

STRUCTURES EN MAÇONNERIE CHAINÉE

- 9** **STRUCTURES EN MAÇONNERIE CHAINÉE 139**
- 9.1 Objet
 - 9.2 Principes
 - 9.3 Matériaux
 - 9.4 Conception
 - 9.5 Calcul et vérification des éléments structuraux principaux



9. STRUCTURES EN MAÇONNERIE CHAINÉE

9.1 Objet

Le présent chapitre traite des constructions en maçonnerie porteuse chaînée à réaliser en zone sismique. Il s'applique concomitamment avec les autres DTR, à savoir DTR C 2. 45 «*Règles de conception et de calcul des maçonneries* », DTR E 2.4 «*Travaux de maçonnerie de petits éléments* » et autres documents applicables.

La maçonnerie porteuse armée n'est pas traitée dans les présentes règles.

En cas d'utilisation exceptionnelle, celle-ci devrait se faire sur la base d'un avis technique.

La maçonnerie porteuse ordinaire (non chainée, non armée) n'est pas autorisée en zone sismique.

Les constructions en maçonnerie chainée concernées par ce chapitre appartiennent au groupe d'usage 2.

9.2 Principes

La construction en maçonnerie porteuse chaînée se compose de murs de maçonnerie et d'éléments de confinement, ou chaînages, en béton armé réalisés dans les sens horizontal et vertical sur les quatre côtés d'un panneau du mur en maçonnerie (cf. Figure (9.1)).

- Les chaînages horizontaux doivent être réalisés:
 - au niveau des fondations
 - au niveau de chaque plancher
 - au niveau des toitures
- Les chaînages verticaux doivent être réalisés:
 - à tous les angles saillants ou rentrants de la construction
 - aux jonctions de murs
 - autour des grandes ouvertures.

Aucun élément de mur ne doit présenter de bord libre en maçonnerie.

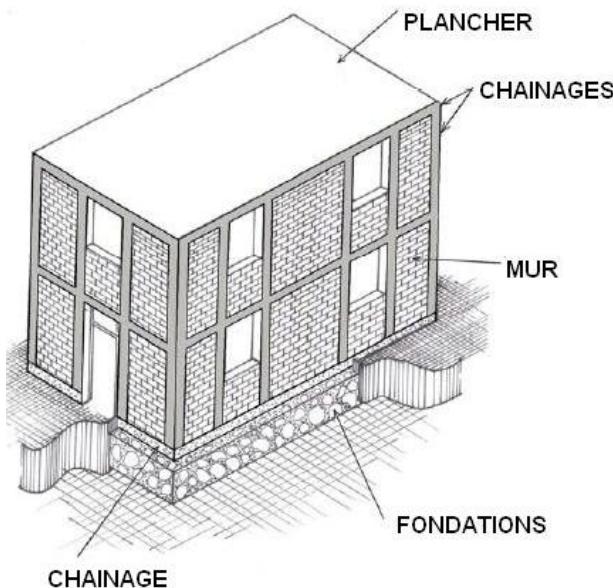


Figure 9.1: Construction en maçonnerie chaînée avec plancher en béton armé

9.3 Matériaux

9.3.1 Généralités

La qualité des matériaux utilisés dans la construction joue un rôle important dans la résistance aux efforts sismiques.

Les matériaux constitutifs sont, entre autres:

- moellons de pierre
- pierres de taille
- briques et blocs de terre cuite
- blocs en béton (plein ou creux)
- briques silico-calcaires
- blocs de béton de terre stabilisée B.T.S.
- blocs de béton cellulaire autoclavé
- mortier
- armatures métalliques
- béton

Le fournisseur doit établir une fiche technique donnant les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau, notamment la résistance caractéristique à la rupture en compression.

9.3.2 Spécifications concernant les matériaux

Blocs de pierre

A défaut de détermination expérimentale, la résistance caractéristique en compression est prise égale à la valeur minimale communément admise en fonction de la catégorie de roche d'origine.

Briques et blocs manufacturés

Les caractéristiques physiques et mécaniques de ces matériaux, et en particulier la résistance en compression, doivent être conformes aux prescriptions techniques y afférentes.

En particulier, la résistance caractéristique minimale en compression exigée est de 5 MPa.

Mortiers

Les mortiers utilisés pour les constructions des structures en maçonnerie seront à base de ciment ou ciment - chaux hydraulique et leur résistance minimale caractéristique à la compression sera de 5 MPa.

