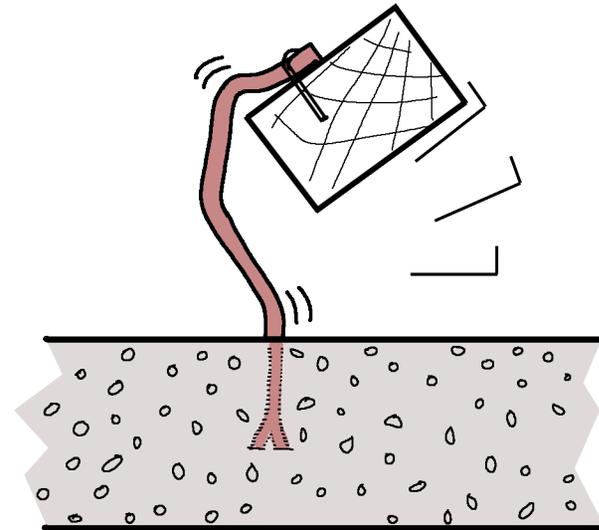


**Dessin 79 : Dispositions correctes**

**Les fixations des pannes :** les pannes en bois traitées sont fixées sur le chaînage haut par des équerres ou des sabots en acier galvanisé, des vis, des équerres et des boulons, ce qui nécessite un appareillage électrique, ou par un lien métallique galvanisé de 2,5 mm d'épaisseur et de 2,5 cm de largeur fixé dans le chaînage haut et cloué, ou encore par un acier de 1/4" ancré dans le chaînage.

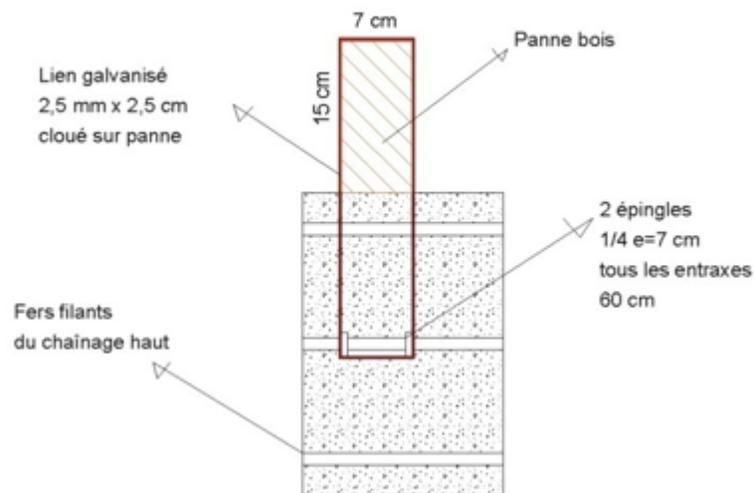


**Dessin 80 :** Dispositions incorrectes

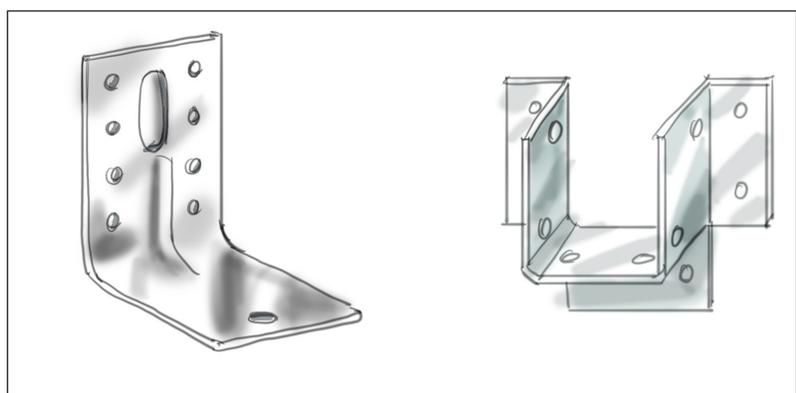


**Dessin 81 :**

### DETAIL FIXATION DES PANNES SUR LE CHAÎNAGE

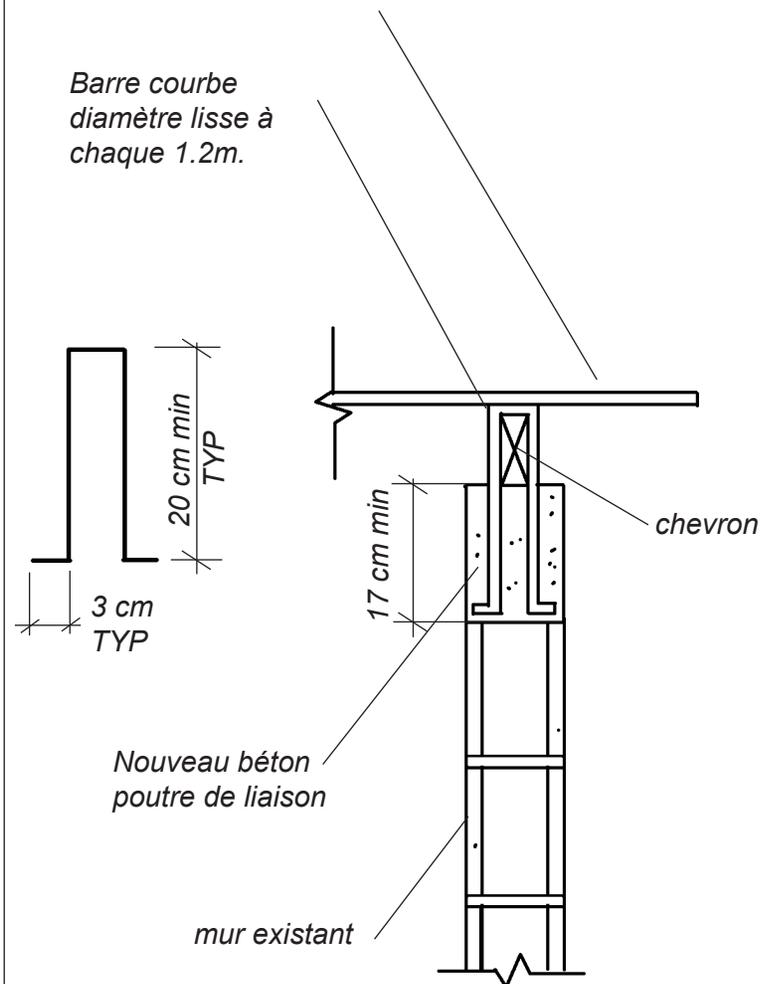


**Dessin 82 : Fixation par lien métallique**



**Dessin 83 & 84 : Equerre de fixation et sabot de fixation**

Barre courbe  
diamètre lisse à  
chaque 1.2m.



**Dessin 85 : Encrage avec barre lisse de 1/4 de pouce**



**Dessin 86 : Toiture existante**



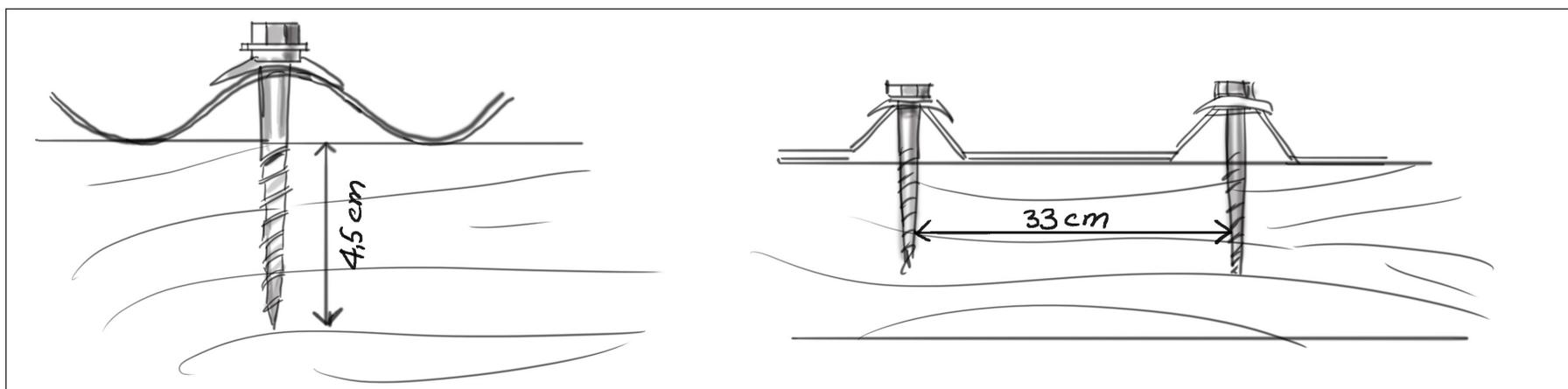
**Dessin 87 : Toiture renforcée**



**Dessin 88 : Toiture existante fixée par des clous**

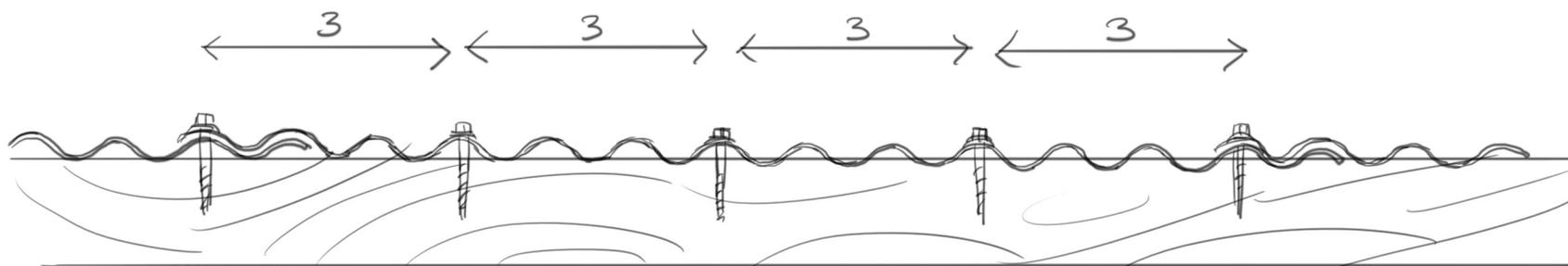


**Dessin 89 : Toiture fixée par des tirefonds**



**Dessin 90 :** Les tirefonds à tôles

Pour des tôles ondulées l'intervalle entre 2 tirefonds est de 3 ondes  
exemple pour une tôle à 14 ondes :



**Dessin 91 :** Disposition de mise en place des tirefonds à tôles





# **D - ÉVALUATION DU COÛT DE RENFORCEMENT**

# D - ÉVALUATION DU COÛT DES RENFORCEMENTS

Si le renforcement est jugé possible par l'ingénieur, le coût des renforcements est évalué selon la fiche ci-dessous. À la suite de cette estimation des coûts, le renforcement pourra être abandonné s'il est trop onéreux. Dans ce cas pour pouvoir occuper la maison, il faudra envisager une reconstruction. Si le coût reste abordable les plans définitifs de renforcement sont réalisés.

Fiche d'évaluation des coûts de renforcement			
Maison n°			

	Nombre	U	Coût/U	Total
<b>Démolition et évacuation</b>				
Murs				
Dalles				
Autres				
<b>Mur de soutènement</b>				
Maçonnerie chaînée				
Mur béton armé				
Maçonnerie armée				
Mur mixte				
<b>Fondations</b>				
Elargissement des fondations				
Nouvelles fondations				
Longrines béton armé				
Longrines maçonneries chaînées				
Longrines maçonneries armées				
Longrines mixtes				
<b>Chainages</b>				
Bas RDC				



# E - BIBLIOGRAPHIE

## F - BIBLIOGRAPHIE

- UNOPS, Reconstruire Haïti, 2011, 20 pages.

[http://www.unops.org/SiteCollectionDocuments/rebuilding\\_haiti\\_unops\\_FR\\_web.pdf](http://www.unops.org/SiteCollectionDocuments/rebuilding_haiti_unops_FR_web.pdf)

- Haïti demain, [http://www.ciat.gouv.ht/download/cat.php?val=7\\_haiti+demain](http://www.ciat.gouv.ht/download/cat.php?val=7_haiti+demain)

Haïti demain présentation, CIAT, mars 2010, 33 pages.

Haïti demain résumé, CIAT, mars 2010, 5 pages.

Haïti demain, CIAT, mars 2010, 14 pages.

- DAVIDOVICI, V., Guide de renforcement des bâtiments scolaires, Dynamique Concept, octobre 2008, 76 pages. [victor.davidovici@wanadoo.fr](mailto:victor.davidovici@wanadoo.fr).

- DAVIDOVICI, V., Rapport d'expertise des bâtiments, Séisme du 10 janvier 2011, République d'Haïti, Dynamique Concept, février 2010, 48 pages. [victor.davidovici@wanadoo.fr](mailto:victor.davidovici@wanadoo.fr).

- Guide de bonnes pratiques pour la construction de petits bâtiments en maçonnerie chaînée, MTPTC, MICT, septembre 2010, 124 pages.

- Guide pratique de réparation de petits bâtiments à Haïti, MTPTC, octobre 2010, 56 pages.

- Guide de Conception Parasismique des Maisons Individuelles aux Antilles, Guide CPMI, 140 pages

[http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Guide\\_CPMI\\_Antilles.pdf](http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Guide_CPMI_Antilles.pdf)

- Construire parasismique et paracyclonique, Ministère de l'Équipement, 2000, 66 pages.

- [www.confinedmasonry.org](http://www.confinedmasonry.org) : the partners are : World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Risk Management Solutions (RMS), Indian Institute of Technology , Pontificia Universidad Catolica del Peru, International Association for Earthquake Engineering (EERI), World Seismic Safety Initiative (WSSI), Build Change.

- Haitian Masonry Eval and Retrofit Summary, Degenkolb, mars 2011, 36 pages.

- Compliance Catalogue Guidelines for the Construction of Compliant Rural Houses, ERRA, mars 2008, 186 pages.

<http://www.unhabitat.org.pk/newweb/Project%20Documents/Rural%20Housing/Publications/Booklets/Compliance%20Catalogue%20-%20Eng-%2024-Jul-2008.pdf>

- MI1007226 Build Change Seismic Retrofit Narrative 01, USAID ECAP, Miyamoto, Build Change, mai 2011, 22 pages.

- Experience in Repair and Retrofitting in the Housing Sector after the Kashmir Earthquake, Pakistan 2005, UN-HABITAT, 6 pages.

- Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme. AFPS-CSTB. MEEDDM. Février 2011.

- Kaye Regdelart, DDE Martinique, septembre 2007, 20 pages.

# **F - ANNEXE TECHNIQUE**

## **Base de l'Evaluation et du Renforcement**

## A. INTRODUCTION

### 1. Applicabilité

Ce guide est prévu pour être appliqué à des petits bâtiments existants, construits en Haïti. Les planchers des étages supérieurs et le toit sont des dalles de béton armé avec des solives constituées de blocs de béton. Le toit peut aussi être construit avec un système léger en métal et bois. Ces bâtiments utilisent comme support vertical des murs porteurs en maçonnerie non-armée, avec ou sans poteaux en béton armé et autres renforcements de chaînage. Les fondations, avec des semelles en béton, roche ou maçonnerie, et des dalles de sol en béton armé ou non-armé.

D'autres restrictions concernant les dimensions du bâtiment, ses proportions, etc., sont incorporées au processus d'évaluation basé sur la Fiche Technique. Ce guide s'applique en général aux bâtiments qui satisfont les critères suivants:

- Bâtiments de Maçonnerie de Remplissage (MR) et Maçonnerie Chainée (MC) de 3 niveaux maximum (RDC inclus).

Bâtiments en Maçonnerie Non-Armée d'un niveau maximum dans les zones de haute sismicité, et de deux niveaux maximum sinon.

- Bâtiments situés sur des sites qui ne satisfont pas les exigences du MTPTC pour la construction de nouveaux bâtiments en maçonnerie chaînée (se référer au Guide de Bonnes Pratiques pour la Construction de Petits Bâtiments en Maçonnerie Chainée en Haïti). Ceci inclut les sites en pente (>10%), ceux situés proches de zones aquatiques, ou sur des sols potentiellement liquéfiables ou instables.

- Bâtiments qui reposent sur des grands murs de soutènement construits en roche ou en béton non-armé.

***L'évaluation doit être faite par un ingénieur qualifié***

Les bâtiments qui ne satisfont pas ces exigences doivent faire l'objet d'une étude d'ingénierie détaillée qui est en dehors du cadre de ce manuel. Les procédures pour une étude plus détaillée sont citées dans les critères de référence utilisés pour la mise au point de ce guide.

Ce guide propose des solutions et des techniques de renforcement qui peuvent être mises en oeuvre avec les compétences, matériaux et outils disponibles en Haïti. Il ne fournit pas de conseils pour les techniques de construction adaptées à la mise en oeuvre de ces solutions. On suppose que la construction sera effectuée par un entrepreneur ou un propriétaire suffisamment qualifié.

## 2. Base du manuel et critères de performance

Ce manuel est basé sur des principes rationnels d'ingénierie et sur les deux normes des États-Unis d'Amérique, "ASCE-31 Seismic Evaluation of Existing Buildings" et "ASCE-41 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings". Ces normes sont reconnues par le Code International de la Construction (IBC) comme une méthode d'évaluation et de renforcement de bâtiments existants. Le Code International de la Construction est un des codes adoptés par le MTPTC pour la construction en Haïti, jusqu'à ce qu'un code officiel de construction propre à Haïti ne soit publié.

L'évaluation sismique est un processus approuvé, ou une méthodologie, pour évaluer les défauts d'un bâtiment qui l'empêchent d'atteindre un niveau de performance choisi. La réhabilitation sismique est le fait d'augmenter la performance sismique d'éléments structurels et/ou d'éléments non-structurels d'un bâtiment en corrigeant les défauts identifiés lors d'une évaluation sismique. Les objectifs de performance sismique utilisés dans l'ASCE-31 et l'ASCE-41 sont représentés sur le schéma plus bas.

L'objectif de performance utilisé dans ce guide est la sauvegarde des vies humaines en cas de séisme, définie comme suit:

**Sauvegarde des vies humaines en cas de séisme :** *Performance du bâtiment qui inclut des dommages aux composants structurels lors d'un séisme de référence, tels que: (a) une certaine marge de sécurité est maintenue vis-à-vis d'un effondrement partiel ou total de la structure, et (b) il peut y avoir des blessés, mais le risque global de blessure mortelle à la suite des dommages structurels est prévu d'être faible.*

Ce guide ne traite pas particulièrement des risques non-structurels comme l'ancrage du bâtiment. Ces points sont supposés être de la responsabilité du propriétaire.

L'évaluation sismique des bâtiments existants réalisée en utilisant l'ASCE-31 est prévue pour accepter des niveaux de dommages dans chaque gamme de performance plus élevés que ce qui est prévu pour les constructions nouvelles, ou renforcées selon l'ASCE-41. Nous avons inclus cet aspect de l'ASCE-31 dans ce guide en appliquant un facteur 0.75 aux charges sismiques lors de l'évaluation d'un bâtiment existant, contre un facteur de 1.0 lors de la validation d'un plan de renforcement proposé.

Ceci est en cohérence avec les pratiques historiques d'évaluation des bâtiments existants, suivant des exigences plus faibles que celles utilisées pour la conception de constructions neuves. L'effet est essentiellement de rabaisser la fiabilité d'atteindre le critère de performance choisi de 90% à 60%. Cette pratique minimise les besoins de réhabilitation des structures ayant des défauts peu importants, par rapport au niveau de performance à atteindre

L'ASCE-31 et l'ASCE-41 ne traitent pas spécifiquement de la construction en maçonnerie chaînée qui est typique en Haïti. Des références supplémentaires ont donc été utilisées afin d'augmenter ces codes pour l'élaboration de ce manuel. La liste complète de ces références est donnée dans les annexes. Le manuel utilise aussi des observations des effets du séisme du 12 Janvier 2010, dans le but de mieux identifier les causes d'endommagement et d'effondrement des bâtiments.

Il est prévu que la majorité des bâtiments réhabilités en accord avec ces normes aient un comportement dans la gamme de performance choisie lorsque soumis à un séisme de référence. **Cependant, la conformité à ces normes ne garantit pas cette performance; elle représente la pratique actuelle de conception des bâtiments pour atteindre cette performance.** L'ingénierie

sismique évolue rapidement, et nous avançons à la fois dans la compréhension du comportement des bâtiments soumis à de forts séismes, et dans notre capacité à prévoir ce comportement. Plus tard, de nouvelles connaissances et de nouvelles technologies augmenteront la fiabilité de l'atteinte de ces objectifs.

### 3. Comment utiliser le manuel

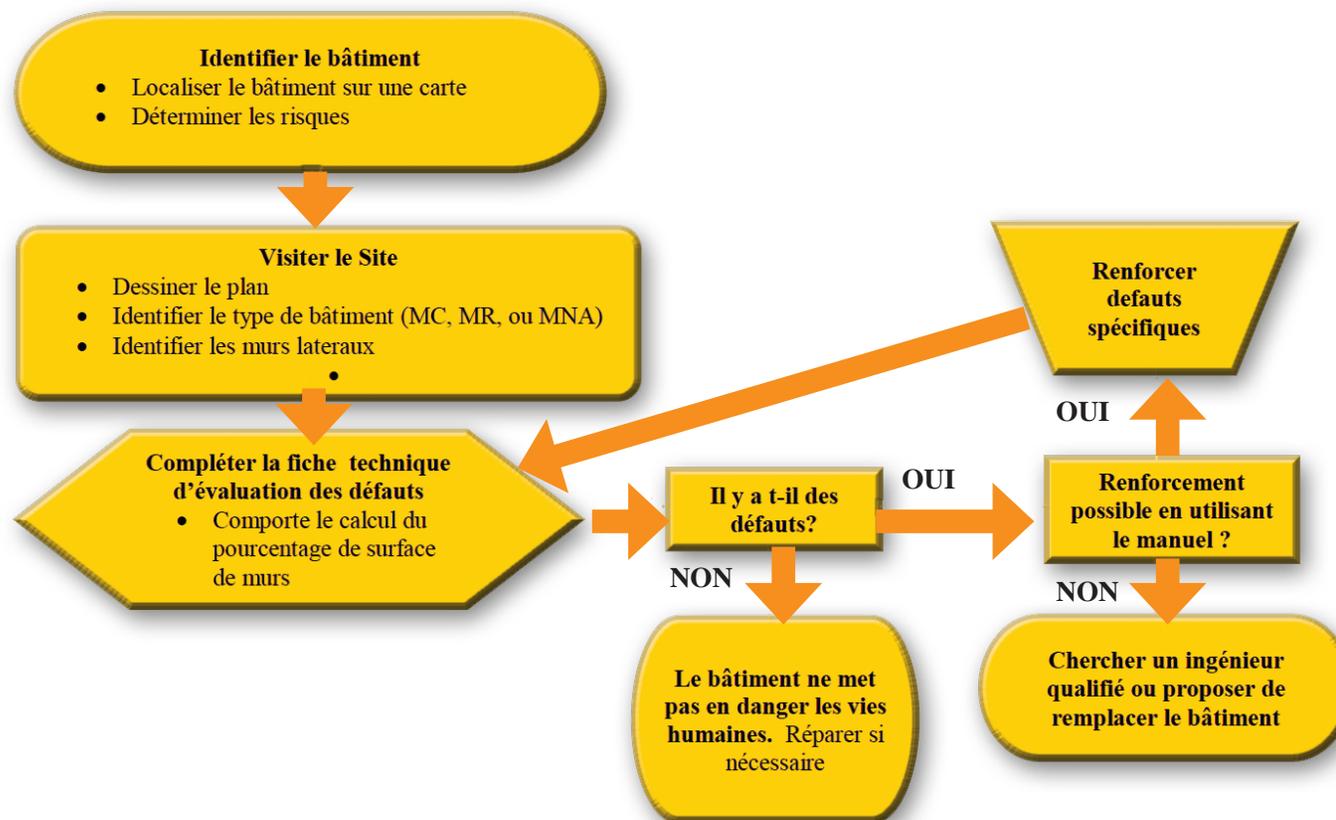
Le processus d'évaluation et de renforcement est résumé dans l'organigramme suivant. La procédure d'évaluation sismique se base sur une Fiche Technique (Checklist) utilisée pour identifier les défauts sismiques critiques. Lorsque les défauts sont identifiés, des mesures de renforcement peuvent être proposées, et l'évaluation sera répétée jusqu'à ce que tous les défauts aient été éliminés.

La procédure d'évaluation est utilisée pour repérer des problèmes critiques du site ou du bâtiment, lesquels ont été reconnus comme contribuant à l'effondrement de certains bâtiments lors des précédents séismes, y compris celui de Janvier 2010. Un problème classique pour ce type de bâtiment est le manque de surface de murs, ou de densité de murs. Cela a pour effet des fissures excessives dans les murs porteurs en maçonnerie, qui s'effondrent ensuite, généralement "hors plan", ce qui engendre l'effondrement complet ou partiel du bâtiment à ce niveau.

Un des éléments de la Fiche Technique traite de ce problème en exigeant que l'ingénieur chargé de l'évaluation effectue le calcul du Pourcentage de Surface de Mur ; cela sert ensuite pour déterminer si le bâtiment a suffisamment de murs dans chaque direction et à chaque niveau, selon le type de maçonnerie utilisé. Si la surface de murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement) est INFÉRIEURE à la surface requise de murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement), le bâtiment doit être renforcé.

L'ingénieur peut alors choisir une solution parmi celles de la liste disponible. Ces solutions ont pour effet, soit d'augmenter le Pourcentage de Surface de Mur, soit de réduire la surface requise de murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement). Les solutions qui augmentent le pourcentage de Surface de Mur comprennent des mesures telles que l'ajout de nouveaux murs de maçonnerie, le remplissage de fenêtres, ou l'ajout d'un revêtement de béton à un mur existant. Les solutions qui réduisent la surface requise de murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement) comprennent des mesures telles que l'ajout d'éléments de chaînage en béton armé afin de rendre la structure plus ductile, l'amélioration de la qualité de la maçonnerie, le retrait d'un étage supérieur, ou le passage à un système de toiture légère.

Une fois que l'ingénieur a choisi la ou les solutions de renforcement, les calculs et l'évaluation doivent être fait de nouveau en tenant compte des changements, et en vérifiant que la surface des murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement) du bâtiment renforcé est plus grande que la surface requise de murs de cisaillement (murs de refend ou murs de contreventement).



Une fois la stratégie de renforcement du bâtiment décidée, l'ingénieur est responsable de la production des plans, des détails, et du cahier des charges nécessaire à l'exécution des travaux. L'ingénieur est responsable de l'adaptation de ces documents aux conditions particulières du bâtiment, et il doit pour cela s'assurer que la stratégie de renforcement choisie puisse effectivement être intégrée au système de résistance latérale du bâtiment.

Les possibilités de renforcements doivent être discutées avec le propriétaire. Des solutions telles que le remplissage d'une fenêtre ou d'une porte, ou la démolition du dernier étage, ne sont pas les plus attractives mais ont tendance à coûter moins cher. Ajouter des nouveaux murs de maçonnerie, ou des éléments de chaînage en béton armé, peut paraître plus attirant mais coûtera plus cher. Ce manuel a pour but d'apporter aux ingénieurs les outils nécessaires à la mise en place des stratégies de renforcement adaptées aux situations personnelles, et aux besoins des propriétaires.