Armatures

Les armatures sont celles prévues pour le béton armé et sont définies par les normes y afférentes; la valeur de la résistance caractéristique à utiliser dans les calculs est la limite d'élasticité f_e .

Béton

Pour les éléments en béton armé faisant partie du système structural, la résistance caractéristique minimale à la compression exigée est de 15 MPa.

9.4 Conception

La conception architecturale des bâtiments en maçonnerie chaînée doit prendre en compte les exigences suivantes:

- La forme en plan doit être régulière (cf. chapitre 3)
- Le rapport longueur sur largeur ne doit pas dépasser 3.5
- Les murs doivent être disposés de manière aussi symétrique que possible
- Les murs doivent être continus sur toute la hauteur du bâtiment.
- Les ouvertures (portes et fenêtres) doivent être placées sur la même verticale
- Des chaînages horizontaux doivent être placés à chaque étage à des distances verticales ne dépassant pas 4m
- Les distances entre chaînages verticaux ne doivent pas dépasser 5m.
- Une densité minimale de murs (cf. Tableau (9.3)) est nécessaire pour assurer, dans chaque direction, une bonne performance vis-à-vis des sollicitations sismiques

9.4.1 Dimensions en plan, hauteur du bâtiment et nombre de niveaux

a) Dimensions en plan

Les dimensions en plan devront respecter les prescriptions y afférentes données par les règles de conception et de calcul des ouvrages en maçonnerie et béton armé. Par ailleurs, le rapport (longueur/largeur) sera limité à 3.5.

b) Hauteur et nombre de niveaux

La hauteur du bâtiment (en mètres) ainsi que le nombre de niveaux seront limités compte tenu de la zone sismique (cf. Tableau (9.1)):

Zone sismique	I et II	III	IV et V	VI
Hauteur maximale (m)	17	14	11	8
Nombre maximal de niveaux	5	4	3	2

Table 9.1: Limitations en hauteur et nombre de niveaux des bâtiments en maçonnerie chaînée

9.4.2 Répartition et densité des murs

Les murs porteurs doivent être solidement liés (par l'intermédiaire des chaînages) aux planchers rigides; ces derniers vont distribuer aux murs les forces d'inertie au prorata de leur rigidité.

On distingue :

- Les murs structuraux de contreventement capables de reprendre les charges verticales et les charges latérales dues au séisme. Ils auront une épaisseur minimale de 20 cm pour les murs chainés.
- Les murs non-structuraux qui ont une fonction exclusive de cloisonnement. Leurs poids propres sont transmis aux murs porteurs par l'intermédiaire des planchers.

Les distances maximales (en mètres) entre les murs porteurs sont fixées en fonction de la zone sismique (cf. Tableau (9.2)).

La densité de murs, pour chaque direction, doit être suffisante pour assurer une bonne résistance aux sollicitations sismiques. La densité de murs est quantifiée à travers un index, d , (cf. Figure (9.2), Tableau (9.3)) égal à :

$$d = \frac{A_w}{A_p}$$

où :

- A_w = section horizontale totale de l'ensemble des murs porteurs dans une direction
- A_p = surface du plancher

Zone sismique	I et II	III	IV	V et VI
Distance (m)	10	8	6	6

Table 9.2: Distance maximale entre murs

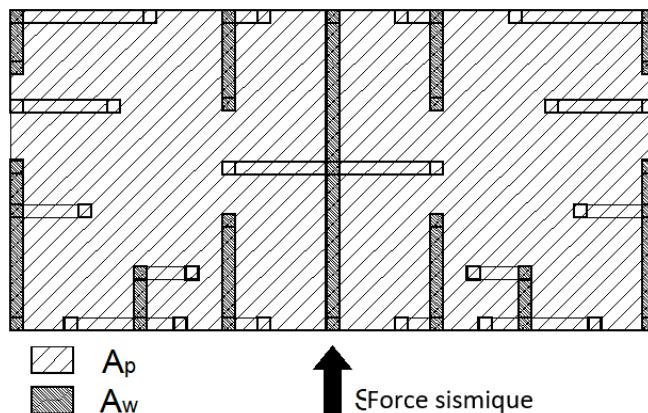


Figure 9.2: Index de densité de murs

Dans le calcul des sections des murs, il y a lieu de tenir compte aussi des petites ouvertures, même si leur surface ne dépasse pas 10% de celle du mur, telles que représentées sur la Figure (9.3), avec:

- A_T : Section effective de mur à prendre en considération pour la résistance aux sollicitations sismiques.