Ce guide ne traite pas des exigences pour effectuer ces travaux. Ces travaux doivent être faits conformément aux documents pertinents du MTPTC, le Guide de Bonnes Pratiques pour la Construction de Petits Bâtiments en Maçonnerie Chaînée en Haïti, et le Guide Pratique de Réparation de Petits Bâtiments en Haïti.

## B. FICHE TECHNIQUE D'ÉVALUATION DES DÉFAUTS

La Fiche Technique d'Évaluation des défauts représente la partie la plus importante du processus d'évaluation du bâtiment. Elle propose une liste de défauts sismiques potentiels, reconnus comme étant responsables de l'effondrement de bâtiments. Il est important de bien lire chaque énoncé avec attention, et de noter les commentaires nécessaires dans la colonne « Notes » pour chaque énoncé.

**C : Conforme** – Faire ce choix si vos observations et/ou vos calculs sont en accord avec l'énoncé.

**NC : Non-Conforme** – Faire ce choix si vos observation et/ou vos calculs sont en désaccord avec l'énoncé de la Fiche Technique. Les éléments non-conformes doivent être rendus conformes au cours du processus de renforcement.

**N/A : Non-applicable** – Faire ce choix si l'énoncé de la Fiche Technique ne s'applique pas au bâtiment en cours d'évaluation. Les éléments non-applicables ne doivent pas être pris en compte dans l'évaluation de la sûreté sismique du bâtiment.

Une fois que l'évaluation soit terminée et que les défauts sont connus, l'ingénieur détermine un plan de renforcement afin de convertir tous les éléments Non-Conformes en Conformes. Pour que le bâtiment atteigne l'objectif structurel de Sûreté des Vies tous les points d'évaluation doivent être Conformes à la fin.

L'ingénieur a toujours la possibilité d'effectuer une évaluation plus détaillée pour transformer un élément Non-Conforme en Conforme. Ceci est l'atténuation à travers une évaluation additionnelle. L'ingénieur doit effectuer cette évaluation en utilisant les normes de référence acceptée par le MTPTC.

Les techniques de renforcement acceptables sont prévues pour certains des éléments de la Fiche Technique d'Évaluation. Certains éléments Non-Conformes nécessiteront automatiquement soit une investigation technique plus détaillée soit des conseils supplémentaires du MTPTC, par exemple pour des maisons situées sur des sites à forte pente.

<b>1.0 RISQUES GÉOLOGIQUES DU SITE</b>		
<b>1.1</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>LIQUÉFACTION</b> : On ne doit pas trouver de sols granulaires liquéfiables, lâches, saturés, ou qui pourraient compromettre la performance sismique du bâtiment, dans des profondeurs de 50 pieds (16m) au-dessous du bâtiment
<b>1.2</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>GLISSEMENT DE TERRAIN</b> : Le site sur lequel se trouve la maison doit vérifier les exigences des Règles de Dimensionnement et de Construction pour les Logements en Maçonnerie Chaînée émis par le MTPTC p 8, 9, 12 and 13. Sinon, au bon jugement de l'ingénieur, le site du bâtiment doit être suffisamment éloigné de glissements de terrains ou de chutes de pierres dus à un séisme pour ne pas en être affecté, ou le site doit être capable de supporter les mouvements prévisibles sans rupture.
<b>1.3</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>MURS DE SOUTÈNEMENT</b> : Les murs de soutènement qui supportent la structure, en pierre ou en maçonnerie non-armée, doivent faire moins de 1m de haut. Des trous doivent être percés dans les murs de soutènement pour le drainage.
<b>1.4</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>RUPTURE DE FAILLE</b> : La rupture des failles et les mouvements de terrain s'en suivant ne sont pas anticipés sur le chantier de construction.

<b>2.0 FONDATIONS</b>		
<b>2.1</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>FONDATIONS DES MURS</b> : Les fondations sont construites en pierres de ciment ou en béton, et sont continues sous les murs et autour du périmètre du bâtiment. Il y a une poutre de soubassement à la base de chaque mur, et les poteaux doivent être ancrés dans les fondations. Les semelles doivent être enfoncées d'au moins 50cm sous le sol.
<b>2.2</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>PERFORMANCE DES FONDATIONS</b> : Il ne doit y avoir aucun signe de mouvement excessif des fondations, comme de l'affaissement ou du soulèvement, qui pourraient nuire à l'intégrité ou à la résistance de la structure.
<b>2.3</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>RENVERSEMENT</b> : La hauteur totale au-dessus du niveau de la base des fondations ne doit pas dépasser 3 fois la plus petite dimension latérale.
<b>2.4</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>CONNEXION ENTRE LES ÉLÉMENTS DES FONDATIONS</b> : Pour les sols mous ou en pente (>10%), les éléments constituant les fondations doivent être connectés entre eux par une dalle de béton armé, les semelles et les poutres de soubassement en béton armé doivent être continues sous tous les murs.
<b>2.5</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>DÉGRADATION</b> : Il ne doit y avoir aucun signe de dégradation excessive des éléments de fondations à cause de la corrosion, d'attaque de sulfates, de cassure des matériaux, ou de toute autre cause pouvant nuire à l'intégrité ou à la résistance de la structure

3.0		<b>SYSTEME DE CONSTRUCTION</b>
3.1	<b>C NC N/A</b>	<b>MATÉRIAUX :</b> Les matériaux utilisés pour les systèmes de résistance horizontale et verticale doivent être en béton armé ou en blocs de béton. Il peut y avoir une toiture légère en bois et/ou métal, mais la toiture n'est pas obligée de résister aux forces sismiques.
3.2	<b>C NC N/A</b>	<b>CHEMIN DE FORCES:</b> Un minimum de deux rangées séparées de murs est requis dans chaque direction ; une rangée supplémentaire est requise pour chaque ajout de 4.5m à la dimension du bâtiment au-dessus de 4.5m. Les murs servant de résistance latérale doivent faire au moins 1m de long. Les murs parallèles ne doivent pas être espacés de plus de 4.5m. Les murs doivent être connectés au diaphragme au-dessus et en-dessous par une dalle continue en béton armé, ou par une poutre de liaison centrée sous et sur les murs et contigüe à la dalle.
3.3	<b>C NC N/A</b>	<b>NOMBRE DE NIVEAUX :</b> Le nombre maximal de niveaux est de 3 en comptant le RDC, sauf pour les bâtiments en Maçonnerie Non-Armée limités à deux niveaux pour une accélération $S_d < 1.1g$ , et à un niveau pour une accélération $S_d \geq 1.1g$ (toujours en comptant le RDC). (Référence: ASCE7, 2005)
3.4	<b>C NC N/A</b>	<b>HAUTEUR DES NIVEAUX :</b> La hauteur maximale du rez-de-chaussée est de 3.0m au-dessus de la dalle de sol, et la hauteur entre les planchers-plafonds des étages supérieurs est limitée à 2.75m.
3.5	<b>C NC N/A</b>	<b>POIDS:</b> Le poids moyen ( $1.0 \times D$ ) de chaque niveau, comprenant le poids de la dalle, des murs et des charges permanentes additionnelles ne doit pas dépasser 7.2kPa (150 lb/pi <sup>2</sup> ).
3.6	<b>C NC N/A</b>	<b>SYSTEME DE TOITURE ET DE PLANCHERS:</b> Le système des planchers des étages supérieurs et de la toiture doit être le système fait de dalle de béton encore creux : épaisseur de 15cm, avec 5cm de béton armé au-dessus des solives en béton armé, utilisation des blocs de béton comme alvéoles.
3.7	<b>C NC N/A</b>	<b>MURS:</b> Les murs doivent être construits avec des blocs de béton d'épaisseur minimum 15cm, assemblés avec du mortier de ciment et de sable. Pas moins de 40% de surface net pleine.
3.8	<b>C NC N/A</b>	<b>PORTE-A-FAUX AUX NIVEAUX SUPÉRIEURS :</b> Les murs extérieurs des niveaux supérieurs ne doivent pas reposer sur des porte-à-faux ou des rebords qui s'étendent au-delà des murs du niveau inférieur de plus de la moitié de l'épaisseur du mur. Ceci ne s'applique pas aux constructions de ple in pied.
3.9	<b>C NC N/A</b>	<b>DOMMAGES:</b> Les murs de maçonnerie et la toiture n'ont pas de dommages dus à un séisme, ou de dommages excessifs causés par les intempéries. Les bâtiments endommagés sont NON-CONFORMES mais peuvent être réparés suivant les directives du MTPTC pour être conforme

<b>4.0</b>		<b>MURS DE MACONNERIE</b>
<b>4.1</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>MACONNERIE CHAINEE:</b> Les murs doivent être bien attachés à la face inférieure de la poutre de couronnement ou de la dalle, et aux chaînages verticaux s'il y en a. Cependant il ne doit pas y avoir de coffrage entre le haut de la maçonnerie et la face inférieure de la dalle/poutre.
<b>4.2</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>OUVERTURES:</b> Les portes, les fenêtres, et toutes les autres ouvertures de plus de 0.6m de large doivent se prolonger jusqu'à la poutre au-dessus, ou doivent avoir un linteau en béton armé. Les linteaux doivent s'enfoncer de plus de 20cm dans la maçonnerie adjacente, ou doivent être connectés au chaînage vertical adjacent ou aux armatures adjacentes.
<b>4.3</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>POUTRE DE COURONNEMENT:</b> Les bâtiments construits avec des toitures légères en bois ou en métal doivent avoir une poutre de couronnement continue en béton armé en haut des murs pour transférer les forces hors-plan aux murs. Les poutres de couronnement doivent passer au-dessus des ouvertures des portes là où il y en a. Les systèmes de toiture doivent être bien ancrés aux poutres de couronnement.

<b>4.4</b>	<p><b>Pour chaque niveau :</b></p> <p><b>Transversal</b>  <b>3 : C NC N/A</b>  <b>2: C NC N/A</b>  <b>1: C NC N/A</b></p> <p><b>Longitudinal</b>  <b>3: C NC N/A</b>  <b>2: C NC N/A</b>  <b>1: C NC N/A</b></p>	<p><b>POURCENTAGE DE SURFACE DE MUR :</b> Le pourcentage de Surface de Mur (PSM ou WAP) doit être plus grand que le Pourcentage de Surface de Mur requis (PSM requis ou WAPrequis) à chaque niveau et dans chaque direction. La feuille de calcul du PSM doit être attachée à cette fiche technique, et les ratios D/C ainsi que les C, NC et N/A doivent être reportés dans la colonne de gauche.</p>	<p>PSM Transversal  <u>Niveau Requis / Fournis</u>  3 / /  2 / /  1 / /</p> <p>PSM Longitudinal  <u>Niveau Requis / Fournis</u>  3 / /  2 / /  1 / /</p>
------------	--	--	--

<b>5.0</b>		<b>CONFIGURATION DU BÂTIMENT</b>
<b>5.1</b>	<b>C NC N/A</b>	<b>TORSION:</b> Les murs recouvrent toutes les faces extérieures du bâtiment, ou au moins 25% de la dimension en plan du bâtiment à l'emplacement du mur, cela compte pour les plans en L ou en T. Sinon, la distance calculée entre le centre de masse et le centre de rigidité doit être de moins de 20% de la largeur maximale du bâtiment dans les deux directions.

<b>5.2</b>	<b>C NC N/A</b>	<p><b>BÂTIMENTS ADJACENTS:</b> Si les dalles de plancher et de toiture des bâtiments adjacents ne sont pas alignées verticalement, alors l'espace libre entre le bâtiment en cours d'évaluation et un bâtiment adjacent doit être supérieur à 3 cm pour les structures à un seul niveau ( RDC seulement), 6 cm pour les structures avec un étage, et 9 cm pour les structures à 2 étages. Si les dalles de planchers et de toit sont alignées verticalement, ce point est conforme.</p>
<b>5.3</b>	<b>C NC N/A</b>	<p><b>DISCONTINUITÉS VERTICALES:</b> Les murs du 1<sup>er</sup> étage sont généralement alignés au-dessus des murs du niveau inférieur. Les murs du 1<sup>er</sup> étage qui ne sont pas alignés avec ceux du niveau inférieur ne doivent pas avoir de longueurs de plus de 3m sans supports, et doivent avoir à chacune de leurs extrémités :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaînage vertical autoportant conforme, voir le point de la fiche technique correspondant.</li> <li>• Une largeur de dalle de 60 cm maximum, s'étendant du mur du dessus au mur perpendiculaire du dessous..</li> <li>• Un chevauchement d'au moins 1/4de longueur du mur(30cm minimum).</li> </ul> <p>Ceci ne s'applique pas aux constructions à un seul niveau (RDC seulement).</p>

<b>6.0</b>	<b>COMPOSANTS DU BÂTIMENT</b>	
<b>6.1</b>	<b>C NC N/A</b>	<p><b>CHAÎNAGES VERTICAUX DE BÉTON AUTOPORTANTS/DISCONTINUS :</b> Les chaînages verticaux autoportants supportant des dalles de plancher/toiture en béton, ou des murs de maçonnerie discontinus doivent satisfaire ces exigences :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les chaînages verticaux doivent être en béton armé, en bonne condition, avec une hauteur minimum de 1.5m entre chaînages horizontaux.</li> <li>• La base des chaînages verticaux doit être connectée aux restes du bâtiment par une fondation continue, ou une dalle de béton armé ou un chaînage horizontal.</li> <li>• Les chaînages verticaux doivent avoir une largeur minimum de 15cm lorsqu'ils supportent une toiture ou un patio en béton, 20cm lorsqu'ils supportent un mur discontinu de un étage de haut, 30cm lorsqu'ils supportent un mur discontinu de deux étages.</li> </ul>

<p><b>6.2</b></p>	<p><b>C NC N/A</b></p> <p><b>C NC N/A</b></p>	<p><b>OUVERTURES DANS LA DALLE AU NIVEAU DES MURS PORTEURS (MURS DE REFEND OU MURS DE CONTREVENTEMENT) :</b> Les ouvertures dans la dalle proches des murs porteurs (murs de refend ou murs de contreventement) doivent vérifier les exigences suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les ouvertures directement adjacentes aux murs porteurs (murs de refend ou murs de contreventement) doivent être plus petites que 25% de la longueur du mur.</li> <li>• Les ouvertures dans la dalle près des murs extérieurs en maçonnerie doivent avoir une longueur inférieure à 2.5m, et une poutre en béton armé doit être mise sur un mur adjacent à l'ouverture et sur la périphérie de l'ouverture. doit étendre la longueur du mur adjacent à l'ouverture.</li> </ul>
<p><b>6.3</b></p>	<p><b>C NC N/A</b></p>	<p><b>PARAPETS :</b> Il ne doit pas y avoir de corniches ou de parapets en maçonnerie, avec un rapport hauteur/épaisseur plus grand que 1.5 qui ne soient pas supportés latéralement. Les parapets en maçonnerie doivent être en bonne condition, avec des blocs de béton reliés entre eux et à la dalle de béton qui les supporte.</p>
<p><b>6.4</b></p>	<p><b>C NC N/A</b></p> <p><b>C NC N/A</b></p> <p><b>C NC N/A</b></p>	<p><b>ESCALIERS:</b> Les escaliers doivent satisfaire ces exigences:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les escaliers doivent être connectés à chaque étage à la dalle du bâtiment, ou au toit, par un palier continu en béton. Les escaliers ne doivent pas dépendre des murs en maçonnerie du bâtiment pour leur support vertical.</li> <li>• Les murs en maçonnerie servant de support aux paliers doivent avoir une longueur minimum de 0.6m. Le palier au niveau du sol doit être supporté par une fondation construite en pierre de ciment ou une semelle en béton qui est enfoncé d'au moins 30cm sous le sol.</li> <li>• Sur les sites en pente (&gt;10%) ou sur les sites mous, la fondation des escaliers doit être continue avec le reste du bâtiment.</li> </ul>

## C. INFORMATIONS SUR LE RENFORCEMENT

La stratégie de renforcement mise en place découle de la Fiche Technique d'Évaluation. Des défauts tels que des parapets ou des escaliers non conformes, peuvent être corrigés en les détruisant et en les remplaçant, ou en ajoutant des supports ou des renforcements.

L'évaluation du Pourcentage de Surface de Mur (PSM) peut aussi indiquer des solutions de renforcement potentielles. Si la densité de murs existant est inférieure à la densité de murs requis, le bâtiment doit être renforcé. L'ingénieur peut choisir parmi une liste des solutions qui ont comme but d'augmenter le Pourcentage de Surface de Mur existant, soit de réduire Pourcentage de Surface de Mur requis.

**Afin d'augmenter le Pourcentage de Surface de Mur existant, l'ingénieur peut recommander les mesures suivantes (pour les défauts voir section G):**

- Ajouter des murs. Voir détail D1.
- Doubler l'épaisseur des murs porteurs existants (murs de refend ou murs de contreventement) existants. Voir détail D2.
- Remplir quelques fenêtres et/ou quelques portes. Voir détail D6.
- Améliorer la qualité des murs existants en remplaçant quelques-uns par de nouveaux murs. Voir détail D1.
- Augmenter la surface effective des murs en ajoutant une couche d'enduis. Voir détail D3.
- Augmenter la surface effective des murs en les recouvrant de béton armé. Voir détail D4.
- Instaurer la continuité verticale de certains murs discontinus afin de les compter dans le PSM. Voir détails D1.

**Afin de réduire le Pourcentage de Surface de Mur comme expliquer dans la section E, l'ingénieur peut recommander de :**

- Rendre le système plus ductile (en introduisant des éléments de la maçonnerie chaînée). Voir détail D5.
- Réduire la charge sismique appliquées au bâtiment (en retirant de la masse, par exemple en supprimant un étage supérieur ou en remplaçant une toiture lourde par une toiture légère).
- Justifier une résistance à la compression plus élevée pour la maçonnerie en se basant sur les résultats de tests.
- Réparer la maçonnerie qui a été installée par de la main d'œuvre non-qualifiée. Voir le guide du MTPTC.

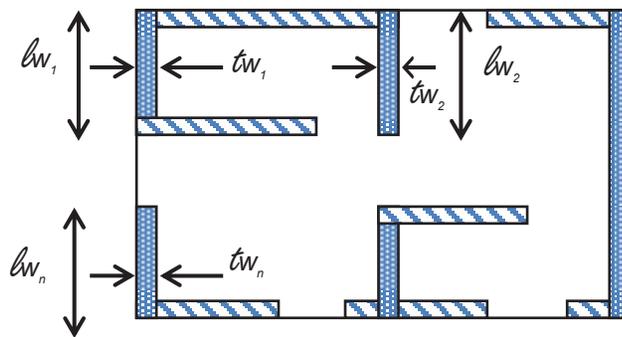
Une fois que l'ingénieur a sélectionné la ou les options, il doit remplir la Fiche Technique d'Évaluation, et calculer à nouveau le Pourcentage de Surface de Mur afin de s'assurer que la solution de renforcement va satisfaire les critères de ce guide.

## D: CALCUL DU POURCENTAGE DE SURFACE DE MUR

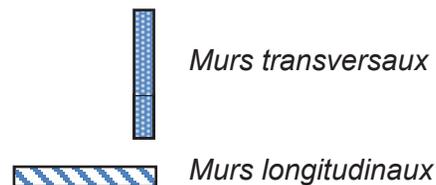
L'évaluation de la structure dans la Section B demande le calcul du Pourcentage de Surface de Mur du bâtiment existant, et du Pourcentage de Surface de Mur requis en cas de renforcement.

### Évaluation du bâtiment existant

Le Pourcentage de Surface de Mur (PSM) du bâtiment existant est calculé comme la surface des murs porteurs (murs de refend ou murs de contreventement) dans chaque direction, divisée par la surface totale du niveau concerné. Le calcul du PSM pour les 2 directions (longitudinale et transversale) doit être effectué séparément.



Exemple de plan



$$PSM \text{ Actuel} = \frac{t_{w1} \times l_{w1} + t_{w2} \times l_{w2} + \dots + t_{wn} \times l_{wn}}{A_r}$$

Avec:

$t_{w1}$  = épaisseur du mur #1 (recommencer pour tous les # de murs dans la même direction)

$l_{w1}$  = longueur du mur #1 (recommencer pour tous les # de murs dans la même direction). Les murs de moins qu'un mètre de longueur ne doivent pas être comptés pour ce calcul.

$A_r$  = Surface de la toiture ou du plancher supporté au-dessus des murs considérés.

Les Pourcentages de Surface de Mur se situent généralement entre 2% et 8%.

La valeur calculée dans chaque direction doit ensuite être comparée aux valeurs de Pourcentage de Surface de Mur requises, trouvées à la Section E.

## Évaluation du renforcement

Si le PSM est inférieur au pourcentage de surface requise, l'ingénieur doit proposer un renforcement en utilisant une, ou plusieurs, des solutions suivantes :

1. Passage de la MNA à la MC en proposant des détails correspondants à la MC.
2. Ajouter de la surface de mur effective grâce aux solutions suivantes :
  - a. Ajouter des nouveaux murs de maçonnerie chaînée.
  - b. Doubler l'épaisseur des murs de maçonnerie existants.
  - c. Remplir certaines fenêtres ou certaines portes avec des nouveaux murs de maçonnerie.
  - d. Ajouter 2.5cm d'enduis (1.25cm de chaque côté du mur)
  - e. Ajouter un revêtement de 7.5cm de béton armé.

L'ajout de nouvelles maçonneries, d'enduis, ou de béton armé, permet une augmentation de la surface de mur calculée dans l'évaluation du bâtiment existant. La résistance ajoutée par les nouveaux matériaux est normalisée à la résistance d'un bloc de 15cm d'épaisseur de 10 MPa minimale.

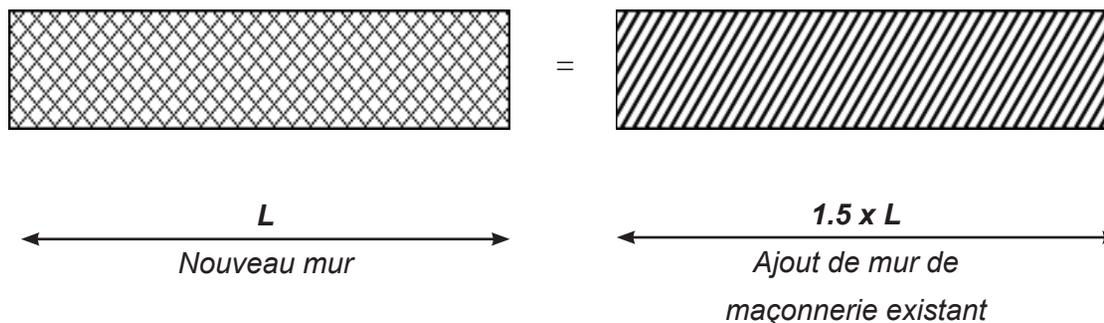
Les facteurs 'K' suivant sont là pour relier la résistance du nouveau matériau à la résistance du matériau référentiel, afin d'avoir une surface de mur effective.

### **Ajustement de la surface d'un nouveau mur de maçonnerie, $K_m$**

Il est recommandé d'utiliser des blocs de résistance minimale égale à 10 MPa pour le renforcement. L'ajout d'un nouveau mur de maçonnerie avec un facteur  $K_m = 1.5$  peut être considéré équivalent à l'ajout de 1.5 fois la longueur du mur de maçonnerie existant

K <sub>m</sub> en fonction du rapport entre les blocs existants et nouveaux		
Résistance des blocs nouveaux, f <sub>m</sub> en Mpa (psi)	Résistance des blocs existants, f <sub>m</sub> en Mpa (psi)	
	2.8 (400)	4.8 (700)
4.8 (700)	1.3	1.0
6.9 (1000)	1.5	1.2
10 (1450)	1.5	1.4
12 (1740)	1.5	1.5

Si K<sub>m</sub> = 1.5:

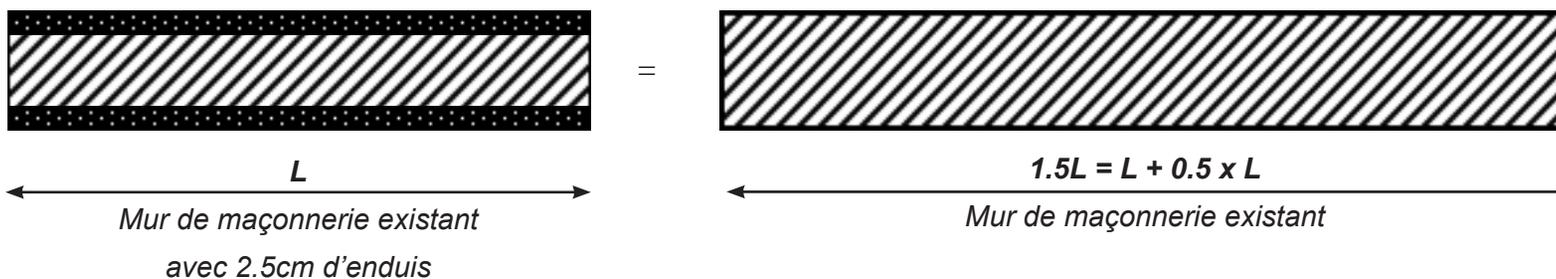


### Ajustement de la surface pour un revêtement de crépissage, K<sub>p</sub>

K<sub>p</sub> = 0.5 pour l'ajout de 2.5 cm d'enduit à un mur de 15 cm d'épaisseur (1.25 cm de chaque côté).

K<sub>p</sub> = 0.25 pour l'ajout de 2.5 cm d'enduit à un mur de 30 cm d'épaisseur (1.25 cm de chaque côté).

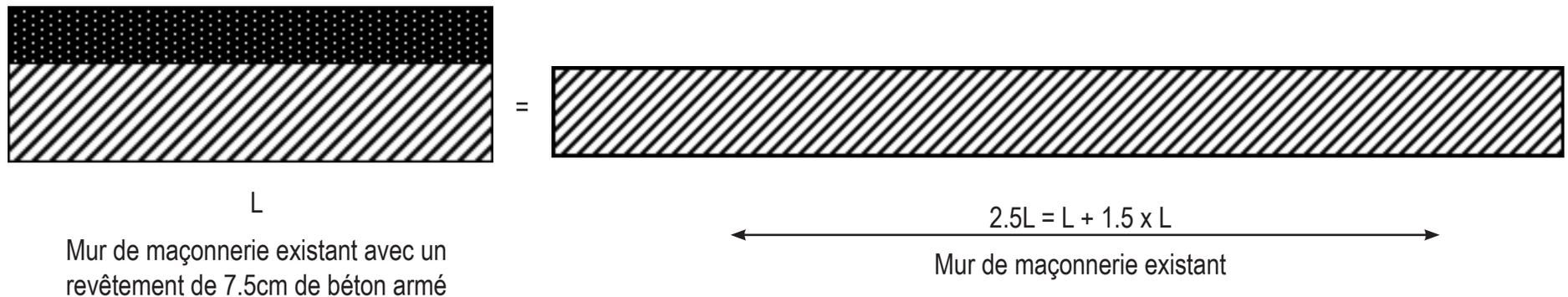
L'ajout d'enduit à un mur de maçonnerie avec un facteur K<sub>p</sub> de 0.5 peut être considéré équivalent à l'ajout de 0.5 fois la longueur du mur de maçonnerie existant. Pour les besoins du calcul, l'ingénieur responsable du dimensionnement peut considérer que l'ajout de 2.5cm d'enduit est équivalent à l'augmentation de la longueur du mur existant de 50%.



### Ajustement de la surface pour un revêtement de béton armé, $K_p$

$K_c = 1.5$  pour l'ajout de 7.5 cm de béton armé à un mur de 15 cm d'épaisseur (un seul côté).

L'ajout d'un revêtement de béton armé à un mur armé de maçonnerie avec un facteur  $K_c$  de 1.5 peut être considéré équivalent à l'ajout de 1.5 fois la longueur du mur de maçonnerie existant. Pour les besoins du calcul, l'ingénieur responsable du dimensionnement peut considérer que l'ajout de 7.5cm de béton armé est équivalent à l'augmentation de la longueur du mur existant de 150%.



### Calcul du pourcentage de surface des murs effective suivant le renforcement

$$PSM_{\text{effectif}} = \underbrace{\frac{A_{\text{murs}}}{A_r}}_{PSM_{\text{existante}}} + \underbrace{\frac{0.1 \times (K_m L_m + 0.5 L_p + 1.5 L_c)}{A_r}}_{PSM_{\text{renforcement}}}$$

Calculer le PSM effective dans chaque direction principale, et le comparer au PSM requise du renforcement, dans la Section E.

## E: MATERIEL DE REFERENCE DU POURCENTAGE DE SURFACE DE MUR

La méthode pour trouver le pourcentage de surface de mur qui suit est la procédure détaillée. Pour calculer le pourcentage de surface de mur requis ( $PSM_{Requis}$ ) :

$$PSM_{requis} = bPSM_{Requis} \times \frac{C_B C_Q C_R C_L C_N C_I}{m}$$

(Minimum PSM = 2.5%)

Avec:

$bPSM_{Requis}$  = Pourcentage de surface de mur requis

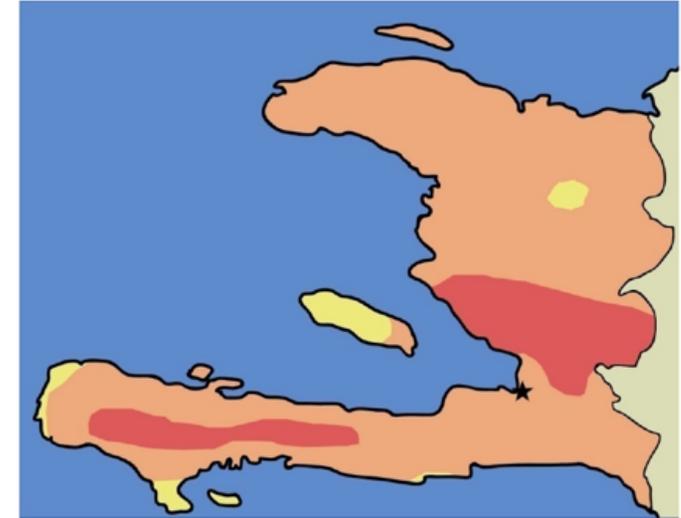
$$bPSM_{Requis} = S_{DS} \times N \times W_D$$

SDS = Accélération spectrale du séisme (sur la carte)

N = Nombre de niveaux (1, 2, ou 3)

WD = Pourcentage de surface de mur de base  
6.4% pour un bloc de 4.8 MPa (700 psi)

Seismic Hazard	Building Acceleration from Older USGS Data (SDS)	Building Acceleration from Newer USGS Data (Unpublished) (SDS)
High	1.5g	1.67g
Moderate (PaP area)	1.0g	1.05g
Low	0.5g	0.5g



Carte d'Haïti, les différents cas de critères sismiques (Risque faible en jaune uniquement, risque modéré en jaune et orange, risque élevé jaune, orange et rouge) Selon les données 2010 d'USGS

### Pourcentage de surface de mur de base

Nombre de niveaux (toit inclus) (N)	$bPSM$ (%)		
	$S_{DS}$		
	0.50	1.05	1.67
3	9.6%	20.1%	32.1%
2	6.4%	13.4%	21.4%
1	3.2%	6.7%	10.7%

Les cases grisées ne sont pas autorisées pour les constructions MNA, et leurs valeurs seront réduites par rapport aux valeurs tabulées au moment d'appliquer le facteur pour les constructions MC ou MR.

CB = Facteur de résistance des blocs. La résistance des blocs peut être estimée par des tests effectués en laboratoires ou des tests sur le terrain calibrés aux tests d'un laboratoire. À défaut d'informations plus précises, utiliser la valeur de 2.8 MPa (400 psi). Dans le cas où  $f'_m = 4.8$  MPa (700 psi), CB = 1.0.

$$C_B = \sqrt{555 / (51.2 + 0.724 f'_m)}$$
 pour d'autres valeurs de  $f'_m$  ( $f'_m$  en psi)

Maconnerie $f_m$ MPa (psi)	Facteur CB
1.7 (250)	1.55
2.8 (400)	1.28
4.8 (700)	1.00
6.9 (1000)	0.85
10 (1450)	0.71
11.7 (1700)	0.66

Le facteur peut être modifié en procédant aux tests sur des blocs existants

CQ = Le facteur de Qualité de la Construction, prend en compte les mauvais détails de construction pour les bâtiments en MNA, MC, ou MR. Ce facteur ne prend pas en compte la faible résistance de la maçonnerie. (Voir facteur CB)

CQ = 1.0 pour une qualité moyenne

CQ = 1.5 pour une mauvaise qualité

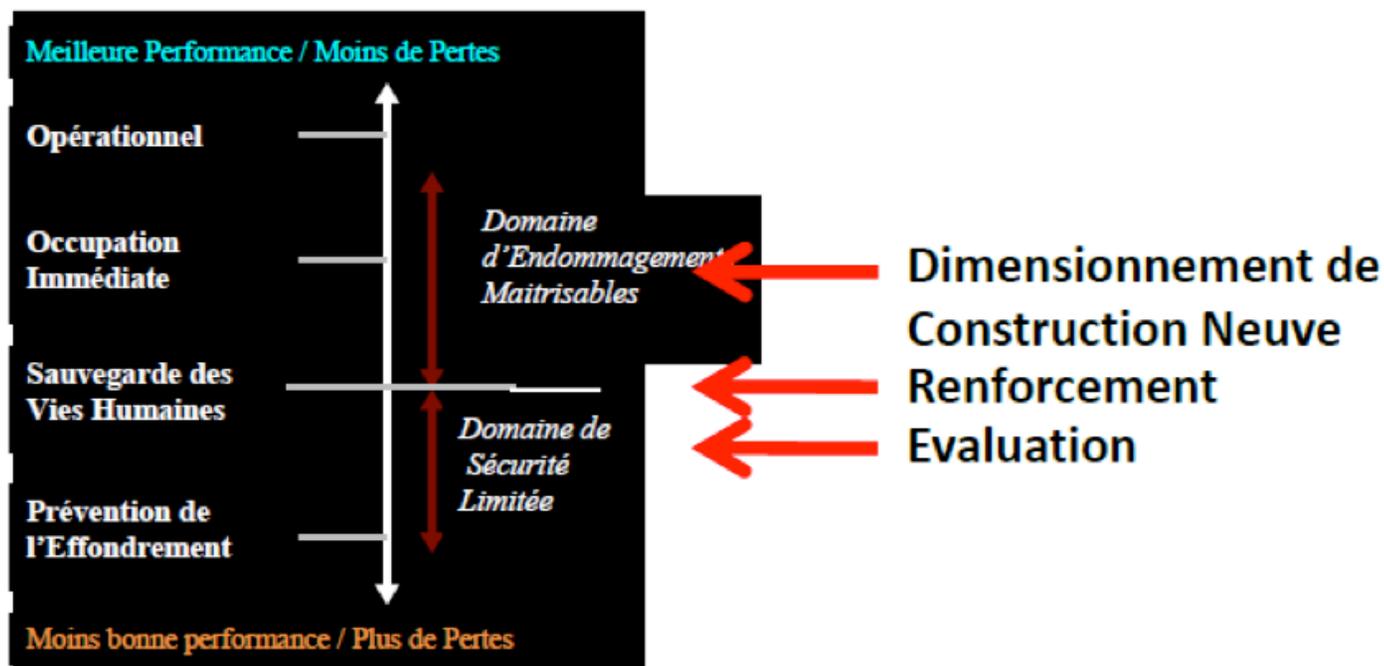
Des valeurs intermédiaires peuvent être utilisées en fonction du niveau de la qualité de la construction. Une démolition sélective peut être nécessaire pour confirmer des détails de renforcement dans certains cas. Des armatures qui dépassent du béton (en attente), ou d'autres conditions visibles, peuvent être des indications sur les armatures présentes dans le reste du bâtiment

Ce facteur peut être réduit en appliquant des techniques similaires à celles incluses dans le Guide de Réparation du MPTPC.

## CR = Facteur d'Évaluation/Renforcement

CR = 0.75 lors d'évaluation d'une structure existante.

CR = 1.0 lors du calcul de renforcement de la structure existante.



## CN = Facteur de la surface solide

CN = 1.0 pour des blocs de 15 cm avec 50% à 60% d'aire pleine nette, comprenant à la fois les âmes et les semelles.

$CN = 0.55 \times \text{Surface Totale} / \text{Surface sans alvéole}$ .

Exemple: Si les blocs n'ont pas d'alvéole, alors CN = 0.55.

**CL = Facteur de Niveau** tient compte de la distribution des charges sismiques sur la hauteur du bâtiment. Il faut faire une évaluation distincte à chaque niveau du bâtiment. Les étages supérieurs en porte-à-faux, qui s'étendent au-delà des murs des étages inférieurs doivent être renforcés selon les exigences de la fiche technique.

**Pour les bâtiments avec des planchers ou des ou des tôles sur une charpente en bois.**

Étage	Nombre de niveaux		
	1 niveau	2 niveaux	3 niveaux
2	-	-	0.14
1	-	0.20	0.43
RDC	0.33	0.50	0.57

**Pour des bâtiments avec des toitures légères ou en toitures lourdes en dalle de béton:**

Étage	Nombre de niveaux		
	1 niveau	2 niveaux	3 niveaux
2	-	-	0.39
1	-	0.57	0.67
RDC	1.00	0.86	0.79

**Note:** Les facteurs sont dérivés d'une combinaison de forces de cisaillement par étages selon ASCE-31 (3.5.2.2) et d'un Facteur de Modification C (ASCE-31, Table 3-4) pour les structures à plusieurs étages contreventées par des murs de cisaillement de type MNA. Les facteurs sont normalisés à 1.0 pour les structures à un étage avec une toiture lourde, en prenant en compte un facteur 1.4 dans le calcul de la surface de mur de base, (WD) Voir section E.

### **CI = Facteur d'Importance**

CI = 1.0 pour le niveau de performance correspondant à la sauvegarde de vies. Ce cas s'applique à la plupart des bâtiments.

CI = 1.5 pour le niveau de performance correspondant à l'occupation immédiate. Souhaitable en général pour les écoles, les hôpitaux, et les équipements sensibles.

Le niveau de performance correspondant à l'Occupation Immédiate peut parfois nécessiter une évaluation de contreventement.

La MNA n'est en général pas autorisée dans les zones sismiques actives. Il est recommandé d'utiliser de la MC ou MR pour atteindre un niveau de performance d'Occupation Immédiate.

## Dégagement de responsabilité

Ces documents ont été préparés pour être utilisés par des ingénieurs qualifiés. L'utilisation de ces documents nécessite qu'un soin particulier soit accordé aux hypothèses, aux limites, et aux dégagements de responsabilité présents dans les documents; l'utilisation d'informations contenues dans ces documents nécessite également que le contexte dans lequel elles sont énoncées soit pris en compte. L'utilisation stricte de ces documents, sans tenir compte de leur nature, et sans porter un regard attentifs aux circonstances environnantes, qui peuvent être variables, n'engage pas la responsabilité de l'auteur. Les documents présentés ici ne sont pas faits pour être utilisés comme consignes de construction par un entrepreneur.

Ces documents sont fournis en ayant conscience qu'ils peuvent éventuellement être révisés en fonction des commentaires des parties intéressées. Les actions entreprises en se basant sur ces documents, et les conclusions qui en sont tirées, ressortent de la responsabilité de l'utilisateur seul.

Ces documents ne sont pas prévus pour donner des droits exécutoires à un parti quelconque, et ne peuvent pas être utilisés pour créer des droits exécutoires à un parti quelconque.

Rien dans ces documents ne saurait créer de rapport contractuel avec Degenkolb et Build Change ou constituer le fondement de poursuites contre eux en faveur d'un tiers. L'utilisation et/ou la confiance en ces documents ou en l'information qu'ils contiennent par un tiers est à la responsabilité du tiers seul. Degenkolb et Build Change ne sauraient être tenus responsables pour des retouches ou des changements faits par d'autres.

LISTE DES PLANCHES

D0 - RÉPARATION

- D0.1 - RÉPARATION DE MAÇONNERIE DÉGRADÉE PAR LES INTEMPÉRIES
- D0.2 - RÉPARATION DE LA LIAISON ENTRE LE MUR ET LA TOITURE

D1 - NOUVEAUX DÉTAILS DE MURS

- D1.1 - NOUVEAU MUR PARALLÈLE AUX SOLIVES
- D1.2 - NOUVEAU MUR PERPENDICULAIRE AUX SOLIVES
- D1.3 - LIAISON ENTRE UN NOUVEAU MUR ET UNE NOUVELLE FONDATIONS
- D1.4 - LIAISON ENTRE LE NOUVEAU MUR ET LES FONDATIONS EXISTANTES
- D1.5 - LIAISON DU NOUVEAU MUR AU MUR EXISTANT
- D1.6 - LIAISON ENTRE UN NOUVEAU MUR ET UNE NOUVELLE FONDATION SANS CHAÎNAGE INFÉRIEUR
- D1.7 - LIAISON MUR EXISTANT / NOUVEAU MUR AUX ANGLES
- D1.8 - LIAISON MUR EXISTANT / NOUVEAU MUR
- D1.9 - NOUVEAU (N) MUR PARALLÈLE AUX SOLIVES
- D1.10 - NOUVEAU (N) MUR PERPENDICULAIRE AUX SOLIVES

D2 - DÉTAILS DES DOUBLES MURS

- D2.1 - DOUBLE MUR PARALLÈLE AUX SOLIVES
- D2.2 - DOUBLE MUR PERPENDICULAIRE AUX SOLIVES
- D2.3 - DOUBLE MUR AUX FONDATIONS
- D2.4 - DOUBLE MUR PARALLÈLE AUX SOLIVES
- D2.5 - DOUBLE MUR PERPENDICULAIRE AUX SOLIVES

D3 - REVÊTEMENT DE PLÂTRE

- D3.1 - REVÊTEMENT D'ENDUIT SUR CHAQUE CÔTÉ
- D3.2 - REVÊTEMENT D'ENDUIT SUR UN CÔTÉ

D4 - REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ

- D4.1 - LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AU TOIT
- D4.2 - LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AU CHAÎNAGE VERTICAL
- D4.3 - LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AUX FONDATIONS
- D4.4 - LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ A LA DALLE DE PLANCHER

D5 - PASSAGE À LA MAÇONNERIE CHAÎNÉE

- D5.1 - CHAÎNAGE VERTICAL AUX ANGLES
- D5.2 - CHAÎNAGE VERTICAL EN "T"

PROJECT	DATE	T.1
SCALE		

D5.4 - LIAISON AU PLANCHER

- D5.5 - LIAISON D'UN CHAÎNAGE VERTICAL AUX FONDATIONS
- D5.6 - ÉLÉVATION TYPE
- D5.7 - LIAISON ENTRE COLONNE ET FONDATIONS EXISTANTES
- D5.8 - CHAÎNAGE VERTICAL AUX EXTRÉMITÉS DES MURS
- D5.9 - CHAÎNAGE VERTICAL AUX EXTRÉMITÉS DES PORTES
- D5.10 - CHAÎNAGE VERTICAL AUX EXTRÉMITÉS DES FENÊTRES

D6 - REMPLISSAGE DES FENÊTRES

- D6.1 - ÉLÉVATION DU REMPLISSAGE D'UNE FENÊTRE

D7 - RENFORCEMENT D'UN PORTE-À-FAUX

- D7.1 - PORTE-À-FAUX EN PLAN À CHAQUE COLONNE (EN PLAN)
- D7.2 - ANGLE D'UN PORTE-À-FAUX (EN PLAN)
- D7.3 - COUPE D'UN PORTE-À-FAUX

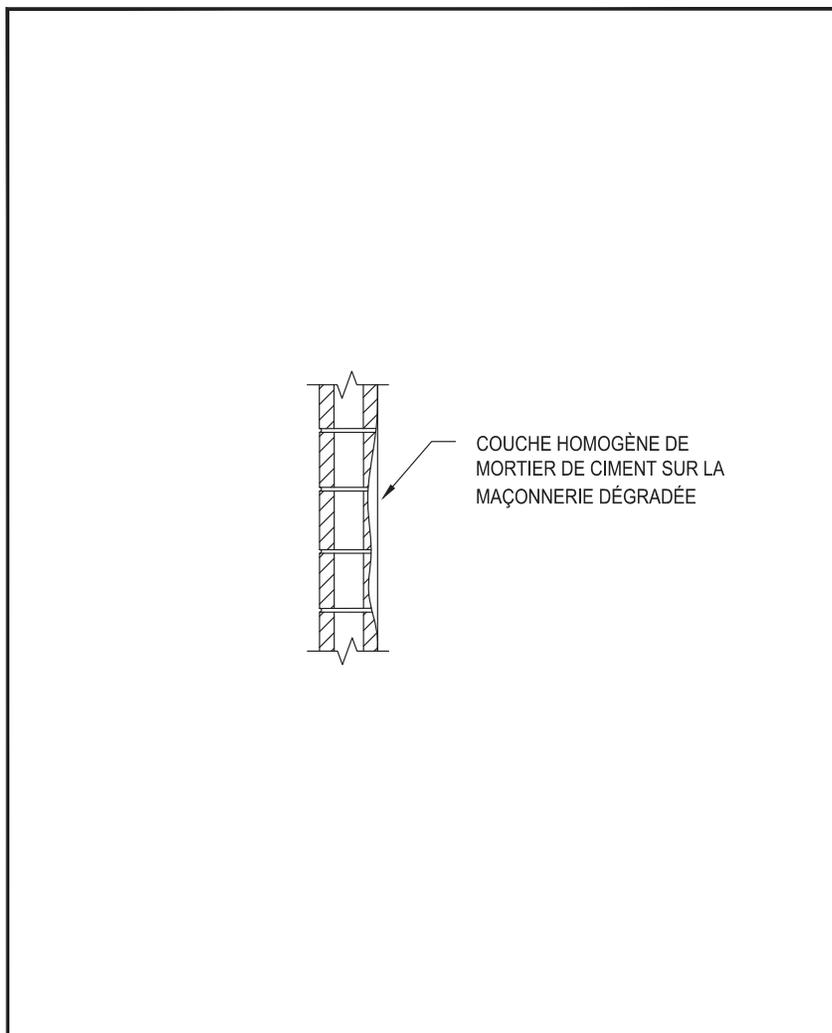
D8 - TOITURE DU PORCHE

- D8.1 - RENFORCEMENT DE LA TOITURE DE LA GALERIE

D9 - POUTRE DE COURONNEMENT

- D9.1 - COUPE TYPE SUR POUTRE DE COURONNEMENT
- D9.2 - POUTRE DE COURONNEMENT DE 2 BARRES AVEC STRAP
- D9.3 - POUTRE DE COURONNEMENT CHANGEMENT DE NIVEAU
- D9.4 - POUTRE DE COURONNEMENT ÉPAISSIE
- D9.5 - JONCTION DES DEUX POUTRES DE COURONNEMENT
- D9.6 - POUTRE DE COURONNEMENT DE 4 BARRES AVEC STRAP

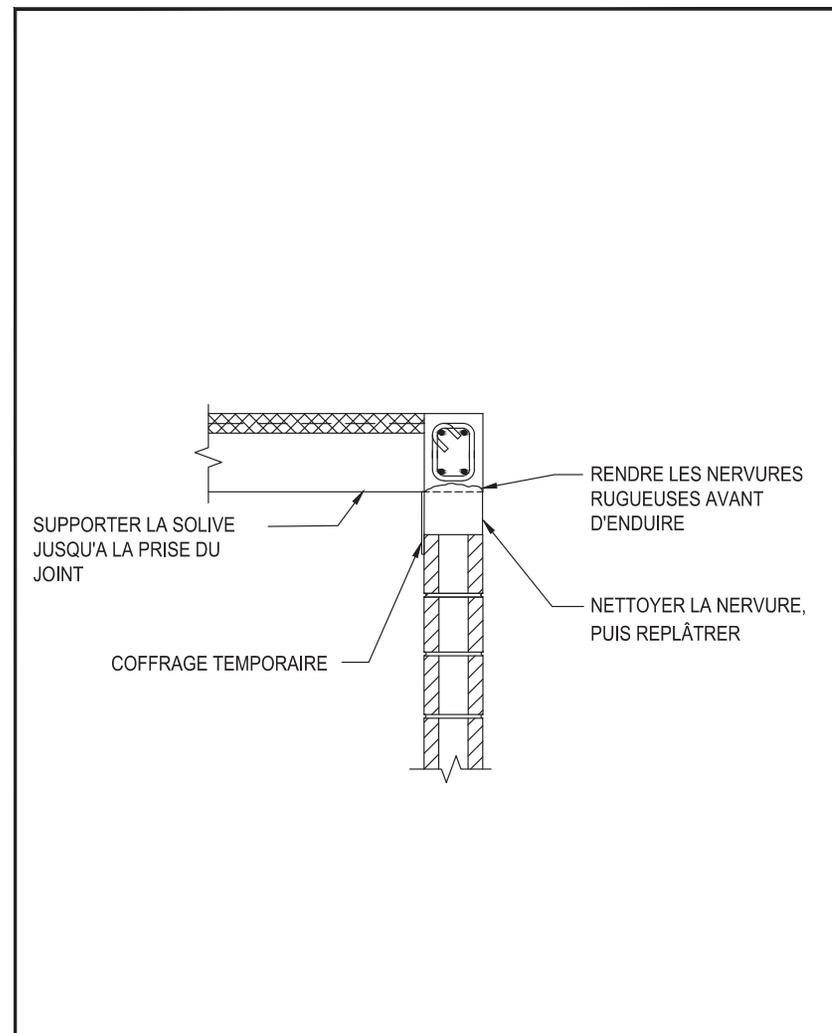
PROJECT	DATE	T.2
SCALE		



RÉPARATION DE MAÇONNERIE DÉGRADÉE  
PAR LES INTEMPÉRIES

PROJECT	DATE
SCALE	

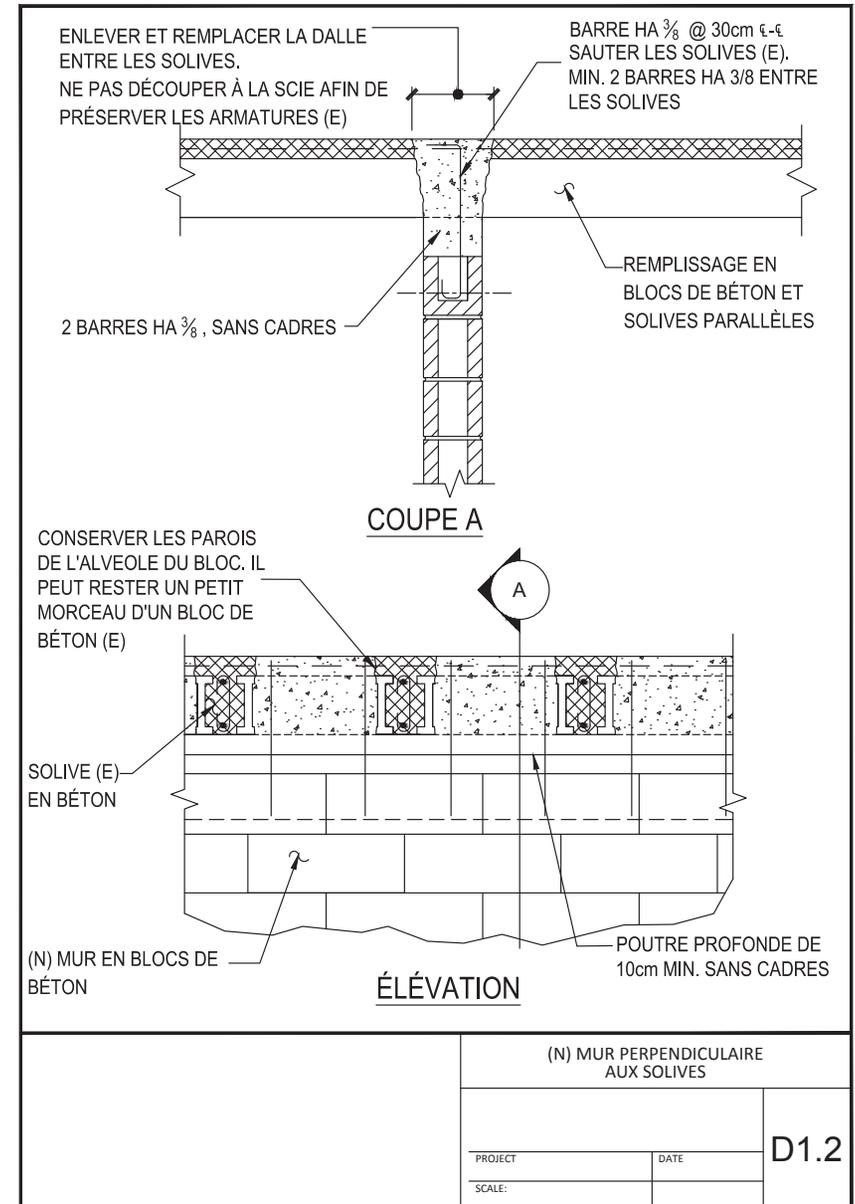
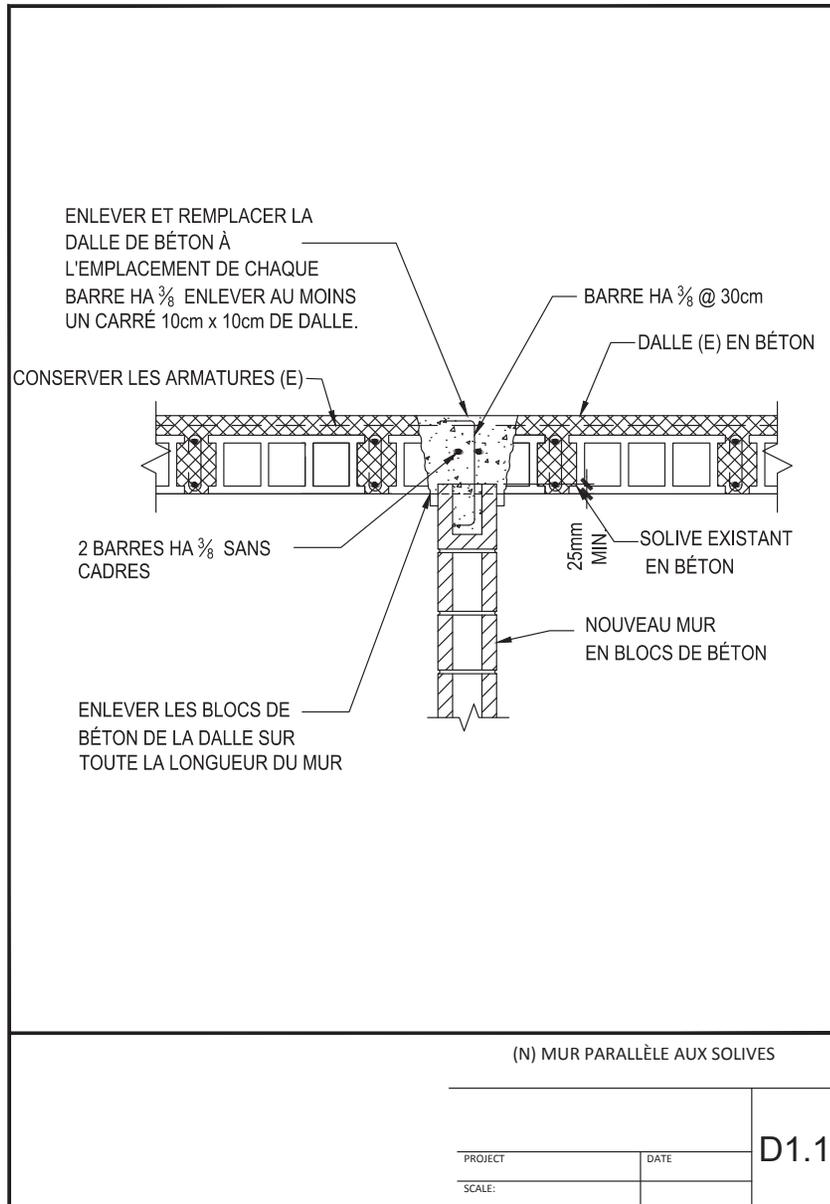
D0.1