9.4.3 Chaînages

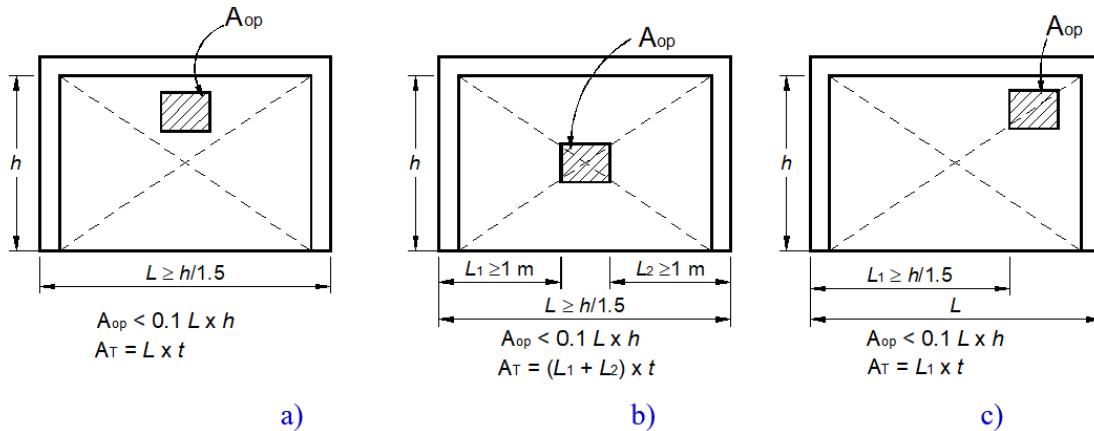
Chaînages horizontaux

Les chaînages horizontaux (cf. Figure (9.4)) doivent régner sur toute l'épaisseur du mur (épaisseur totale du mur s'il s'agit d'un mur à double paroi). Toutefois pour permettre la réalisation de façades

Nombre de niveaux	Zone Sismique et Sites						
	I et II		III		IV et V		VI
	Tout site	S1 et S2	S3 et S4	S1 et S2	S3 et S4	S1 et S2	S3 et S4
Briques pleines, blocs de béton pleins, moellons							
1-2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
3	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	NA	NA
4	3.0	3.5	4.0	NA	NA	NA	NA
5	4.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Briques creuses, blocs de béton creux							
1-2	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
3	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	NA	NA
4	4.0	4.5	5.0	NA	NA	NA	NA
5	5.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Légende: "NA" signifie non admis

Table 9.3: Index de densité des murs, d (%), pour chaque direction du bâtiment

Figure 9.3: Panneaux de murs en maçonnerie confinée avec petites ouvertures: **a)** une ouverture en dehors des diagonales peut être négligée; **b)** et **c)** ouvertures devant être prises en compte

dans lesquelles les éléments de béton armé ne restent pas apparents, il est admis que la dimension minimale des chaînages soit ramenée à (2/3) de l'épaisseur.

Les chaînages doivent avoir une hauteur minimale de 15 cm. Leur armature longitudinale doit être composée d'au moins une barre dans chaque angle de la section. Le minimum d'armature longitudinale des chaînages horizontaux est de 4 barres HA 10. L'espacement de deux barres d'une même nappe horizontale ne doit pas excéder 20 cm (cf. Figure (9.5)).

Tout chaînage horizontal doit comporter des armatures transversales d'espacement, au plus égal à la hauteur du chaînage et à 25 cm. Les longueurs de recouvrement et d'ancrage sont celles données au § 7.5.2, soit:

- (50ϕ) en zones I, II et III
- (60ϕ) en zones IV, V et VI.