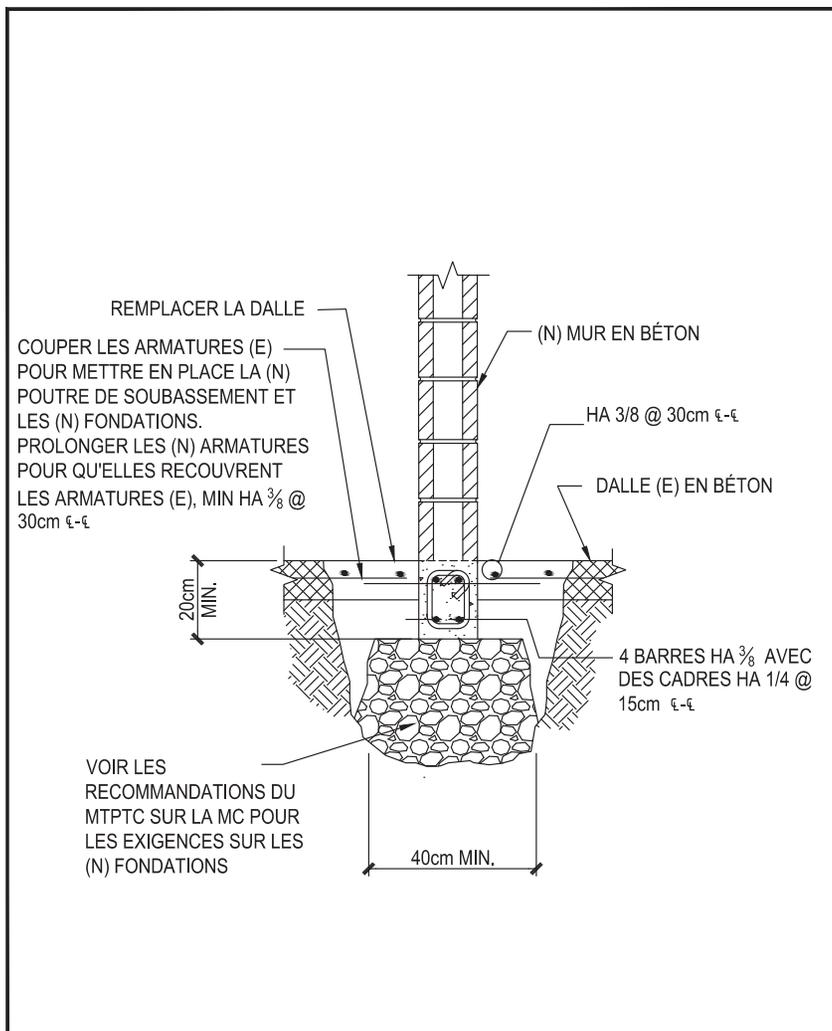


RÉPARATION DE LA CONNEXION  
ENTRE LE MUR ET LA TOITURE

PROJECT	DATE
SCALE	

D0.2

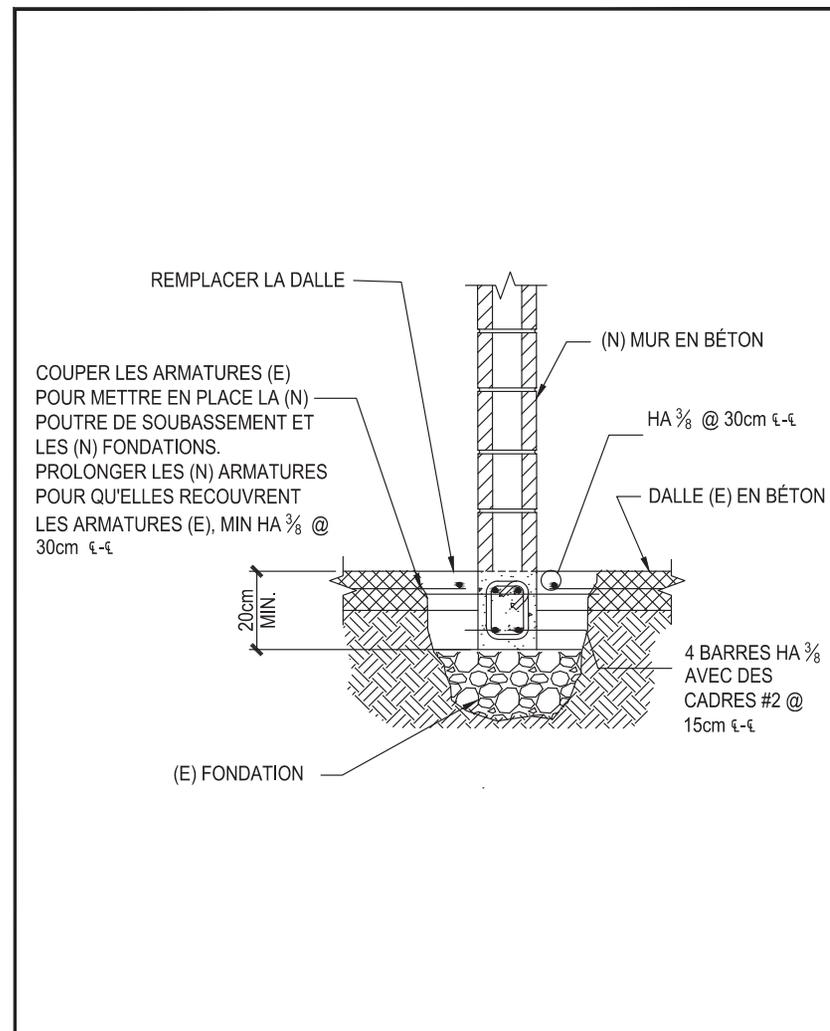




LIAISON ENTRE UN NOUVEAU MUR ET UNE NOUVELLE FONDATION

PROJECT	DATE
SCALE	

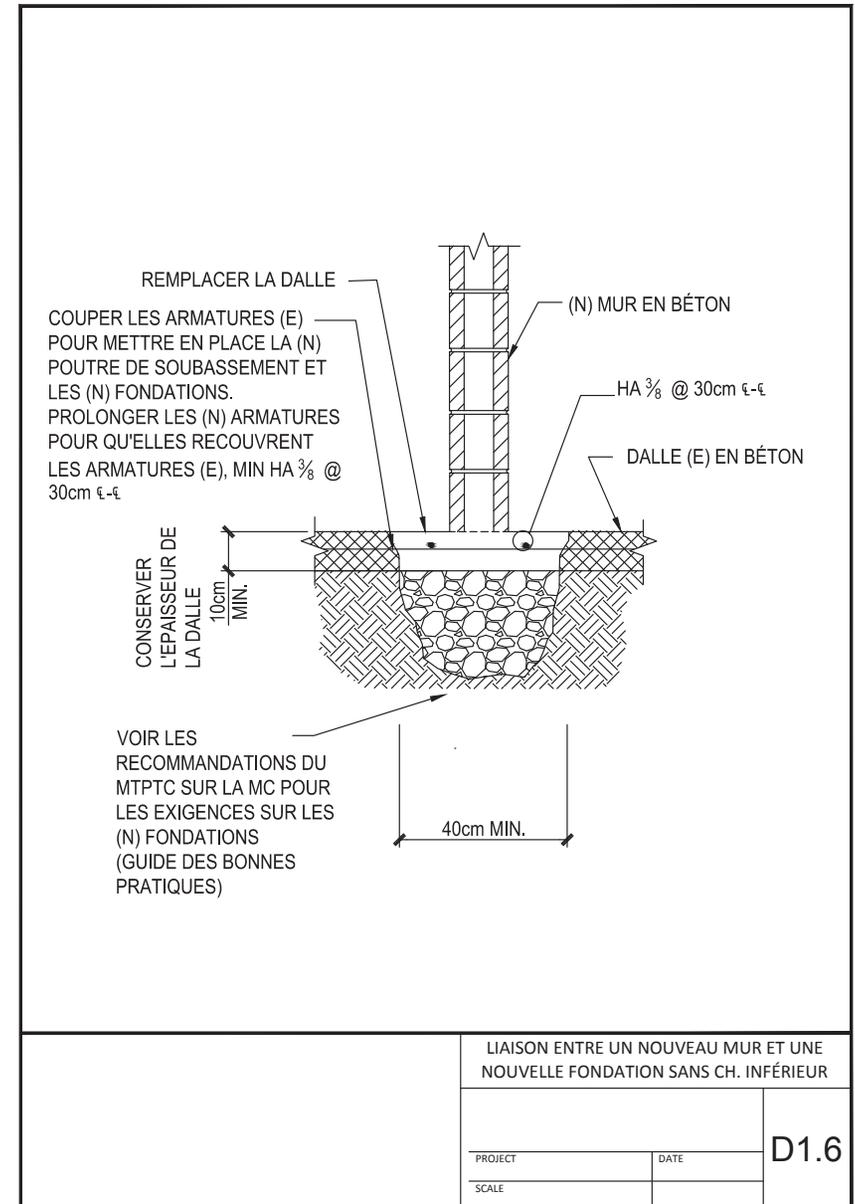
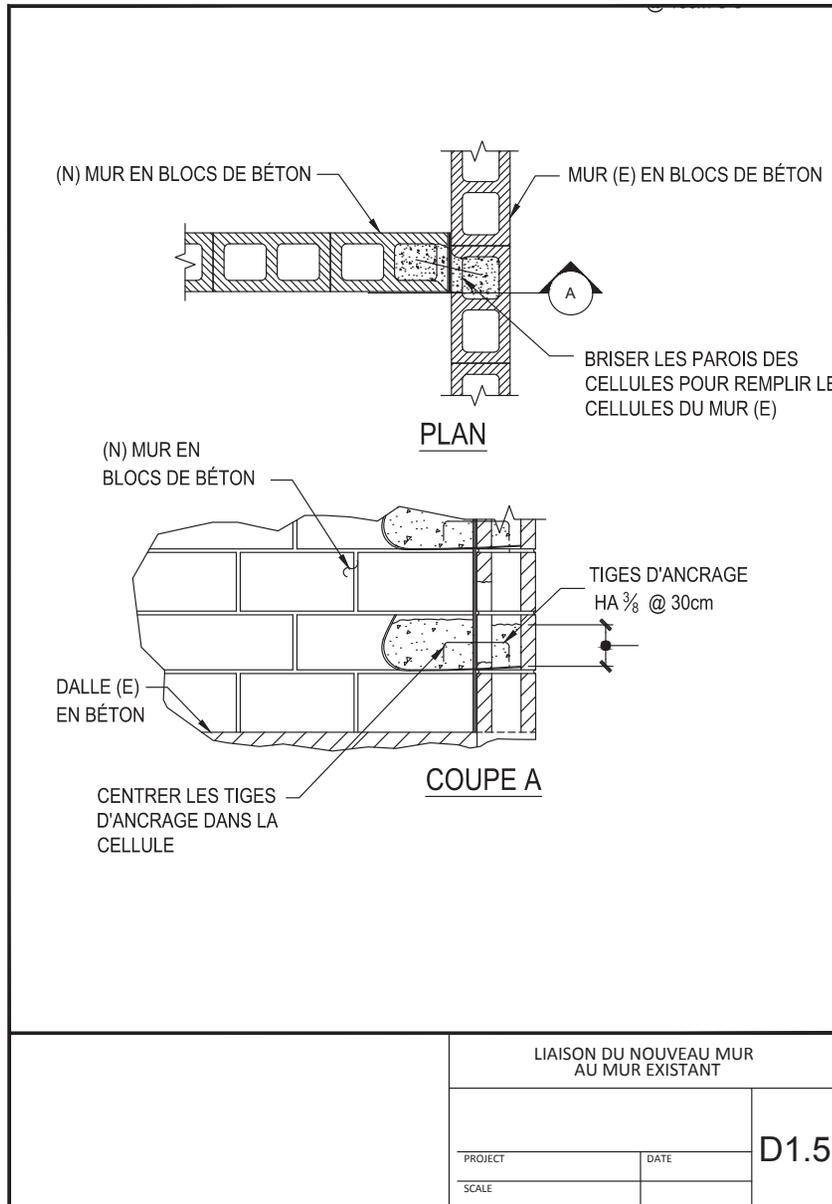
D1.3

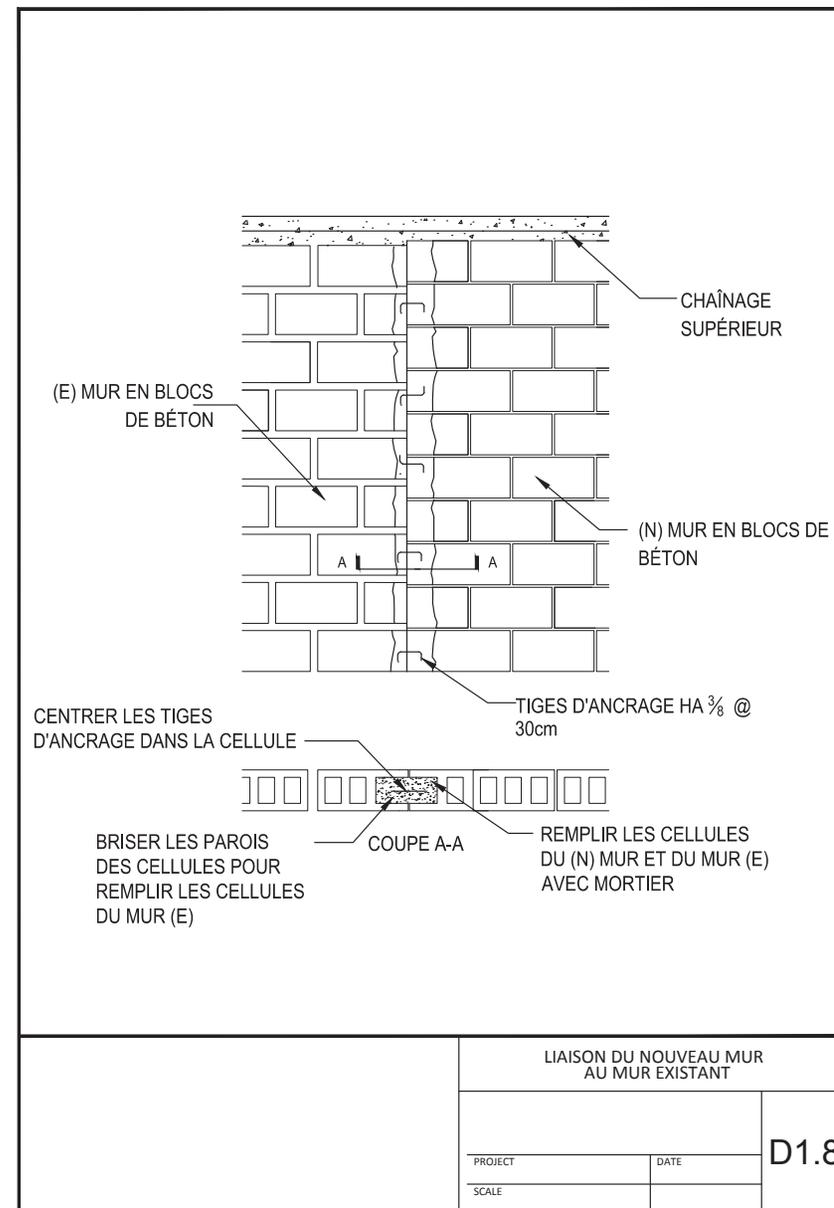
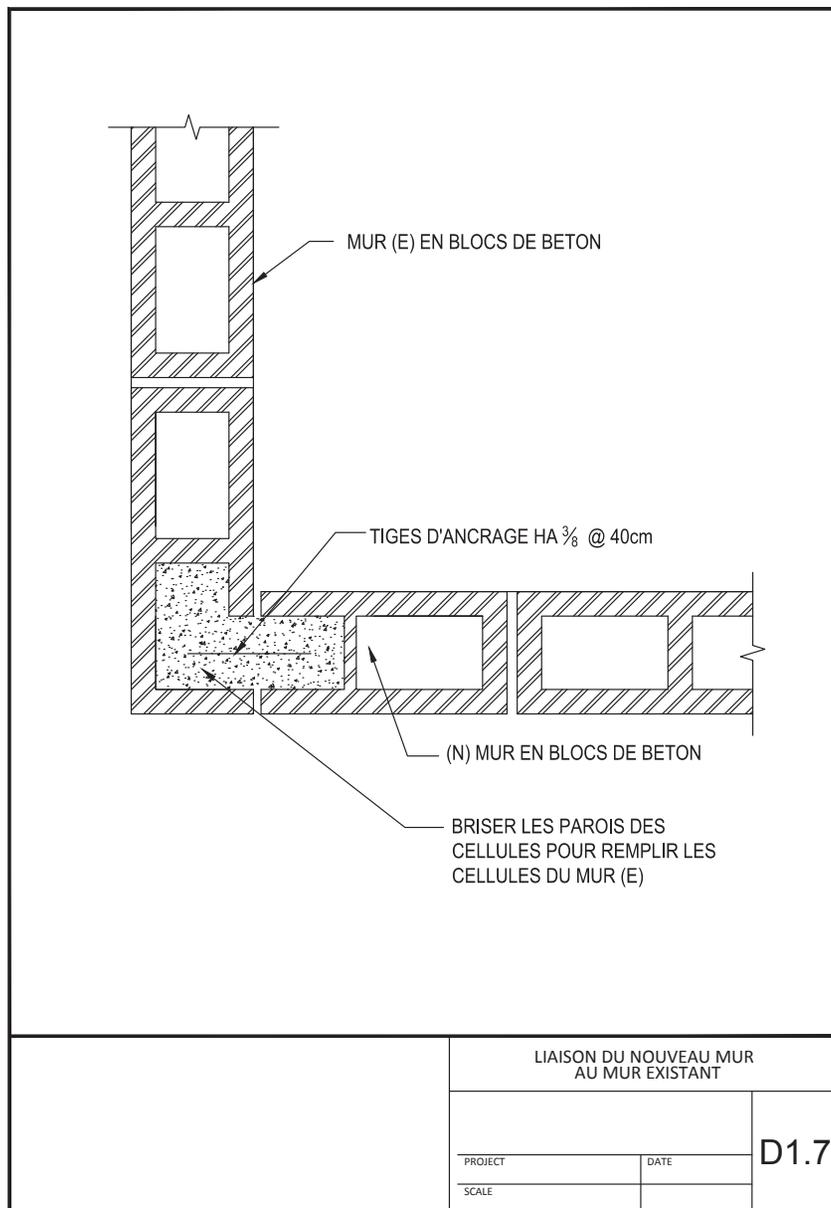


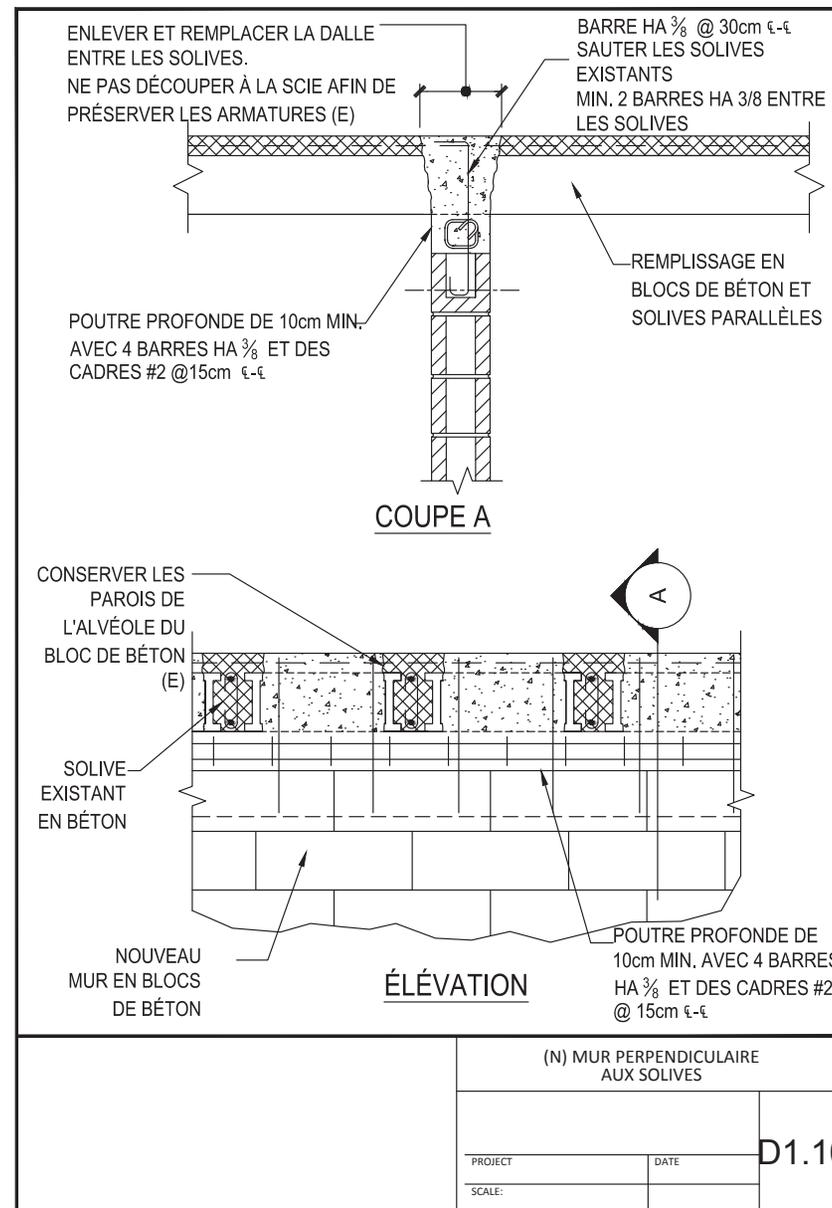
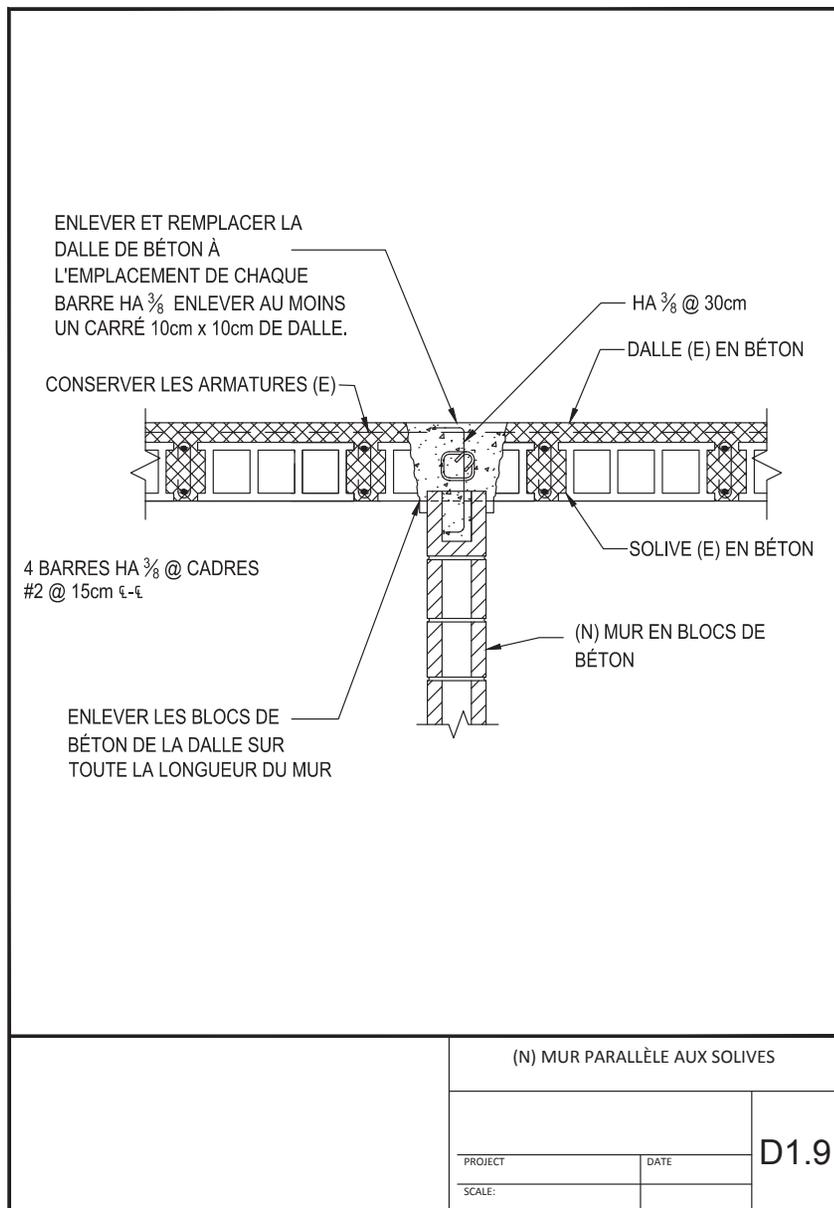
DÉTAILS DE LIAISON DU (N) MUR AUX (E) FONDATIONS