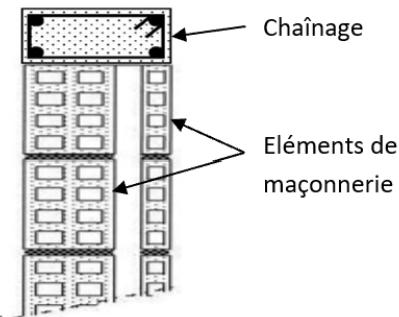


Figure 9.4: Chaînages sur toute la largeur du mur

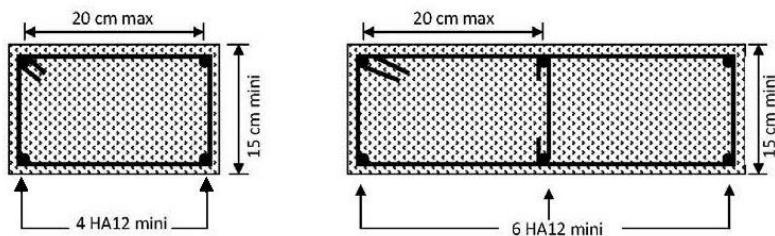


Figure 9.5: Chainage des éléments structuraux

Chaînages verticaux

Ils seront réalisés sur toute la hauteur du mur et avec une section minimale (15cm x 15 cm). Les sections et dispositions minimales d'armatures sont les mêmes que celles concernant les chaînages horizontaux. Pour les zones sismiques IV, V et VI, l'espacement des cadres doit être réduit de moitié aux extrémités du chaînage quand celui-ci se trouve à l'extrémité d'un trumeau (cf. Figure (9.6)). La longueur sur laquelle sont mis les espacements réduits ne doit pas être inférieure à $(h_0/6)$.

Les chainages verticaux sont obligatoirement placés :

- Aux bords de chaque mur de contreventement
- Aux bords libres de chaque élément de mur de la structure, éléments secondaires compris
- Si nécessaire à l'intérieur des murs, primaires et secondaires, pour que l'espacement entre chainage ne dépasse pas 5 m
- Les étriers doivent être constitués de HA5 au minimum, espacés de 15 cm au maximum.

Nœuds des chaînages

La continuité et le recouvrement des armatures des divers chaînages concourant en un même nœud doivent être assurés dans les trois directions (cf. Figure (9.7)).

9.4.4 Planchers

Les planchers seront réalisés en :

- dalle en béton armé coulé en place
- poutrelles et corps creux avec dalle de compression
- les armatures des poutrelles doivent être convenablement ancrées dans les chaînages horizontaux ou dans les poutres principales.
- poutrelles en bois ou métalliques: elles devront s'appuyer sur toute l'épaisseur du mur porteur et ancrées dans les chaînages.