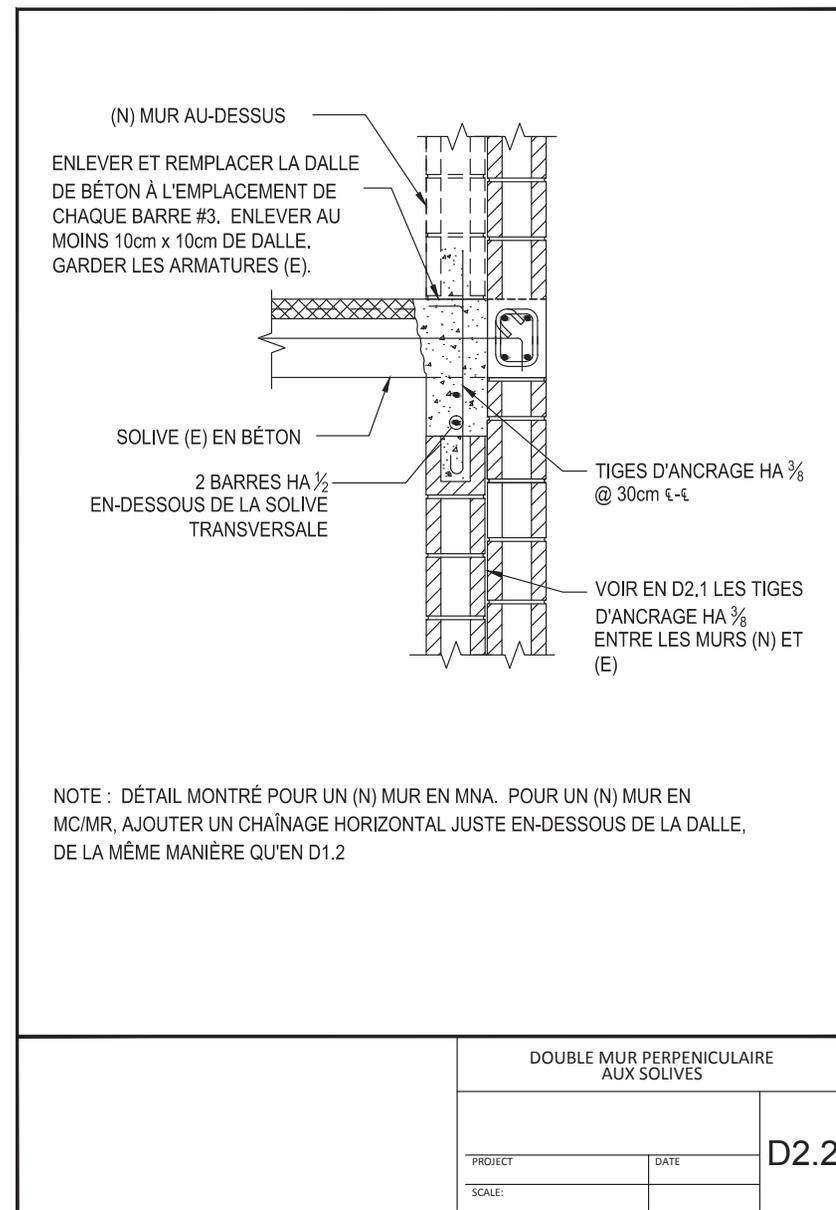
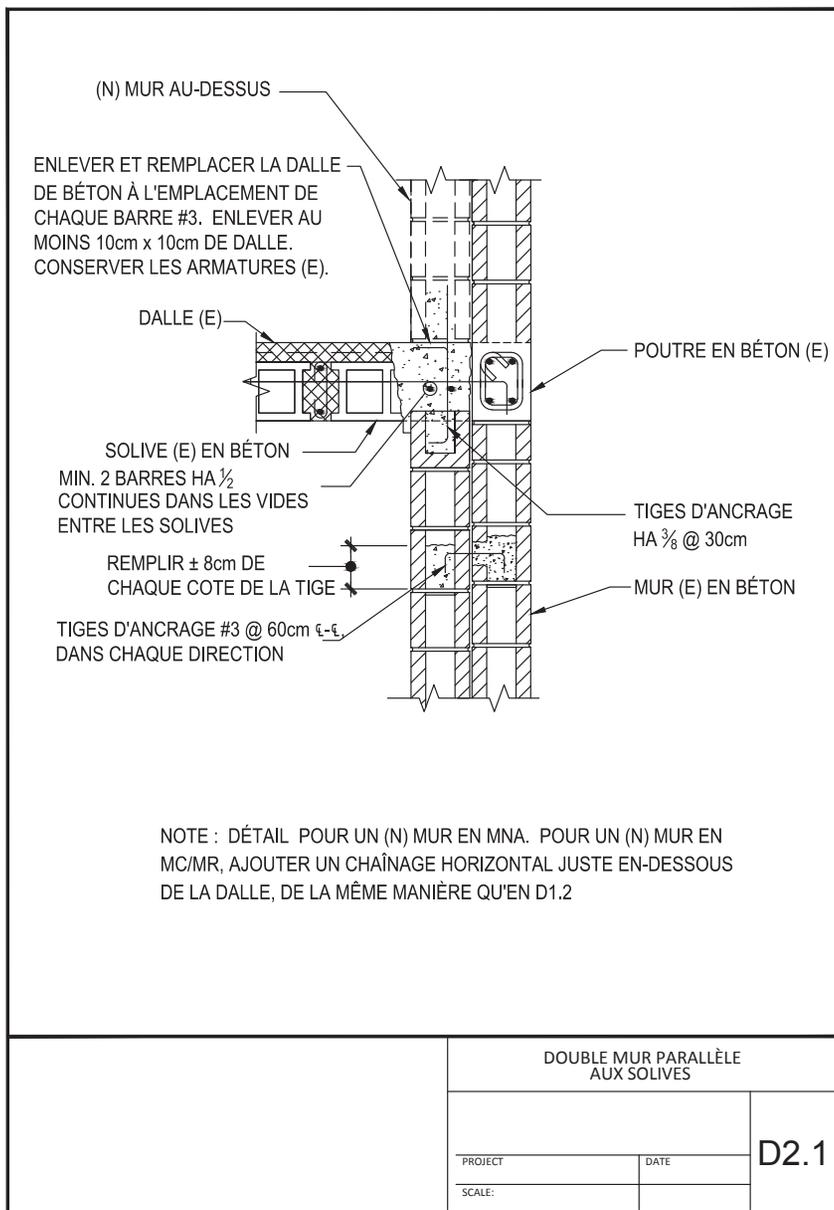
PROJECT	DATE
SCALE	

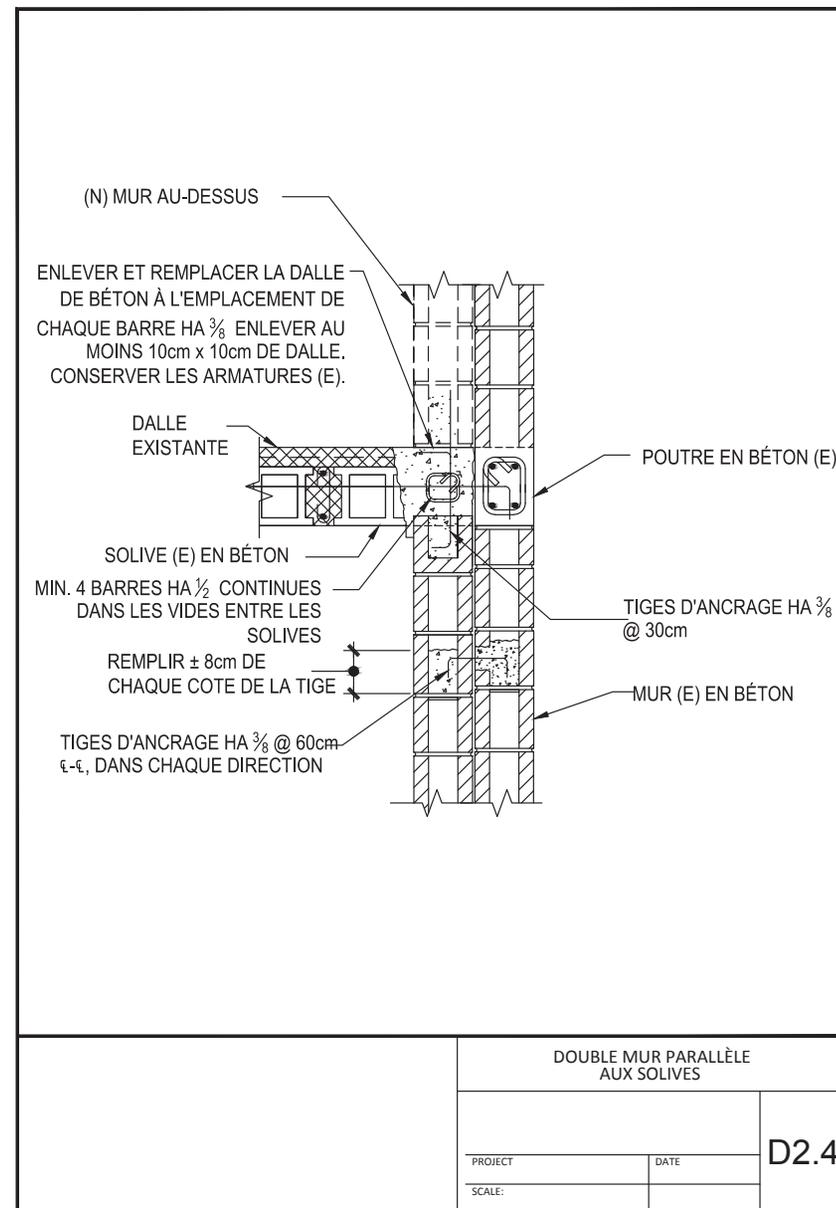
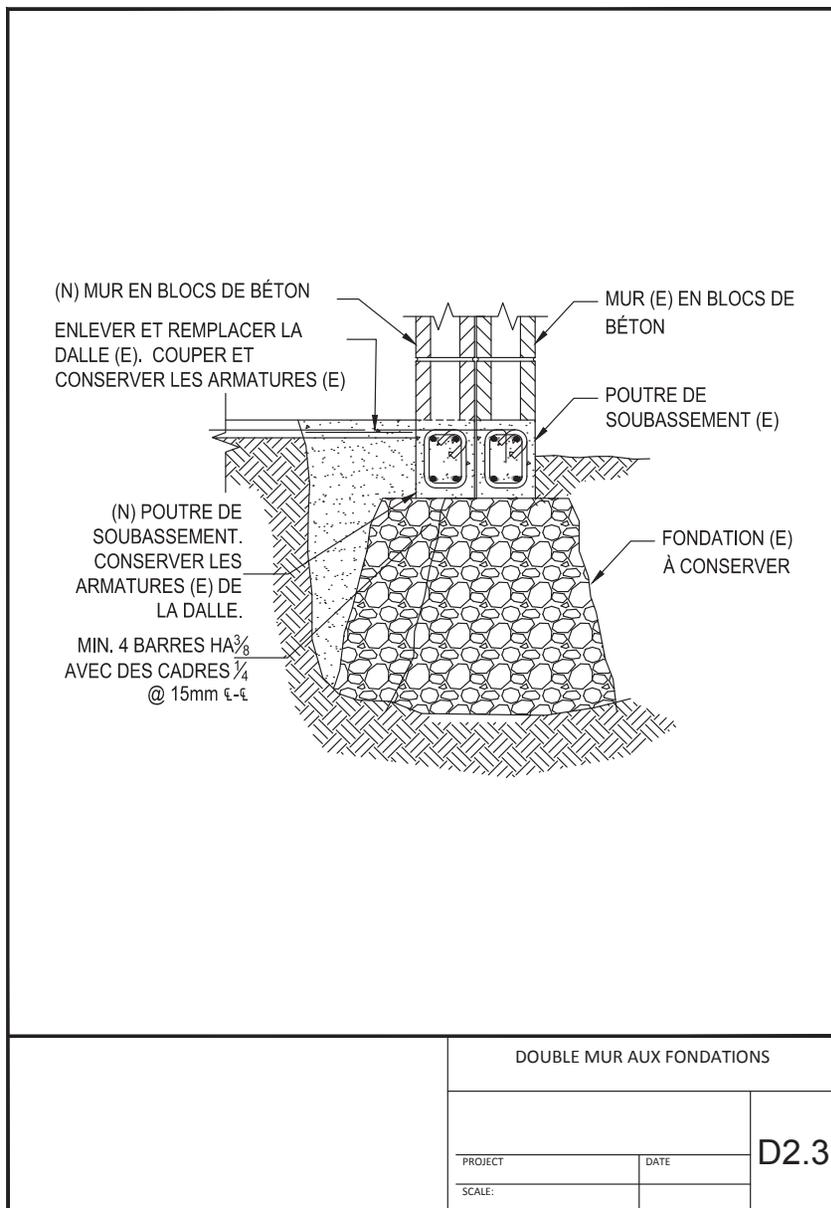
D1.4

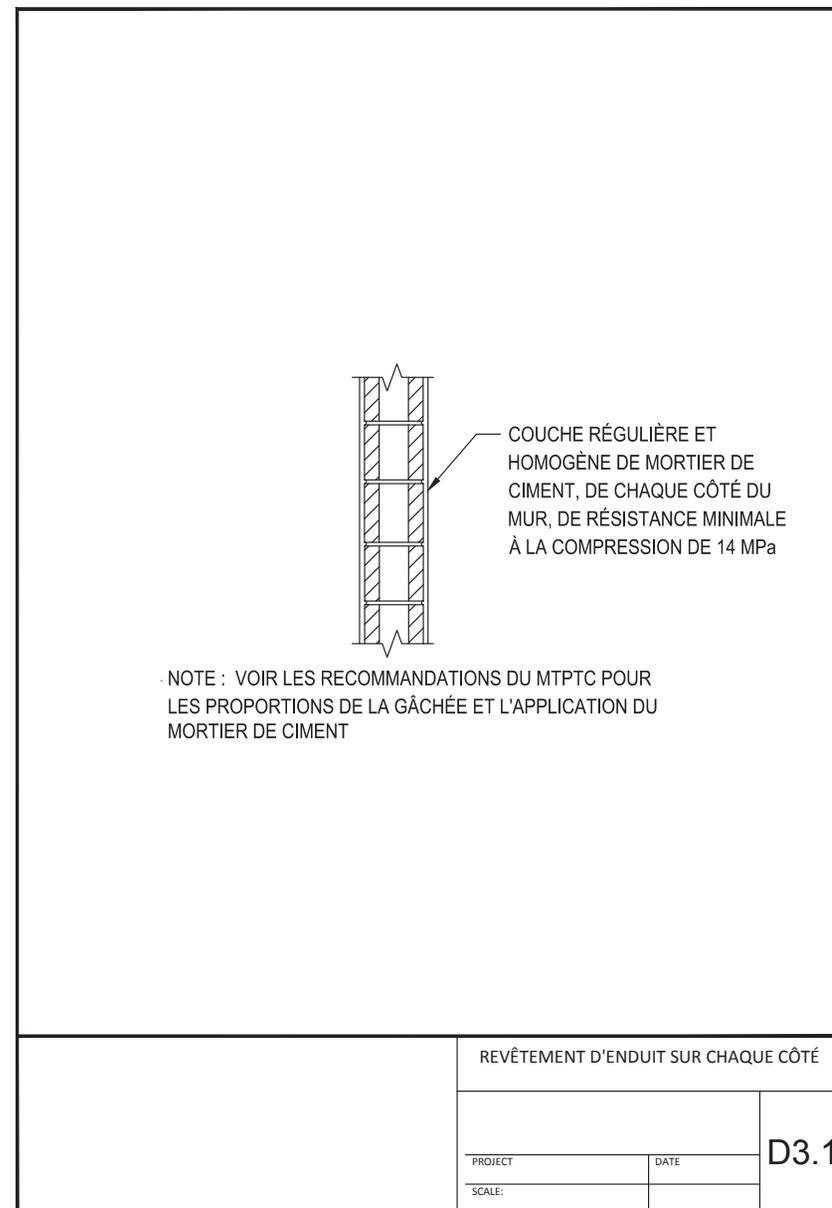
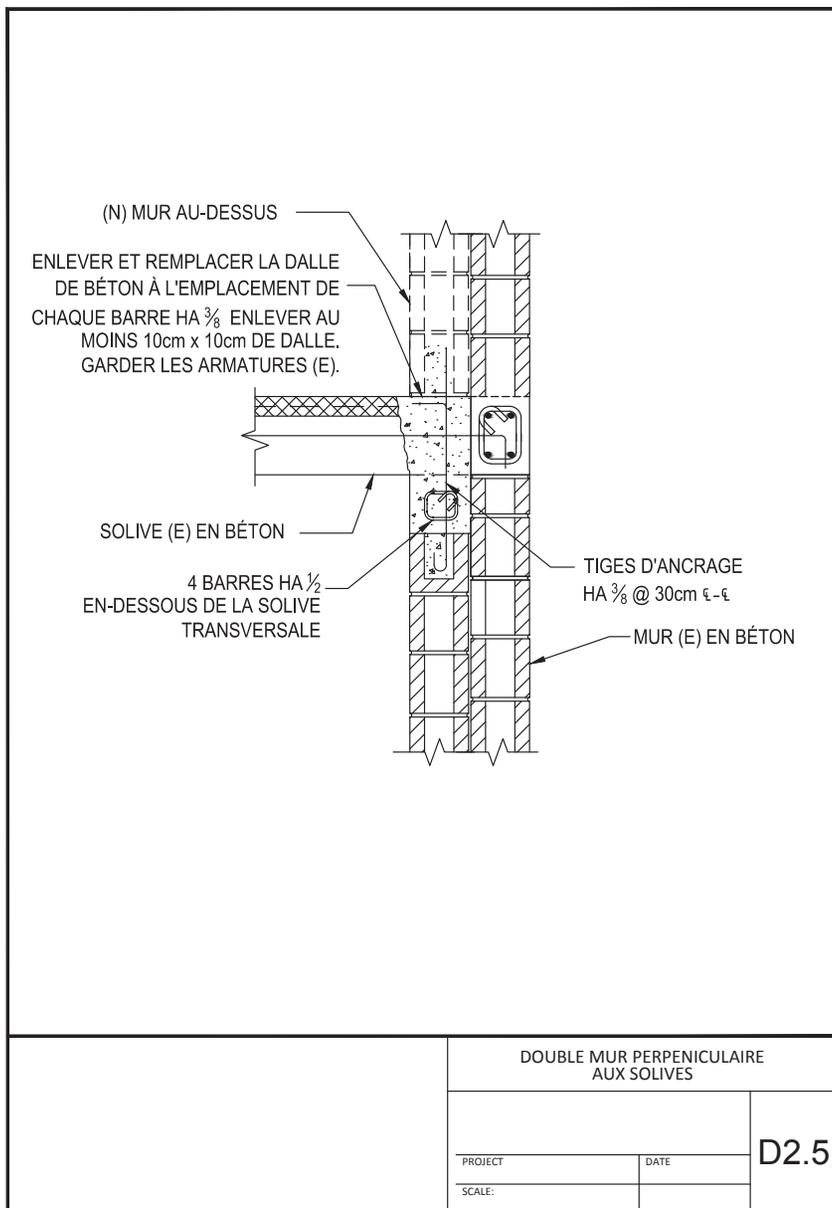


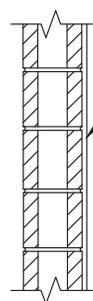












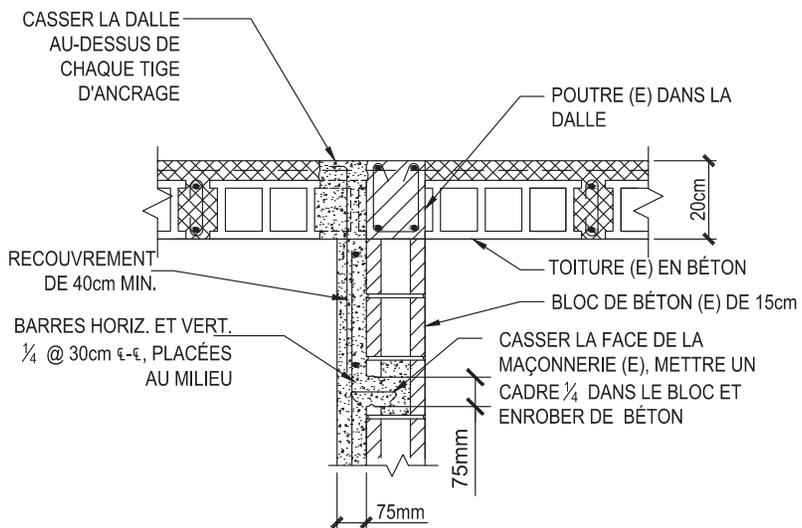
COUCHE RÉGULIÈRE ET HOMOGENÈE DE MORTIER DE CIMENT, D'UN CÔTÉ DU MUR, DE RÉSISTANCE MINIMALE À LA COMPRESSION 14 MPa

NOTE : VOIR LES RECOMMANDATIONS DU MTPTC POUR LES PROPORTIONS DE LA GÂCHÉE ET L'APPLICATION DU MORTIER DE CIMENT (GUIDE DES BONNES PRATIQUES)

REVÊTEMENT D'ENDUIT SUR UN CÔTÉ

PROJECT	DATE
SCALE:	

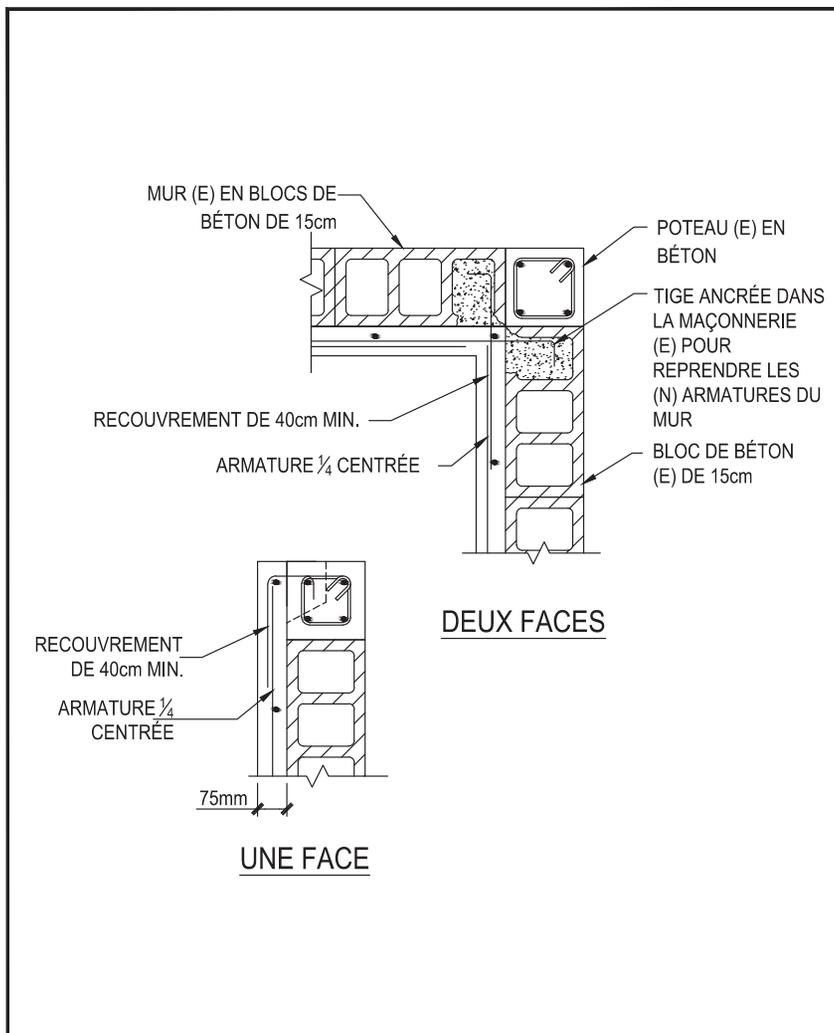
D3.2



LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AU TOIT

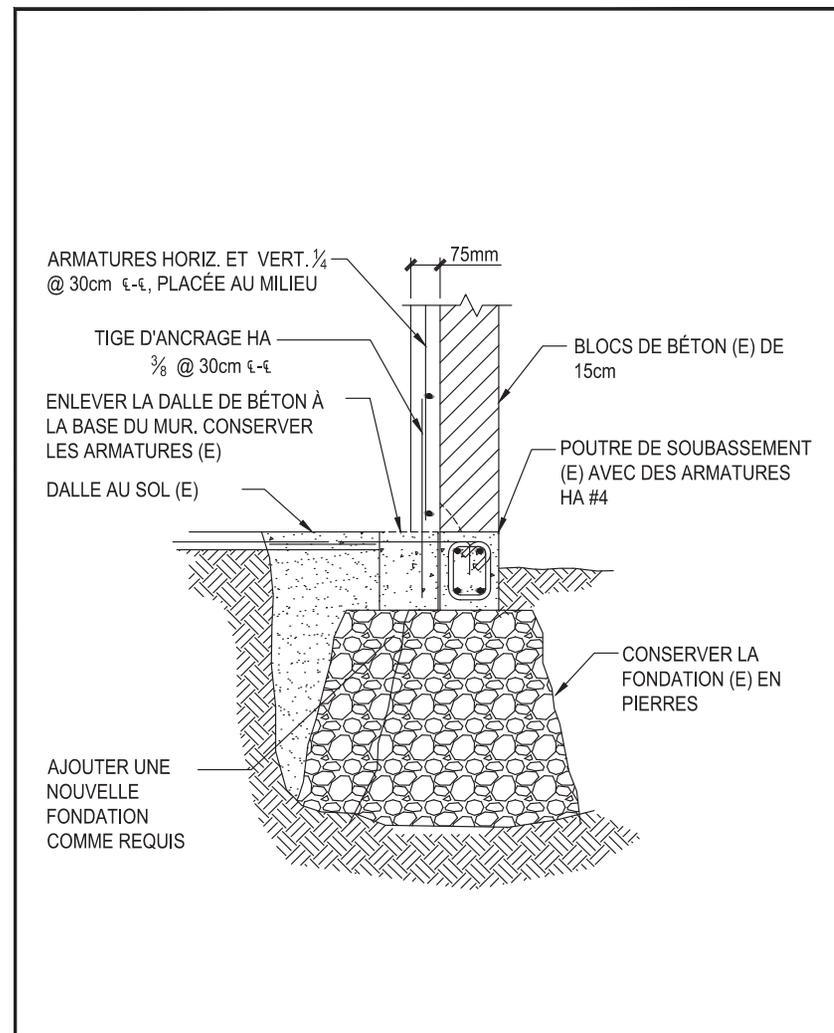
PROJECT	DATE
SCALE:	