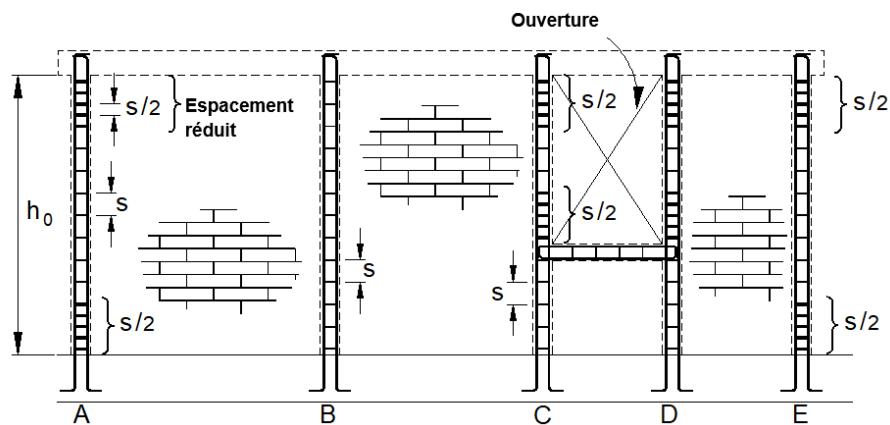


Figure 9.6: Espacement des aciers transversaux

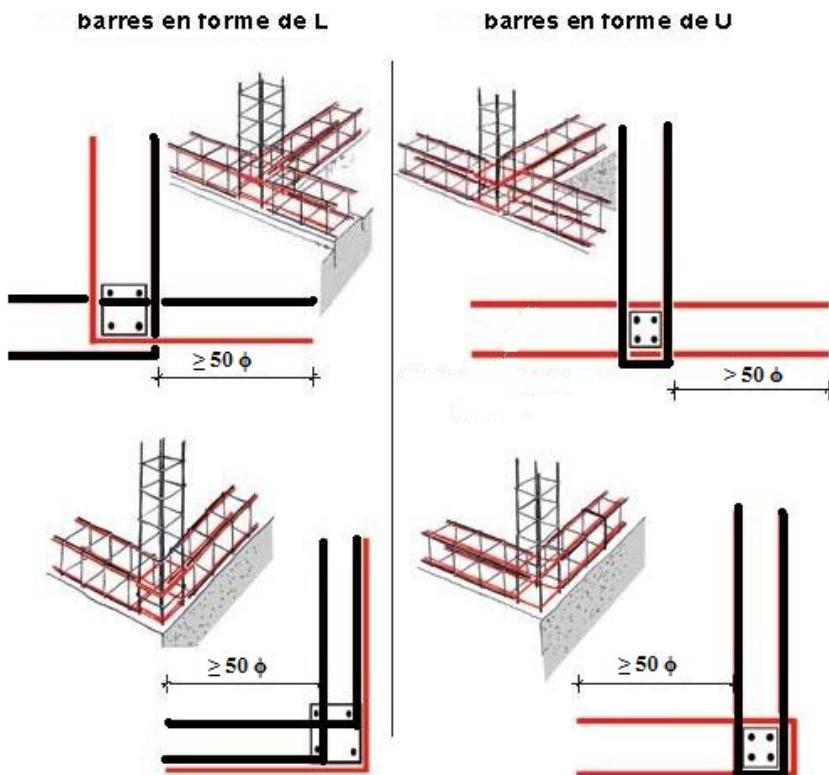


Figure 9.7: Jonction des armatures au croisement des chaînages

9.4.5 Baies et ouvertures

Les baies et ouvertures ont une grande influence de par leurs emplacements et leurs dimensions dans la résistance des bâtiments en maçonnerie.

Afin d'améliorer le comportement des bâtiments en maçonnerie, il est fait les recommandations suivantes :

- la longueur totale des baies et des ouvertures dans un mur ne devra pas dépasser la moitié de

la longueur de ce mur.

- les niveaux supérieurs des baies et ouvertures devront être situés à la même côte.
- les baies et ouvertures dans les murs devront être prévues autant que possible de façon symétrique eu égard à la configuration en plan du bâtiment pour assurer une distribution de rigidité et de résistance uniforme dans les deux directions du bâtiment.
- les baies et ouvertures sont placées dans un même alignement vertical
- les baies et ouvertures sont placées en dehors des zones d'influence des charges localisées ramenées par les poutres ou autres éléments porteurs.

Les baies et ouvertures sont classées en deux catégories, en fonction de leur surface par rapport à celle du panneau du mur:

- rapport $\leq 10\%$: petites ouvertures
- rapport $> 10\%$: grandes ouvertures

Petites ouvertures

Les petites ouvertures sont négligées dans le calcul de la section du mur si elles sont situées en dehors des diagonales par où transitent les efforts de compression et de traction (cf. § 9.4.2 et Figure (9.3)).

Grandes ouvertures

Deux cas peuvent être considérés (cf. Figure (9.8)):

- Ces ouvertures ne sont pas encadrées par des chaînages et dans ce cas le mur est négligé et n'est pas pris en compte dans le calcul de la densité de murs (cf. Figure (9.8a)).
- Les ouvertures sont encadrées par des chaînages horizontaux et verticaux, et dans ce cas, les panneaux, de part et d'autre de l'ouverture, sont pris en compte dans le calcul de la densité de murs (cf. Figure (9.8b)).