D4.1



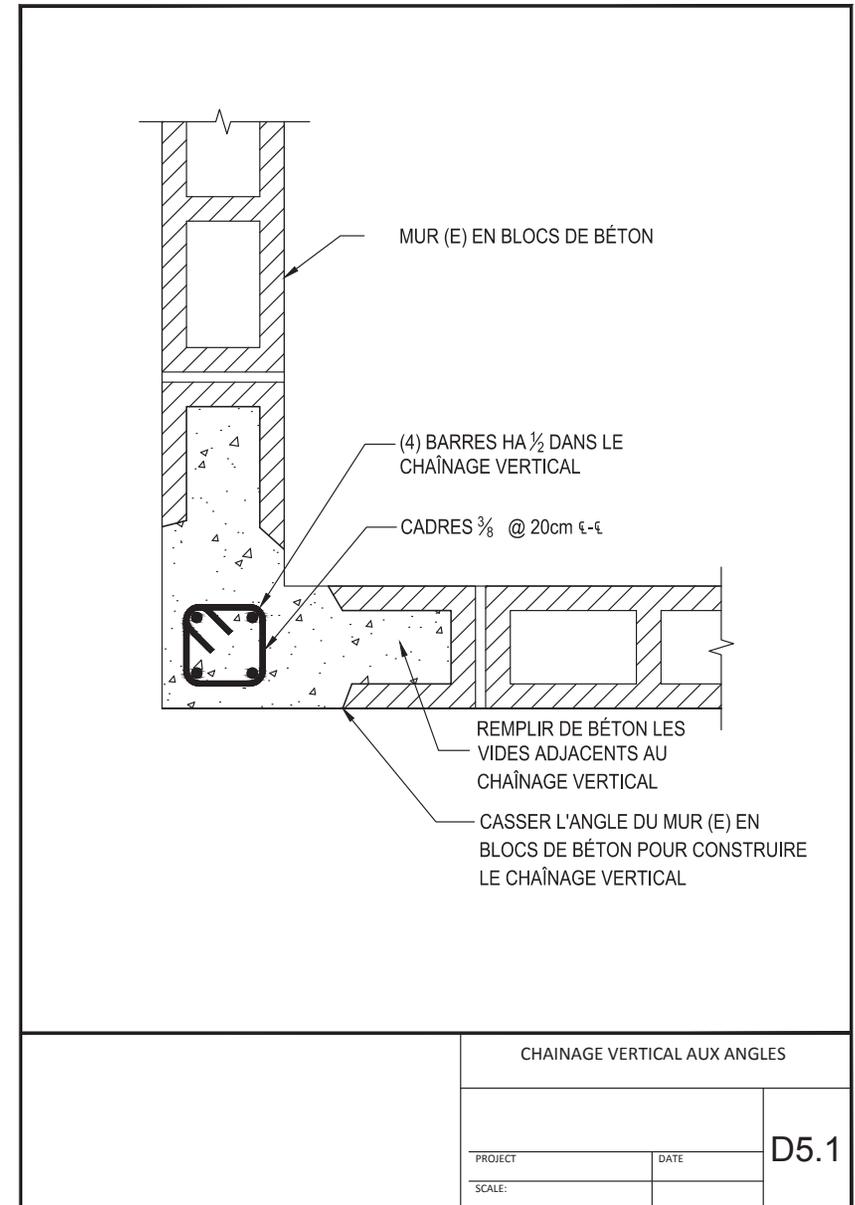
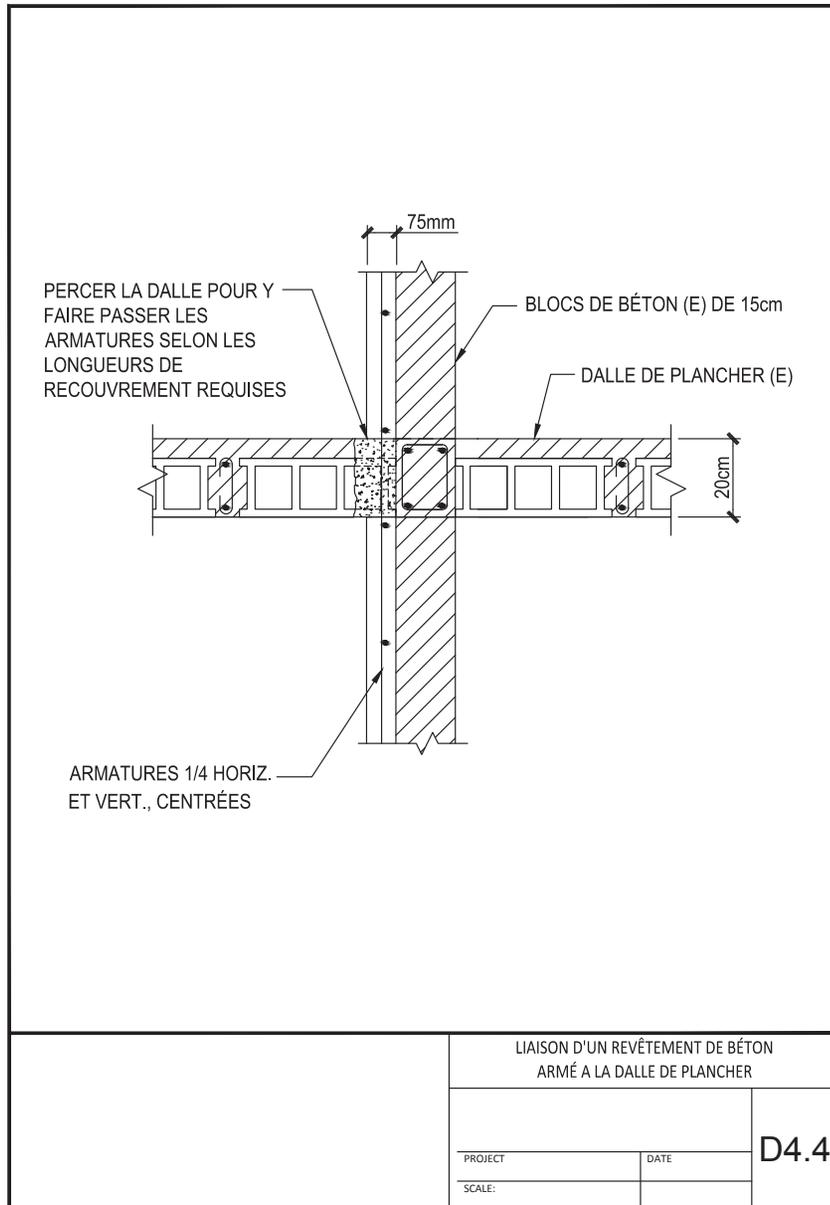
LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AU CHÂINAGE VERTICAL

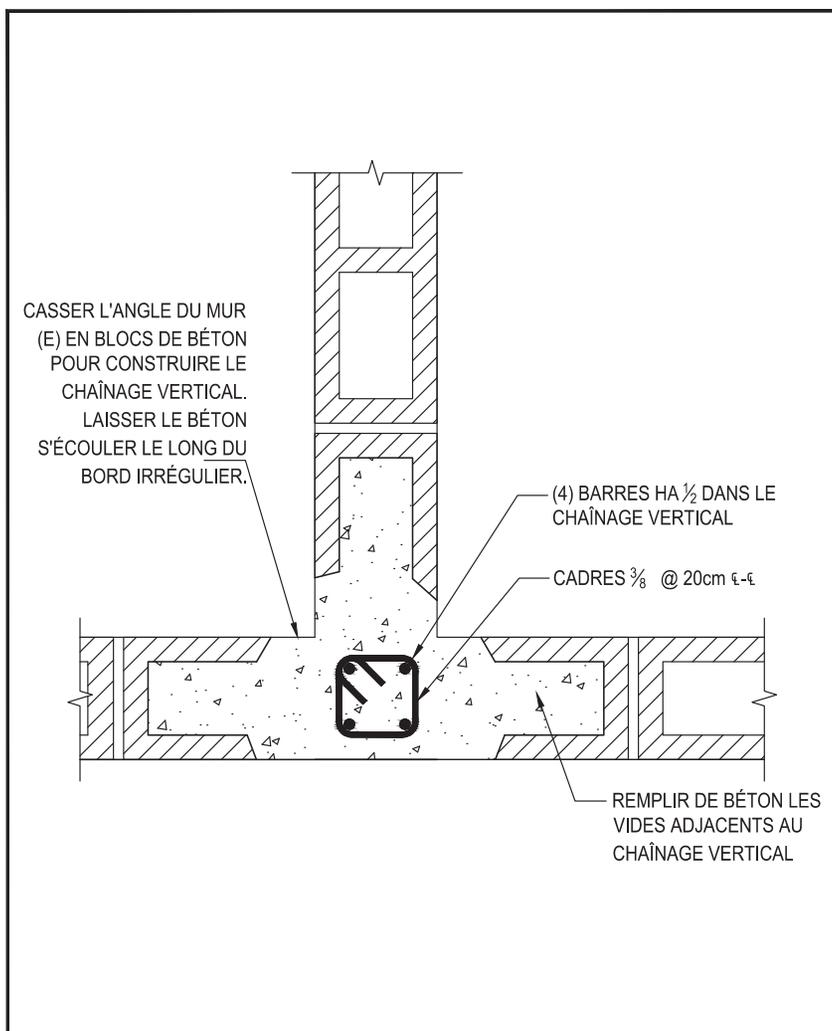
PROJECT		DATE	D4.2
SCALE:			



LIAISON D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON ARMÉ AUX FONDATIONS

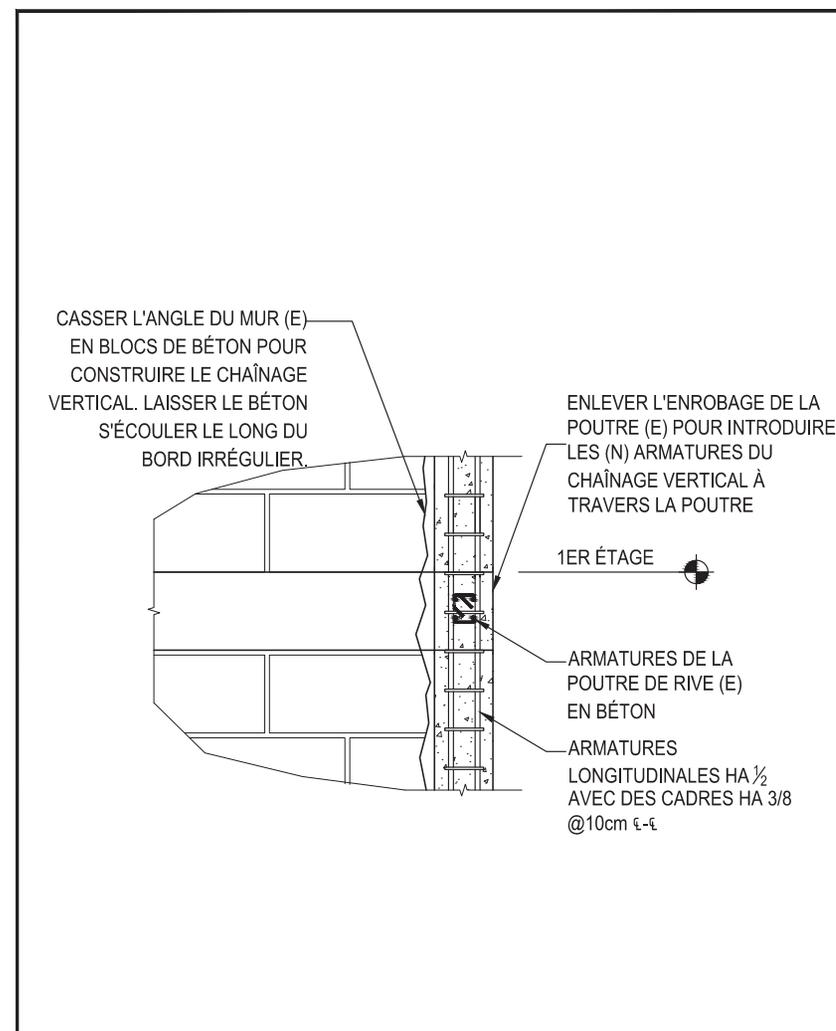
PROJECT		DATE	D4.3
SCALE:			





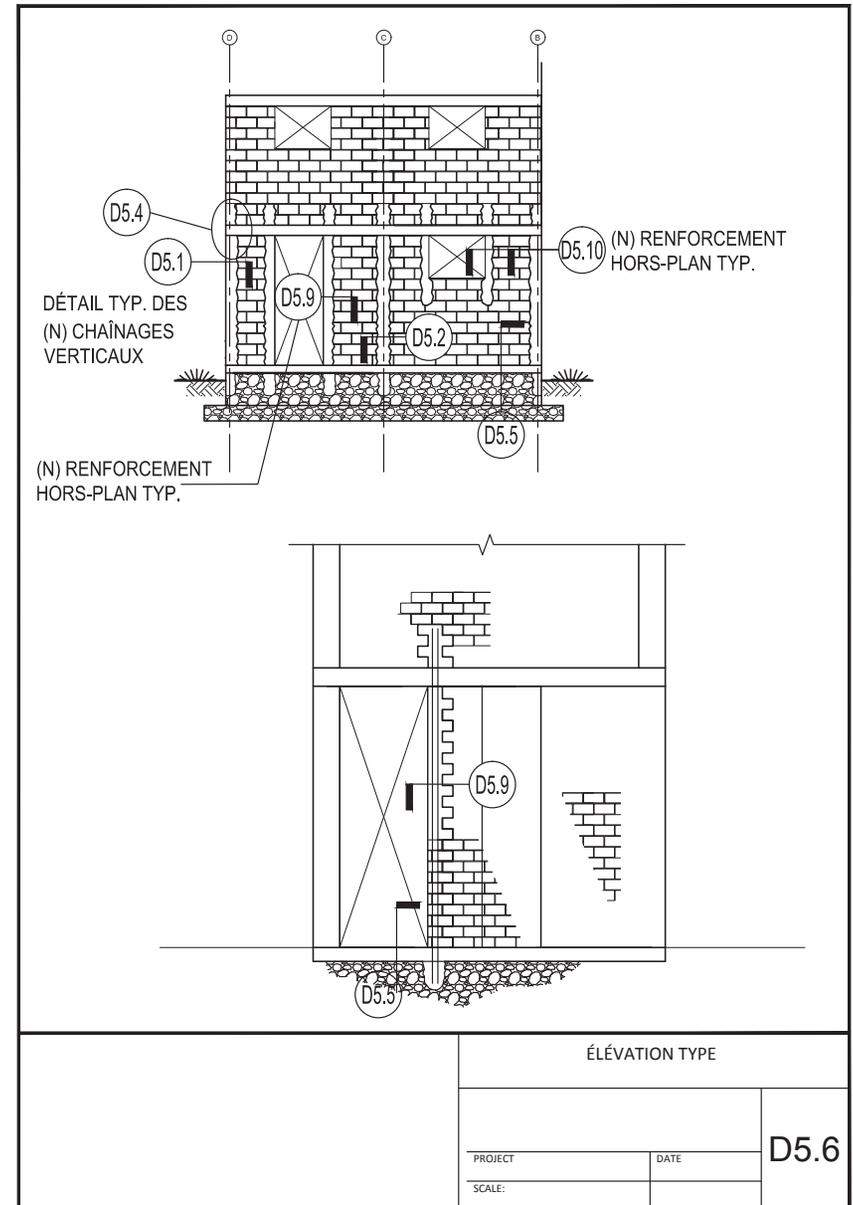
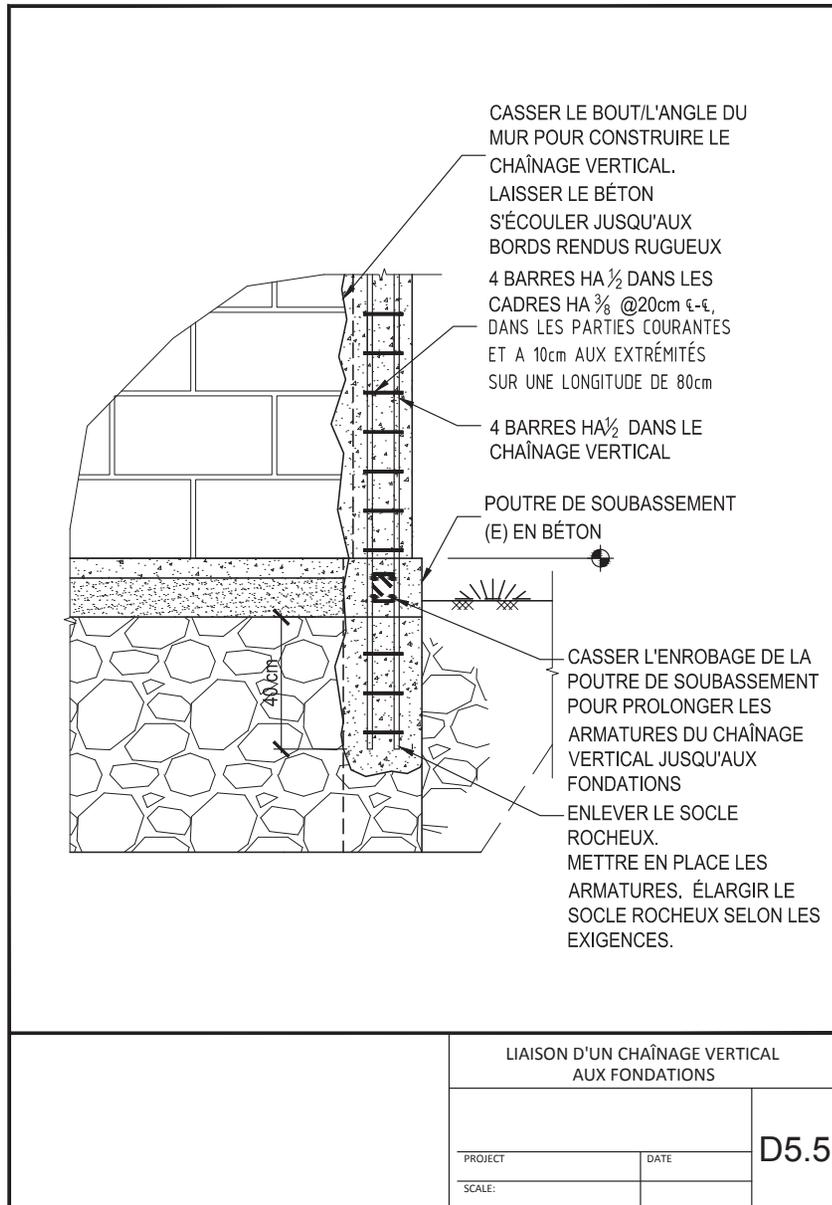
CHAÎNAGE VERTICAL EN 'T'

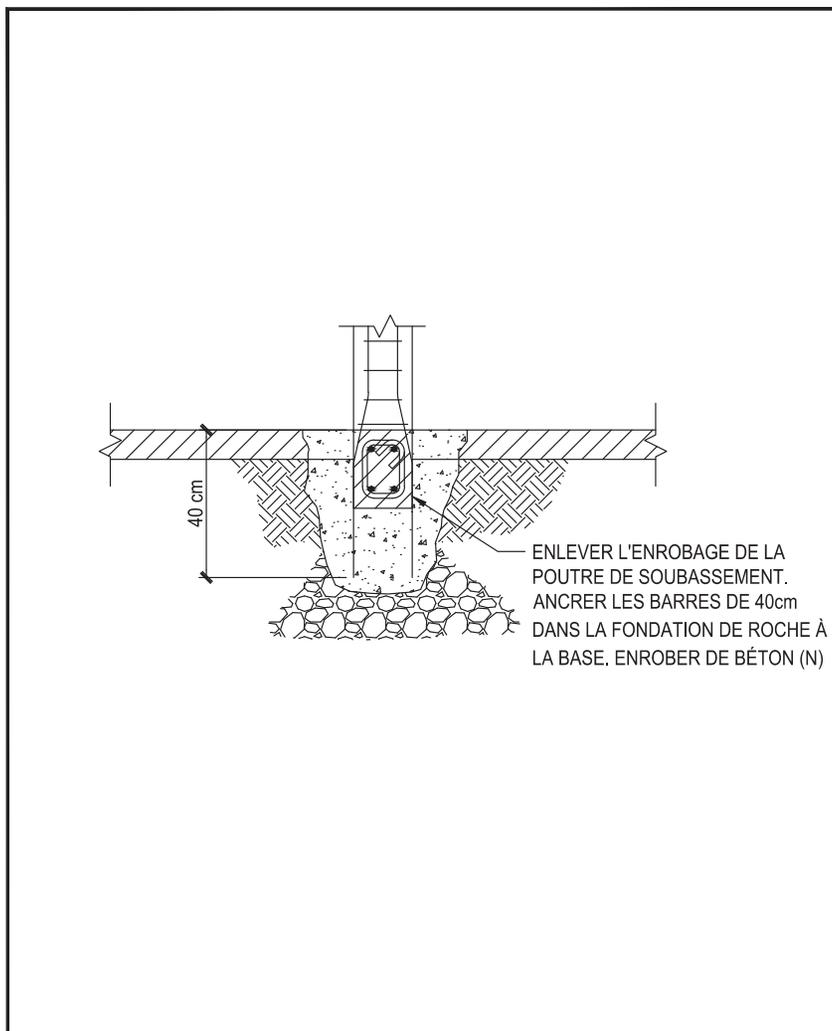
PROJECT	DATE	D5.2
SCALE:		



LIAISON AU PLANCHER

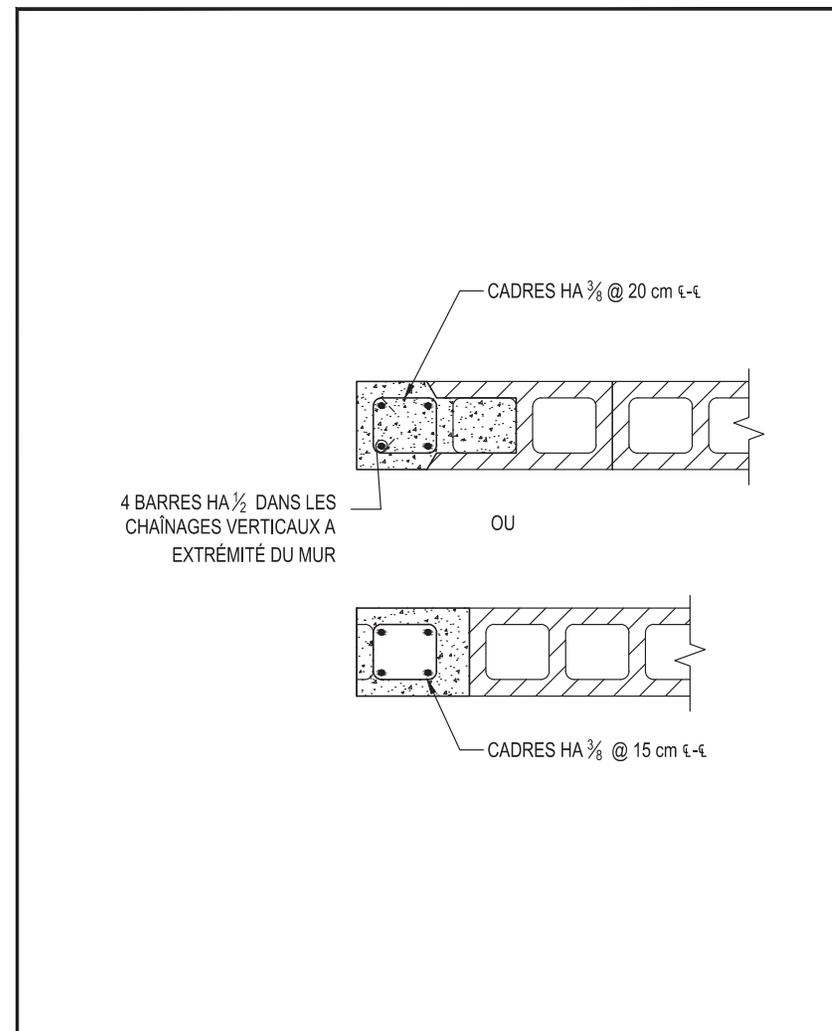
PROJECT	DATE	D5.4
SCALE:		





ENLEVER L'ENROBAGE DE LA POUTRE DE SOUBASSEMENT. ANCRER LES BARRES DE 40cm DANS LA FONDATION DE ROCHE À LA BASE. ENROBER DE BÉTON (N)

		LIAISON ENTRE COLONNE ET FONDATIONS EXISTANTES	
		D5.7	
PROJECT	DATE		
SCALE:			



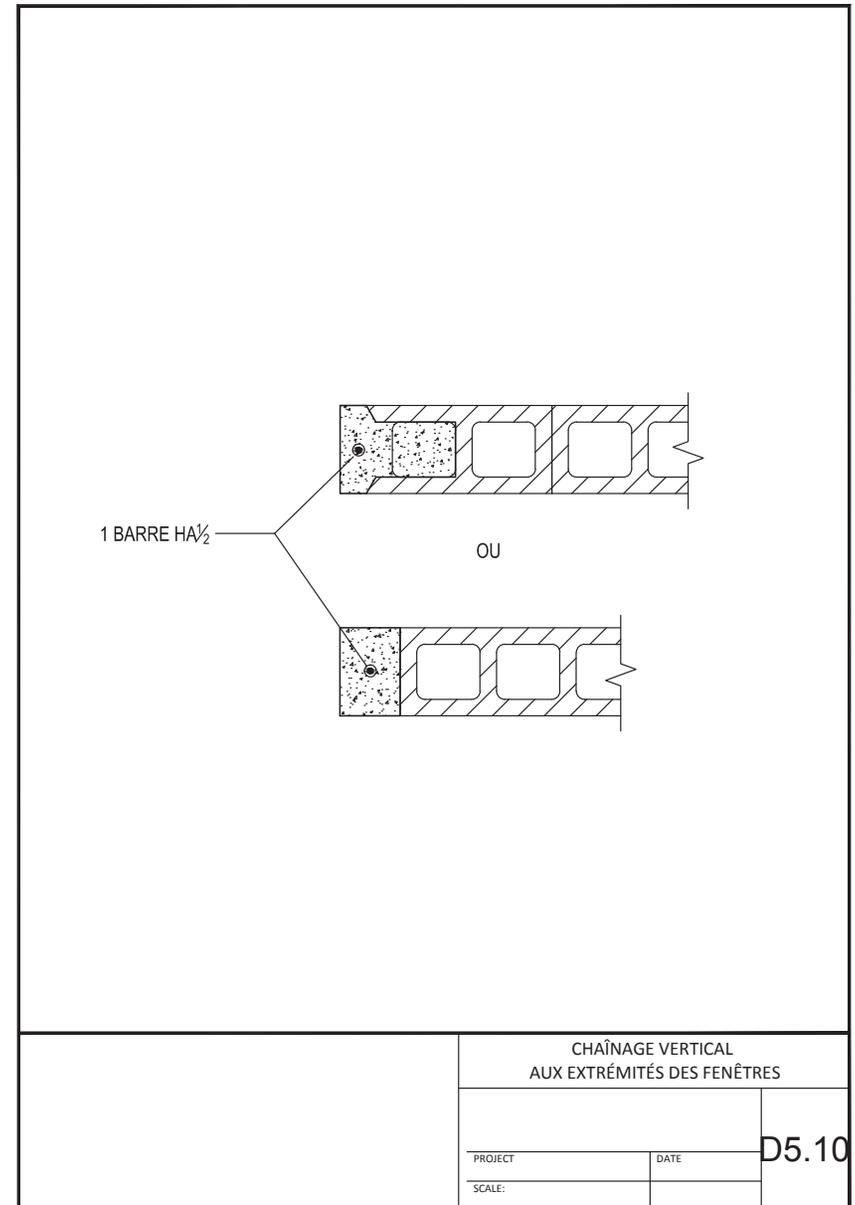
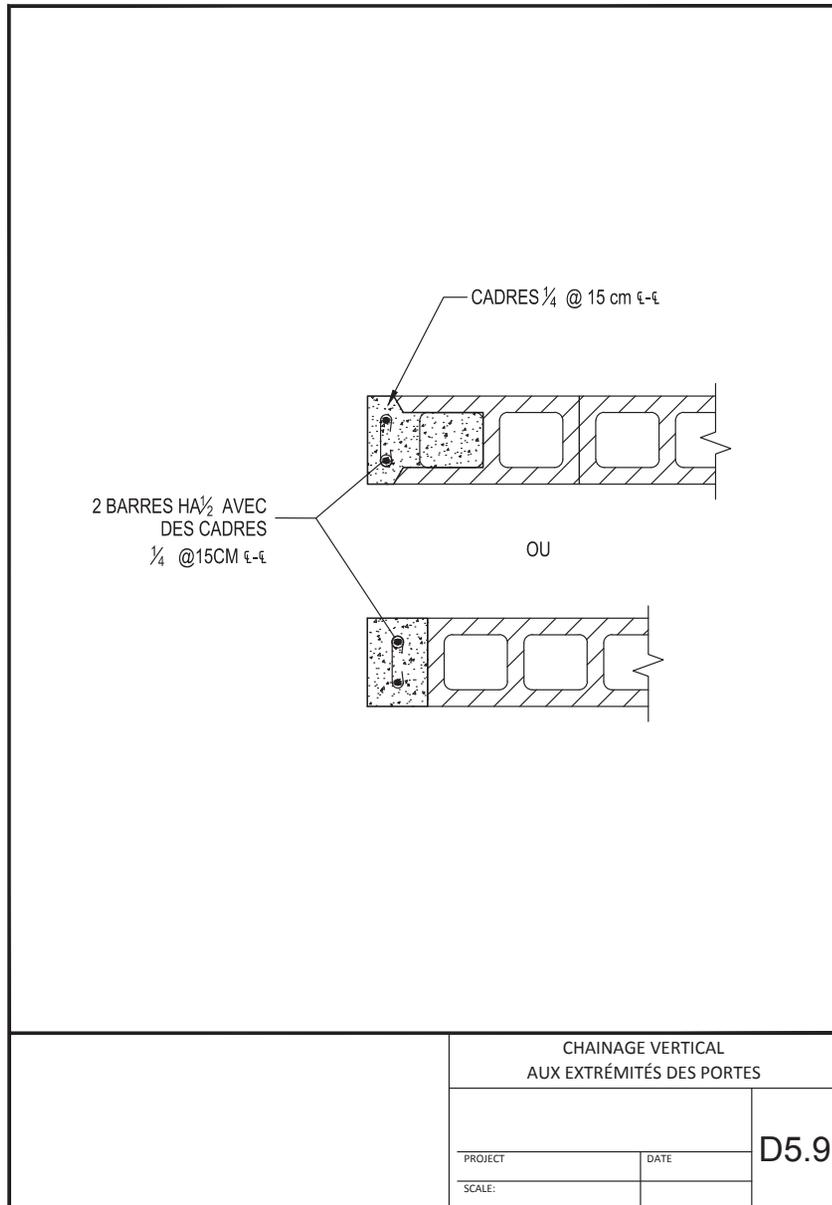
CADRES HA  $\frac{3}{8}$  @ 20 cm e-e

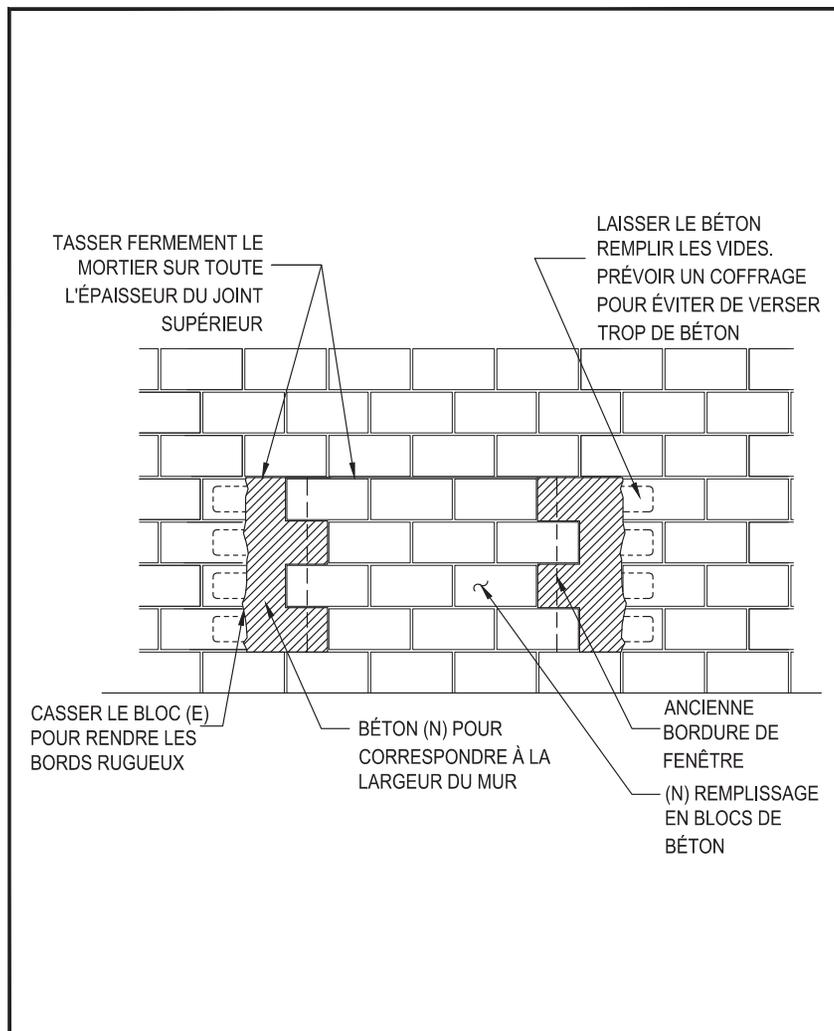
4 BARRES HA  $\frac{1}{2}$  DANS LES CHÂINAGES VERTICAUX A EXTRÉMITÉ DU MUR

OU

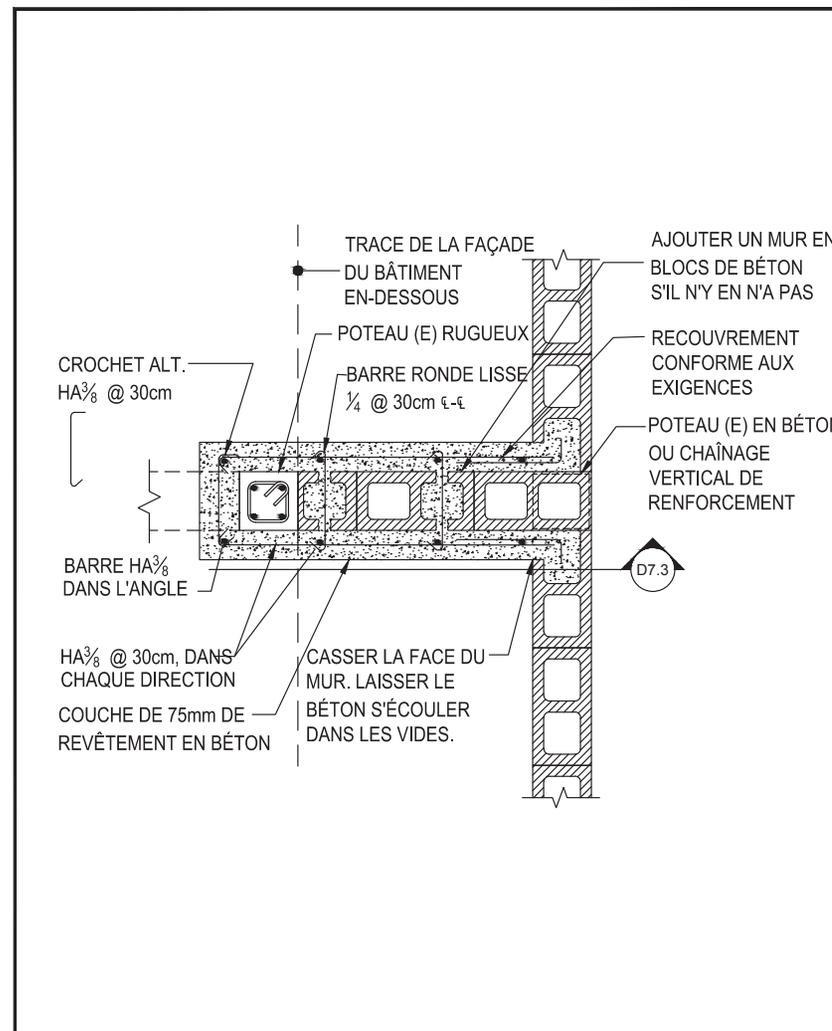
CADRES HA  $\frac{3}{8}$  @ 15 cm e-e

		CHAINAGE VERTICALE AUX EXTREMITES DES MURS	
		D5.8	
PROJECT	DATE		
SCALE:			

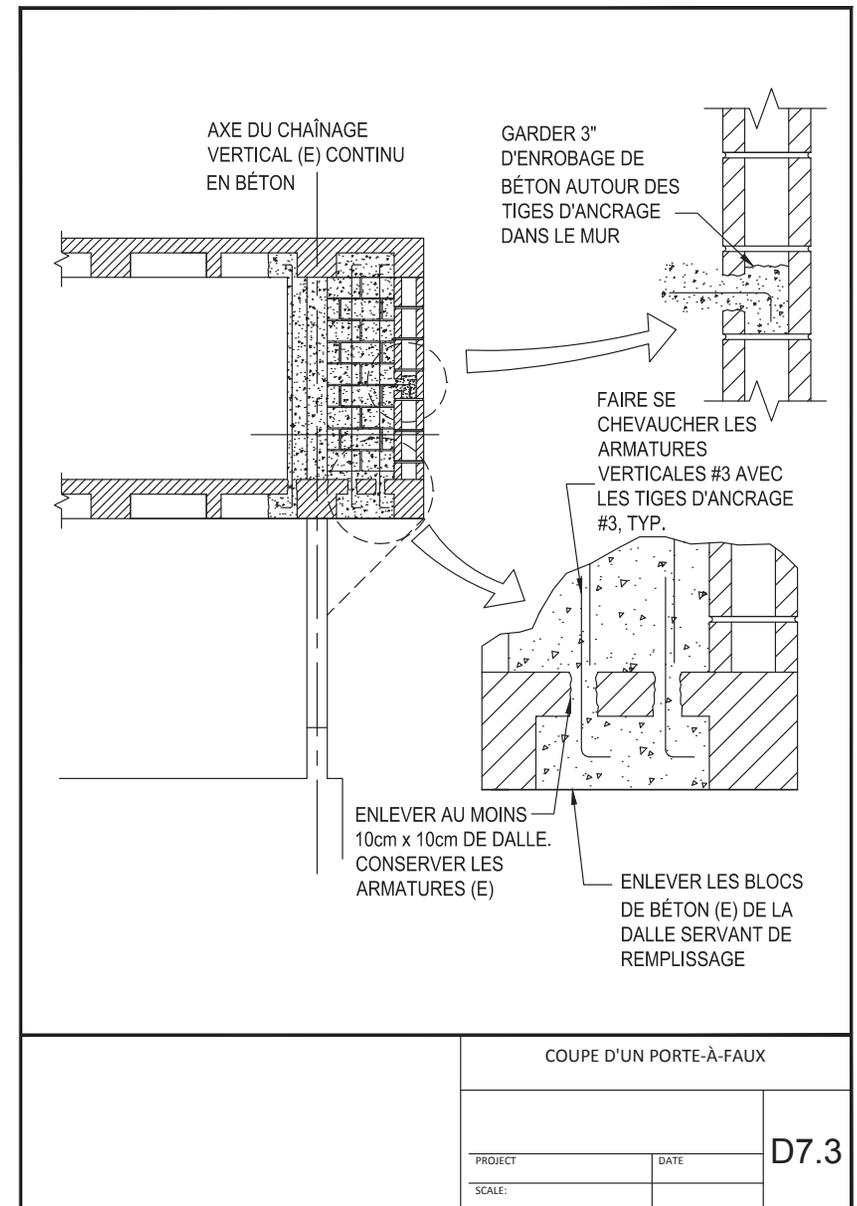
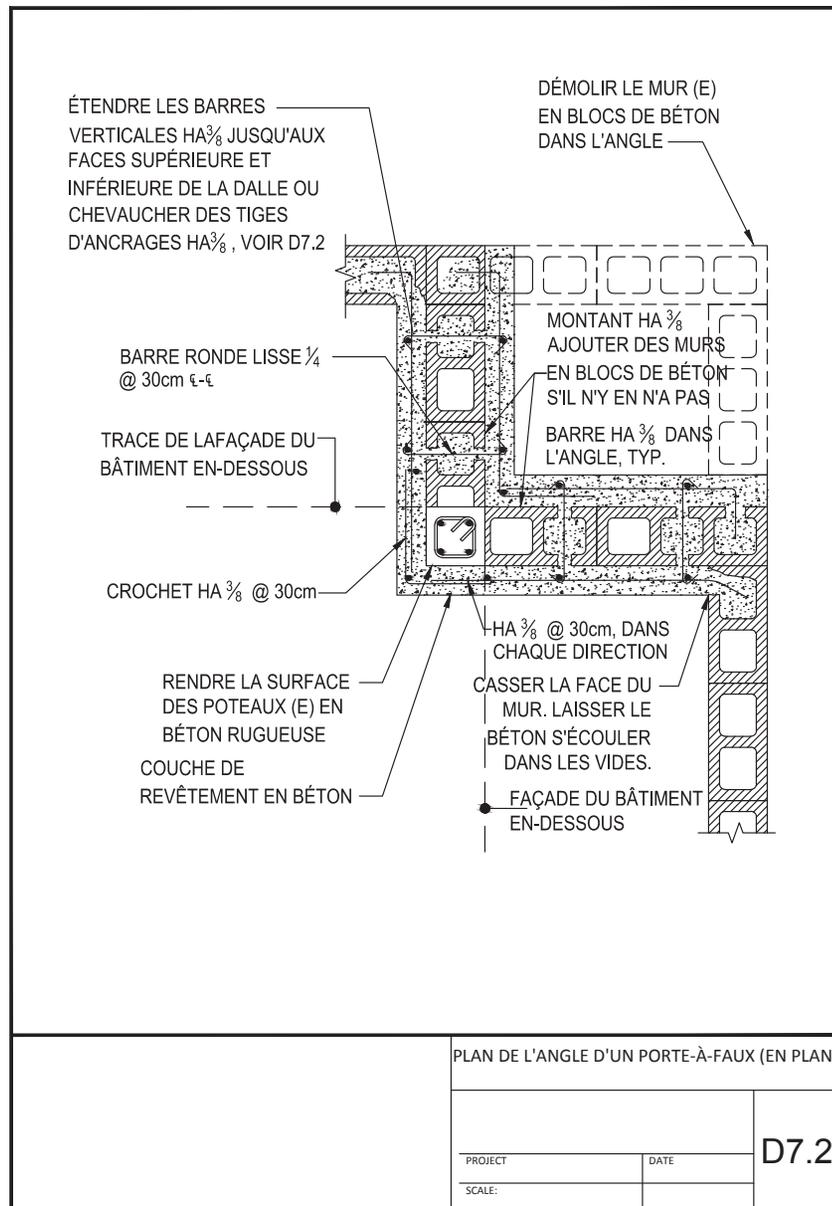




ÉLÉVATION DU REMPLISSAGE D'UNE FENÊTRE		<b>D6.1</b>
PROJECT	DATE	
SCALE:		



PORTE-À-FAUX À CHAQUE COLONNE (EN PLAN)		<b>D7.1</b>
PROJECT	DATE	
SCALE:		



4 (N) BARRES #4. CHEVAUCHER AVEC LES TIGES EN HAUT ET EN BAS. L'ENROBAGE MIN. EST DE 5 cm DANS LE BÉTON (E) AU-DESSUS OU EN-DESSOUS ; OU DE 20 cm DANS LA ROCHE DE FONDATION

4 BARRES (E) #4 OU #5 (N) SPIRALE #2, PAS DE 10cm MAX

#2 OU #3 (E)

POTEAU DE SECTION CIRCULAIRE DE Ø 30 cm

15cm

RENFORCEMENT DES POTEAUX

NOTES :

1. ENLEVER LE BÉTON DANS LES ANGLES POUR EXPOSER LES ARMATURES (E)

2. RENDRE RUGUEUSES LES FACES DES POTEAUX (E)

3. VOIR LES INFORMATIONS DE LA LISTE DE VÉRIFICATION SUR LES DIMENSIONS MINIMALES DES POTEAUX ET LE FERRAILLAGE MINIMAL.

TOITURE EN BÉTON

FAÇADE AVANT

VUE DE CÔTÉ

RENFORCEMENT DE LA TOITURE DE LA GALERIE

PROJECT	DATE	D8.1
SCALE:		

$S_{os}$ (%g)	0.5	1.05	1.67
PORTÉE			
3m	A	A	B
4.5m	A	B	N.P.

TIGES D'ANCRAGE #2 @ 15cm

4 BARRES #4 AVEC 3cm D'ENROBAGE TYP.

3cm

MIN. 1 cm D'ENGAGEMENT DANS LE BLOC DE BÉTON (E)

11.5 cm D'ÉPAISSEUR TEL QUE REQUIS POUR L'ENROBAGE

TIGES D'ANCRAGE #2 @ 15cm

2 BARRES #4 AVEC 3cm D'ENROBAGE TYP.

MIN. 1 cm D'ENGAGEMENT DANS LA (E) MINA

7.25 cm D'ÉPAISSEUR TEL QUE REQUIS POUR L'ENROBAGE

COUPE A

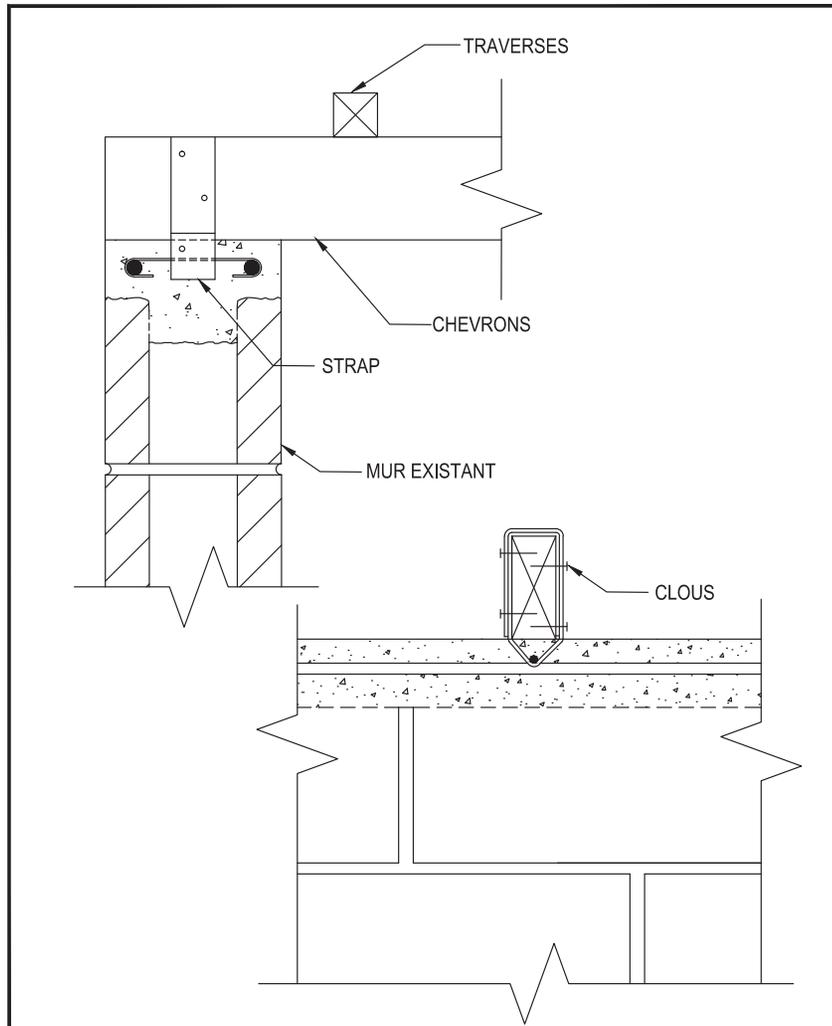
COUPE B

1. DANS LE CALCUL ON SUPPOSE QUE LA HAUTEUR DU NIVEAU EST DE 3m MAXIMUM POUR LES IMMEUBLES. PLUS HAUT, CONTACTER UN INGÉNIEUR

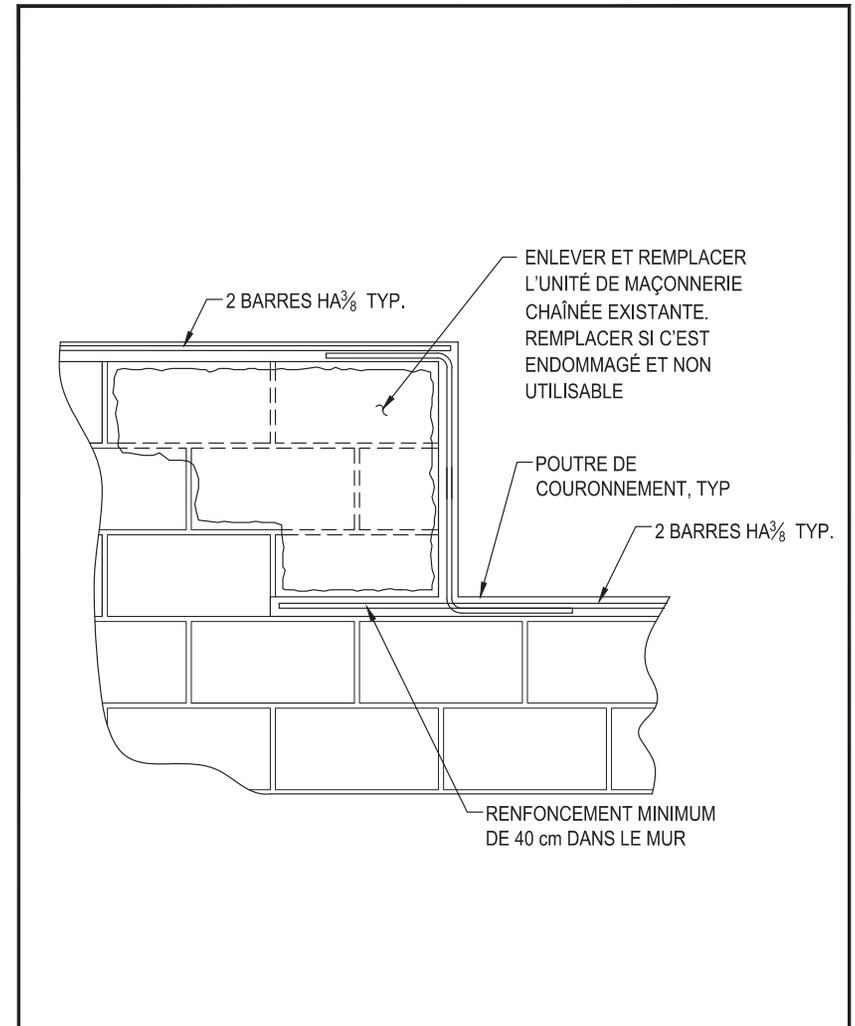
2. LA SOLLICITATION SE BASE SUR  $F_p = 0.85 * S_{os} * W_p$  AVEC  $W_p = 36 \text{ lb/pied}^2$

COUPE TYPE SUR POUTRE DE COURONNEMENT

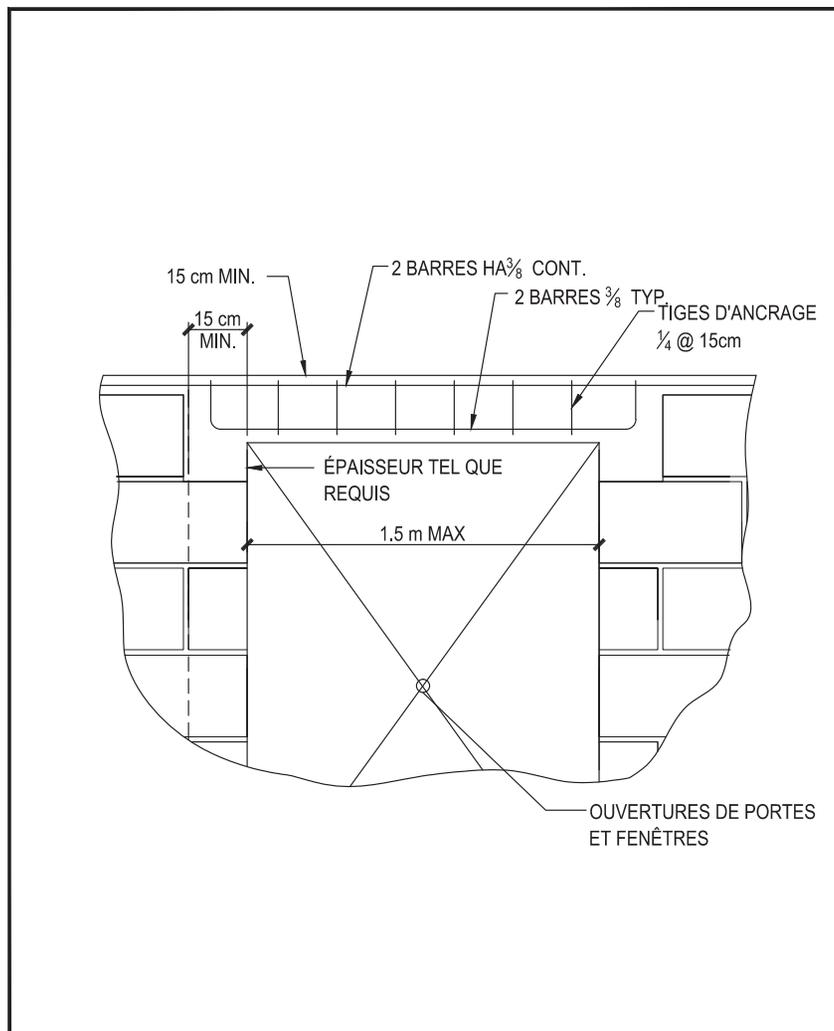
PROJECT	DATE	D9.1
SCALE:		



POUTRE DE COURONNEMENT DE 2 BARRES AVEC STRAP		<b>D9.2</b>
PROJECT	DATE	
SCALE:		



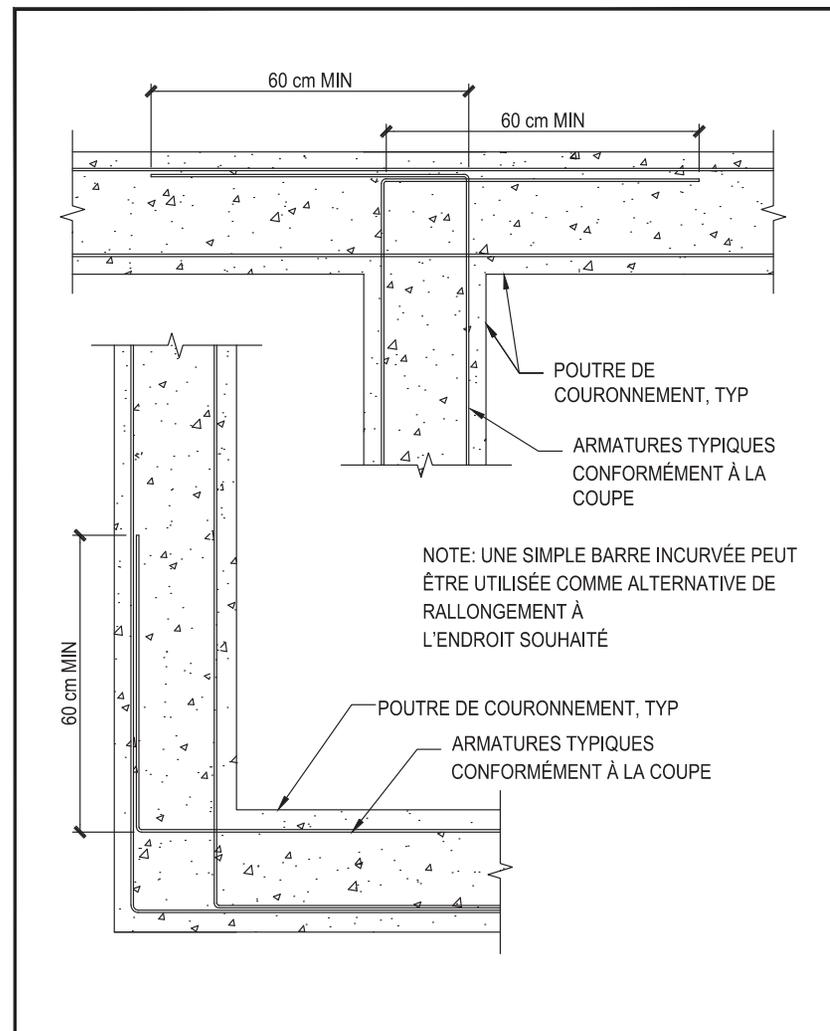
POUTRE DE COURONNEMENT CHANGEMENT DE NIVEAU		<b>D9.3</b>
PROJECT	DATE	
SCALE:		



POUTRE DE COURONNEMENT ÉPAISSIE

PROJECT	DATE
SCALE:	

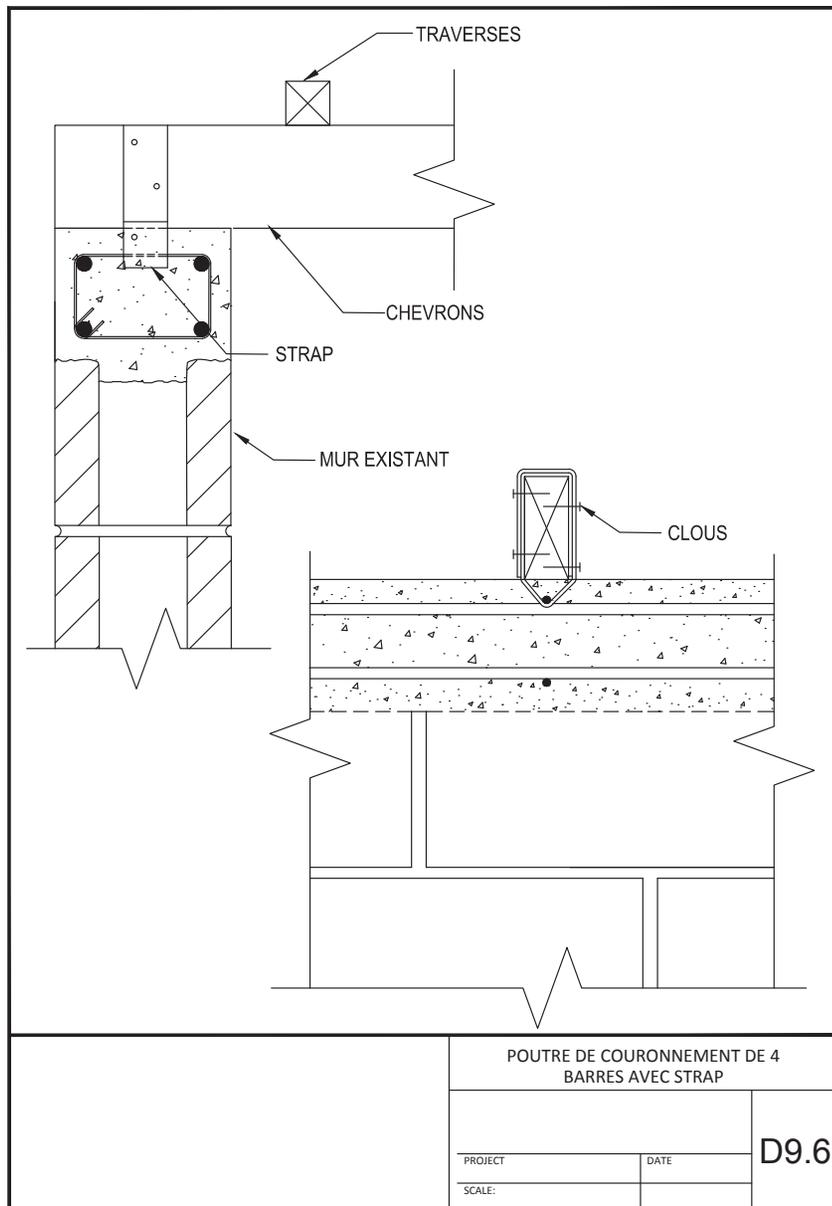
D9.4



JONCTION DES DEUX POUTRES DE COURONNEMENT

PROJECT	DATE
SCALE:	

D9.5



## **Comment utiliser les tableaux de dimensionnement des murs de contreventement et de leurs chaînages**

### **Principes**

Les panneaux de contreventement doivent être conçus et disposés en respectant les conditions énoncées au chapitre CONT - Renforcement par ajout ou renforcement de murs de contreventement. Le nombre de panneaux de contreventement doit être de deux au minimum dans chaque direction perpendiculaire. Il est fonction de la surface d'emprise de la construction.

Ces panneaux de contreventement peuvent consister en des murs en maçonnerie creuse ou pleine ou des voiles en béton armé, avec leurs chaînages correspondants.

Pour un niveau donné, on ne doit utiliser qu'un seul des deux types de murs. A noter que les sous-sols partiels ou totaux doivent être construits exclusivement en blocs de béton pleins ou en voiles de béton armé.

Les quatre tableaux donnés en annexes sont établis en fonction:

- du nombre de niveaux de la construction,
- de la surface S du plancher de la construction.

Les caractéristiques des chaînages verticaux et les choix du type de maçonnerie sont déterminés en fonction du nombre de panneaux de contreventement disposés dans la direction considérée ainsi que du plus grand rapport H/L de ces panneaux. Les caractéristiques des chaînages horizontaux intérieurs sont déterminées en fonction du nombre de files de panneaux dans une direction considérée.

On distingue le cas de la toiture lourde (comprenant une dalle en béton armé, horizontale ou inclinée), de celui de la toiture légère (charpente avec tuiles ou tôles, faux-plafond sous comble, sans dalle de béton. Les blocs pleins ou perforés (BP) et les blocs creux (BC) de béton, les briques creuses de terre cuite (BCTC) et les briques pleines ou les blocs perforés de terre cuite (BPTC) utilisés dans les tableaux correspondent à ceux rencontrés aux dans la Caraïbe.

Les initiales citées ci-dessus sont suivies de l'épaisseur du mur en cm (15 ou 20) puis de la résistance (B120 = 120 bars ou 12 MPa).

### **Utilisation des tableaux**

#### **- Choix des éléments des panneaux de contreventement (blocs de béton ou**

### **briques de terre cuite)**

Les tableaux indiquent dans chaque case un type d'élément à utiliser, correspondant à la plus faible résistance compatible avec les efforts développés dans le panneau de contreventement. Il est donc loisible d'adopter en exécution un type d'élément offrant une résistance supérieure à celle de l'élément indiqué dans la case correspondante du tableau.

### **- Rapport H/L des panneaux de contreventement**

Pour une direction donnée, les panneaux de contreventement peuvent avoir des rapports H/L différents. L'utilisation des tableaux impose de considérer pour le dimensionnement de tous les panneaux de contreventement d'un étage, le rapport H/L du panneau pour lequel ce rapport est le plus élevé. Il s'ensuit que le concepteur a tout intérêt à homogénéiser les valeurs de ce rapport pour les murs d'un même ouvrage, faute de quoi des surdimensionnements sont inévitables pour les murs offrant un rapport H/L faible.

### **- Mixage de murs de natures différentes au sein d'un même ouvrage.**

Il est possible d'utiliser des murs de natures différentes (blocs différents ou murs en béton armé avec murs maçonnes), à condition que chacun des murs donne lieu aux dispositions minimales (armatures de chaînages et types de blocs ou de briques) le concernant et conformes aux prescriptions des tableaux. Cependant, au sein d'un même niveau, les matériaux doivent être identiques.

### **- Modulation du rapport H/L en fonction de la nature des matériaux.**

Les tableaux de dimensionnement proposés permettent de moduler le rapport H/L retenu dans la construction, en fonction de la nature des matériaux constitutifs (voiles de béton, blocs de béton ou éléments de terre cuite). En particulier, il peut être utile, sur le plan architectural, de réduire la longueur L en prévoyant des matériaux plus résistants.

### **- Longueur minimale des panneaux de contreventement en fonction du type de la construction.**

Les tableaux figurant en annexes fournissent les dispositions à adopter pour les chaînages ainsi que pour les remplissages en fonction de H/L, rapport de la hauteur d'étage H à la longueur L du panneau de contreventement. Une condition supplémentaire est à observer, visant à adopter par panneau de contreventement une longueur L

minimale dans une maison individuelle en fonction du nombre de niveaux :

- Maison individuelle à un niveau :  $L = 1,5$  m
- Maison individuelle à deux niveaux :  $L = 2,5$  m
- Maison individuelle à trois niveaux :  $L = 5$  m (cas de deux panneaux), 3 m (cas de plus de deux panneaux)

### - Poids propre des planchers

Les tableaux de dimensionnement donnés dans le guide sont applicables pour des bâtiments dont les planchers ont un poids propre n'excédant pas  $370 \text{ daN/m}^2$ , ce qui correspond à un poids courant pour un plancher.

### - Utilisation des tableaux en annexes

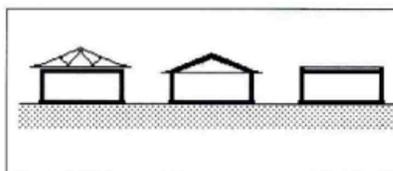
Les tableaux qui figurent en annexes indiquent les types de blocs de béton, de briques ou de blocs de terre cuite à utiliser en fonction des caractéristiques de la maison (nombre de niveaux, surface par niveau) et du nombre et du type (H/L) de panneaux de contreventement disposés par niveau de la maison. Les tableaux présentent également les sections d'armatures à disposer :

- dans les chaînages verticaux, en regard du type de bloc de béton ou de brique à utiliser, de la surface de chaque plancher et du nombre de panneaux de contreventement à chaque niveau dans la direction considérée,
- dans les chaînages horizontaux, intérieurs et périphériques, en regard de la surface de chaque plancher et du nombre de files de panneaux de contreventement à chaque niveau dans la direction considérée. Le chaînage périphérique devant être de section constante sur tout le pourtour du bâtiment, on prendra donc le maximum donné pour les deux directions. Les tableaux indiquent les dimensions pour les panneaux de contreventement de l'étage le plus bas de la construction; pour les niveaux supérieurs, il y a lieu de se reporter aux tableaux respectifs repérés par un chiffre : (cf 1) par exemple.

# TABLEAU 1 Maisons à UN NIVEAU – TOITURES LOURDES en béton armé

1

Maçonnerie de blocs de béton, chaînée : BC = blocs creux, BP = blocs pleins



Hauteur maximale d'un niveau : H = 2,80 m  
Longueurs minimales des panneaux de contreventement : L = 1,5 m

B40, B60, B80, B120, B160, B180 sont les qualités de résistance à la compression des blocs de béton, de 4, 6, 8, 12, ou 16 MPA.

N.B. 1 - Les valeurs du tableau ci-dessous concernent toujours le niveau le plus bas de la maison.

2 - S(\*) = surface totale du plancher

3 - Armatures des chaînages verticaux : HA 10 ou HA 12 exclusivement

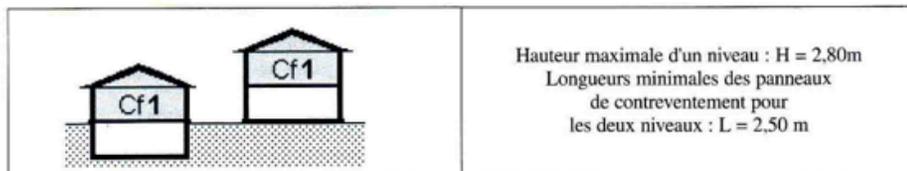
4 - Les valeurs grisées sont déconseillées parce que les panneaux correspondants nécessitent un lestage trop important et donc peu économique

nombre de murs ou de files de murs par direction		2		3		4		5		6	
S(*) (m <sup>2</sup> )	H/L max	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser
50	0,60	3,14	BC20-B40								
	0,80	3,14	BC20-B40								
	1,00	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25	3,45	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50	4,14	BC20-B80	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00	5,51	BP15-B120	3,68	BP15-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		2,76	2,76	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
75	0,60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	3,31	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	4,14	BC20-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25	5,17	BP15-B120	3,45	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50	6,20	BP20-B120	4,14	BC20-B80	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00	8,27	BP20-B120	5,51	BP15-B120	4,14	BC20-B80	3,31	BP15-B80	3,14	BP15-B80
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		4,14	4,14	2,76	2,07	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
100	0,60	3,31	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	4,41	BP15-B120	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	5,51	BP20-B120	3,68	BC20-B60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25	6,89	BP20-B120	4,60	BP15-B120	3,45	BC20-B60	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40
	1,50	8,27	BP20-B120	5,51	BP15-B120	4,14	BC20-B80	3,31	BC20-B60	3,14	BC20-B60
	2,00			7,35	BP20-B120	5,51	BP15-B120	4,41	BP15-B120	3,68	BP15-B80
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		5,51	5,51	3,68	2,76	2,21	2,21	2,21	2,01	2,01	2,01
150	0,60			3,31	BC20-B60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80			4,41	BP15-B120	3,31	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00			5,51	BP20-B120	4,14	BC20-B80	3,31	BP15-B80	3,14	BP15-B80
	1,25			6,89	BP20-B120	5,17	BP15-B120	4,14	BC20-B80	3,45	BC20-B60
	1,50			8,27	BP20-B120	6,20	BP20-B120	4,96	BP15-B120	4,14	BC20-B80
	2,00					8,27	BP20-B120	6,62	BP20-B120	5,51	BP15-B120
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		8,27	8,27	5,51	4,14	3,31	3,31	3,31	2,76	2,76	2,76
200	0,60					3,31	BC20-B60	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40
	0,80					4,41	BP15-B120	3,53	BC20-B60	3,14	BC20-B60
	1,00					5,51	BP20-B120	4,41	BP15-B120	3,68	BC20-B60
	1,25					6,89	BP20-B120	5,51	BP15-B120	4,60	BP15-B120
	1,50					8,27	BP20-B120	6,62	BP20-B120	5,51	BP15-B120
	2,00							8,82	BP20-B120	7,35	BP20-B120
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>				7,35	5,51	4,41	4,41	4,41	3,68	3,68	3,68

## TABLEAU 2 Maisons à DEUX NIVEAUX – TOITURES LOURDES en béton armé

2

Maçonnerie de blocs de béton, chaînée : BC = blocs creux, BP = blocs pleins



N.B. 1 - Les valeurs du tableau ci-dessous concernent toujours le niveau le plus bas de la maison. Pour les niveaux supérieurs, il y a lieu de se reporter aux tableaux respectifs désignés (cf 1).

2 - S(\*) = surface totale du plancher

3 - Armatures des chaînages verticaux :  
**HA 10 ou HA 12 exclusivement**

B40, B60, B80, B120, B160, B180 sont les qualités de résistance à la compression des blocs de béton, de 4, 6, 8, 12, ou 16 MPA.

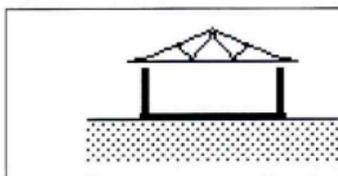
4 - Les valeurs grisées sont déconseillées parce que les panneaux correspondants nécessitent un lestage trop important et donc peu économique

nombre de murs ou de files de murs par direction		2		3		4		5		6	
S(*) (m²)	H/L max	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser
50	0,60	4,21	BP20-B120	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	5,61	BP20-B120	3,74	BC20-B60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	7,02	BP20-B120	4,68	BP15-B120	3,51	BP15-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40
	1,25	8,77	BP20-B120	5,85	BP15-B120	4,38	BP15-B120	3,51	BC20-B60	3,14	BC20-B60
	1,50			7,02	BP15-B120	5,26	BP15-B120	4,21	BC20-B80	3,51	BC20-B60
	2,00					7,02	BP15-B120	5,61	BP15-B120	4,68	BP15-B120
chaînage horizontal cm²		4,26	4,26	2,84		2,13		2,01		2,01	
75	0,60	6,31	BP20-B120	4,21	BP20-B120	3,16	BC20-B60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40
	0,80	8,42	BP20-B120	5,61	BP20-B120	4,21	BC20-B80	3,37	BC20-B60	3,14	BP15-B80
	1,00			7,02	BP20-B120	5,26	BP15-B120	4,21	BC20-B80	3,51	BP15-B80
	1,25			8,77	BP20-B120	6,58	BP15-B120	5,26	BP15-B120	4,38	BP15-B120
	1,50					7,89	BP15-B120	6,31	BP15-B120	5,26	BP15-B120
	2,00							8,42	BP15-B120	7,02	BP15-B120
chaînage horizontal cm²		6,39	6,39	4,26		3,19		2,55		2,13	
100	0,60	8,42	BP20-B120	5,61	BP20-B120	4,21	BP20-B120	3,37	BC20-B60	3,14	BC20-B60
	0,80			7,48	BP20-B120	5,61	BP20-B120	4,49	BP15-B120	3,74	BC20-B60
	1,00					7,02	BP20-B120	5,61	BP20-B120	4,68	BP15-B120
	1,25					8,77	BP20-B120	7,02	BP20-B120	5,85	BP15-B120
	1,50							8,42	BP20-B120	7,02	BP20-B120
	2,00										
chaînage horizontal cm²		8,52	8,52	5,68		4,26		3,41		2,84	
150	0,60			8,42	BP20-B120	6,31	BP20-B120	5,05	BP20-B120	4,21	BP20-B120
	0,80					8,42	BP20-B120	6,73	BP20-B120	5,61	BP20-B120
	1,00							8,42	BP20-B120	7,02	BP20-B120
	1,25									8,77	BP20-B120
	1,50										
	2,00										
chaînage horizontal cm²				8,52		6,39		5,11		4,26	
200	0,60					8,42	BP20-B120	6,73	BP20-B120	5,61	BP20-B120
	0,80							8,98	BP20-B120	7,48	BP20-B120
	1,00										
	1,25										
	1,50										
	2,00										
chaînage horizontal cm²						8,52		6,81		5,68	

### TABLEAU 3 Maisons à UN NIVEAU – TOITURES LÉGÈRES

3

Maçonnerie de blocs de béton, chaînée : BC = blocs creux, BP = blocs pleins



Hauteur maximale d'un niveau : H = 2,80m  
Longueurs minimales des panneaux de contreventement : L = 1,50 m

N.B. 1 - Les valeurs du tableau ci-dessous concernent toujours le niveau le plus bas de la maison.

B40, B60, B80, B120, B160, B180 sont les qualités de résistance à la compression des blocs de béton, de 4, 6, 8, 12, ou 16 MPA.

3 - S(\*) = surface totale du plancher

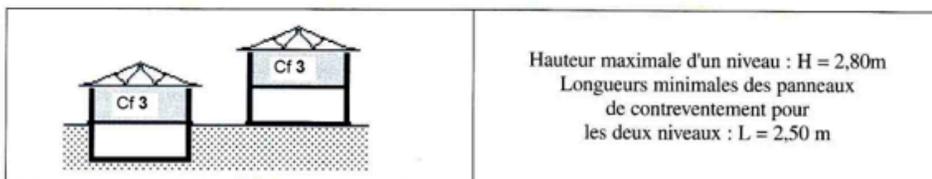
4 - Armatures des chaînages verticaux : **HA 10 ou HA 12 exclusivement**

nombre de murs ou de files de murs par direction		2		3		4		5		6	
S(*) (m <sup>2</sup> )	H/L max	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm <sup>2</sup>	Type de blocs à utiliser
50	0,60	3,14	BC20-B40								
	0,80	3,14	BC20-B40								
	1,00	3,14	BC20-B40								
	1,25	3,14	BC20-B40								
	1,50	3,14	BC20-B40								
	2,00	3,14	BC20-B40								
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		2,01		2,01		2,01		2,01		2,01	
75	0,60	3,14	BC20-B40								
	0,80	3,14	BC20-B40								
	1,00	3,14	BC20-B40								
	1,25	3,14	BC20-B40								
	1,50	3,14	BC20-B40								
	2,00	3,18	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		2,01		2,01		2,01		2,01		2,01	
100	0,60	3,14	BC20-B40								
	0,80	3,14	BC20-B40								
	1,00	3,14	BC20-B40								
	1,25	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50	3,18	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00	4,25	BP15-B120	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		2,12		2,01		2,01		2,01		2,01	
150	0,60			3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80			3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00			3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25			3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50			3,18	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00			4,25	BP15-B120	3,18	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		3,18		2,12		2,01		2,01		2,01	
200	0,60					3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80					3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00					3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25					3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50					3,18	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00					4,25	BP15-B120	3,40	BP15-B80	3,14	BP15-B80
chaînage horizontal cm <sup>2</sup>		4,25		2,83		2,12		2,01		2,01	

## TABLEAU 4 Maisons à DEUX NIVEAUX – TOITURES LÉGÈRES

4

Maçonnerie de blocs de béton, chaînée : BC = blocs creux, BP = blocs pleins



N.B. 1 - Les valeurs du tableau ci-dessous concernent toujours le niveau le plus bas de la maison. Pour les niveaux supérieurs, il y a lieu de se reporter aux tableaux respectifs désignés (cf 3).

2 - S(\*) = surface totale du plancher

3 - Armatures des chaînages verticaux : **HA 10 ou HA 12 exclusivement**

5 - Les valeurs grisées sont déconseillées parce que les panneaux correspondants nécessitent un lestage trop important et donc peu économique

B40, B60, B80, B120, B160, B180 sont les qualités de résistance à la compression des blocs de béton, de 4, 6, 8, 12, ou 16 MPA.

nombre de murs ou de files de murs par direction		2		3		4		5		6	
S(*) (m²)	H/L max	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser	chaînage vertical cm²	Type de blocs à utiliser
50	0,60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	3,20	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	4,00	BC20-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25	5,00	BP15-B120	3,33	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,50	6,00	BP20-B120	4,00	BC20-B80	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	2,00	8,00	BP20-B120	5,33	BP15-B120	4,00	BC20-B80	3,20	BP15-B80	3,14	BP15-B80
	chaînage horizontal cm²		2,94	2,94		2,01		2,01		2,01	
75	0,60	3,60	BC20-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	4,80	BP20-B120	3,20	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	6,00	BP20-B120	4,00	BC20-B80	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,25	7,50	BP20-B120	5,00	BP15-B120	3,75	BC20-B60	3,14	BC20-B60	3,14	BC20-B40
	1,50	9,00	BP20-B120	6,00	BP20-B120	4,50	BP15-B120	3,60	BC20-B60	3,14	BC20-B60
	2,00			8,00	BP20-B120	6,00	BP20-B120	4,80	BP15-B120	4,00	BC20-B80
	chaînage horizontal cm²		4,41	4,41		2,94		2,20		2,01	
100	0,60	4,80	BP20-B120	3,20	BC20-B60	3,14	BP15-B80	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	0,80	6,40	BP20-B120	4,27	BP15-B120	3,20	BC20-B60	3,14	BC20-B40	3,14	BC20-B40
	1,00	8,00	BP20-B120	5,33	BP15-B120	4,00	BC20-B80	3,20	BP15-B80	3,14	BP15-B80
	1,25			6,67	BP20-B120	5,00	BP15-B120	4,00	BC20-B80	3,33	BC20-B60
	1,50			8,00	BP20-B120	6,00	BP20-B120	4,80	BP15-B120	4,00	BC20-B80
	2,00					8,00	BP20-B120	6,40	BP20-B120	5,33	BP15-B120
	chaînage horizontal cm²		5,88	5,88		3,92		2,94		2,35	
150	0,60			4,80	BP20-B120	3,60	BC20-B80	3,14	BC20-B60	3,14	BP15-B80
	0,80			6,40	BP20-B120	4,80	BP20-B120	3,84	BC20-B60	3,20	BC20-B60
	1,00			8,00	BP20-B120	6,00	BP20-B120	4,80	BP15-B120	4,00	BC20-B80
	1,25					7,50	BP20-B120	6,00	BP20-B120	5,00	BP15-B120
	1,50					9,00	BP20-B120	7,20	BP20-B120	6,00	BP20-B120
	2,00									8,00	BP20-B120
	chaînage horizontal cm²		8,82	8,82		5,88		4,41		3,53	
200	0,60					4,80	BP20-B120	3,84	BP15-B120	3,20	BC20-B60
	0,80					6,40	BP20-B120	5,12	BP20-B120	4,27	BP15-B120
	1,00					8,00	BP20-B120	6,40	BP20-B120	5,33	BP15-B120
	1,25							8,00	BP20-B120	6,67	BP20-B120
	1,50									8,00	BP20-B120
	2,00										
chaînage horizontal cm²				7,84		5,88		4,70			3,92

## A. REMERCIEMENTS

Le MTPTC remercie vivement les organisations et les individus suivants pour leurs contributions tant financières que techniques dans l'élaboration de ce document.

WORLBANK

UNOPS

BUILD CHANGE

MIYAMOTO

Cooperation Suisse

Michèle ROBIN-CLERC