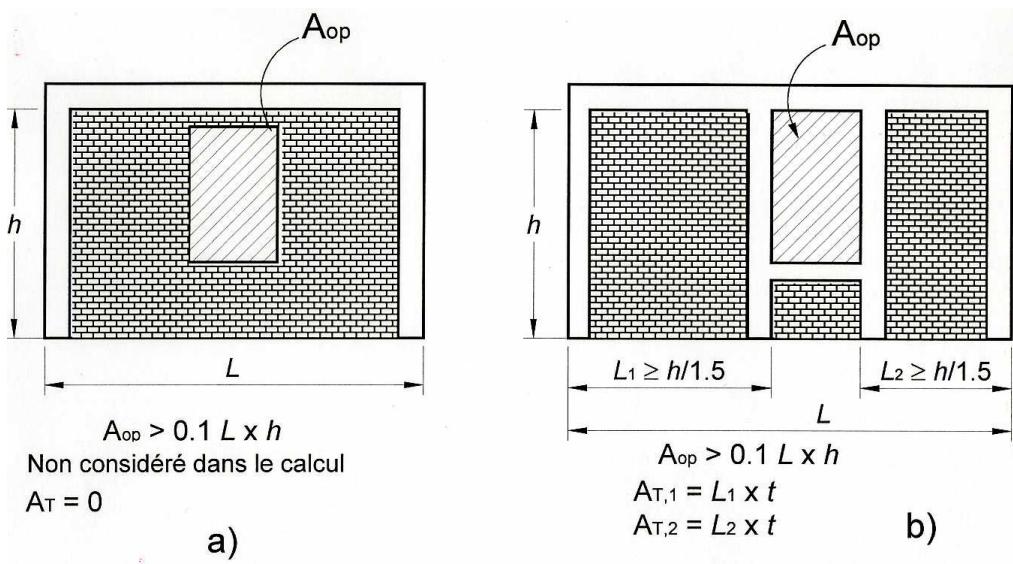


Figure 9.8: Mur en maçonnerie avec grande ouverture: **a)** panneau non confiné – doit être négligé dans le calcul de la densité de murs ; **b)** chaînage sur le contour de l'ouverture et les deux panneaux peuvent être considérés dans le calcul de la densité de murs

Les **dimensions des trumeaux et la hauteur du bâtiment** doivent respecter, par ailleurs, les conditions suivantes (cf. Figure (9.9)):

$$\begin{cases} \sum a_i \geq 0.5L \\ \frac{H}{L} \leq 1.5 \end{cases}$$

Pour les **trumeaux extrêmes** :

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1, a_4 \geq 1.0m \\ \text{quelle que soit la zone} \end{array} \right.$$

Pour les autres trumeaux :

$$\text{Pour les zones IV, V et VI : } \left\{ \begin{array}{l} a_2, a_3 \geq 1.0m \end{array} \right.$$

$$\text{Pour les zones I, II et III : } \begin{cases} a_2 \geq \frac{b_1+b_2}{3} \\ a_3 \geq \frac{b_2+b_3}{3} \end{cases}$$

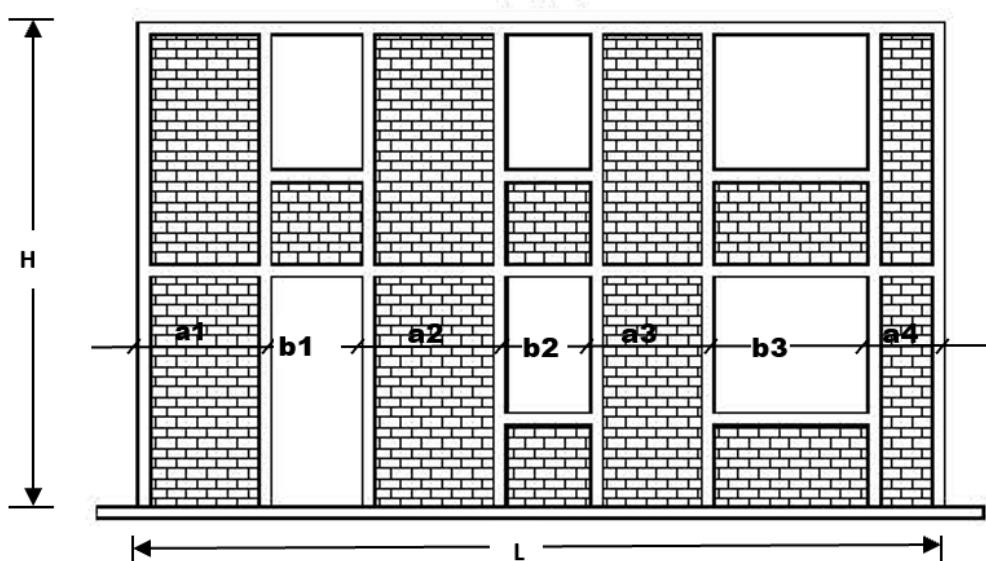


Figure 9.9: Emplacement et dimensions des ouvertures

9.4.6 Harpage à l'interface mur-chaînage vertical

Une bonne liaison entre le mur de maçonnerie et le chaînage vertical est importante pour un bon comportement de ce mur vis-à-vis des sollicitations sismiques, et pour éviter un décollement prématûr au niveau de l'interface mur-chaînage. La liaison entre mur et chaînage est une caractéristique essentielle de la construction en maçonnerie chainée et elle peut être atteinte par la réalisation d'indentations (murs dentelés) à l'interface mur-chaînage, comme le montre la Figure (9.10a).

Il est très important de nettoyer les surfaces des éléments de maçonnerie formant les indentations avant le coulage du béton.

Quand la réalisation des indentations n'est pas possible, il est nécessaire d'ajouter des chevilles horizontales ancrées dans le chaînage vertical comme le montre la Figure (9.10b).

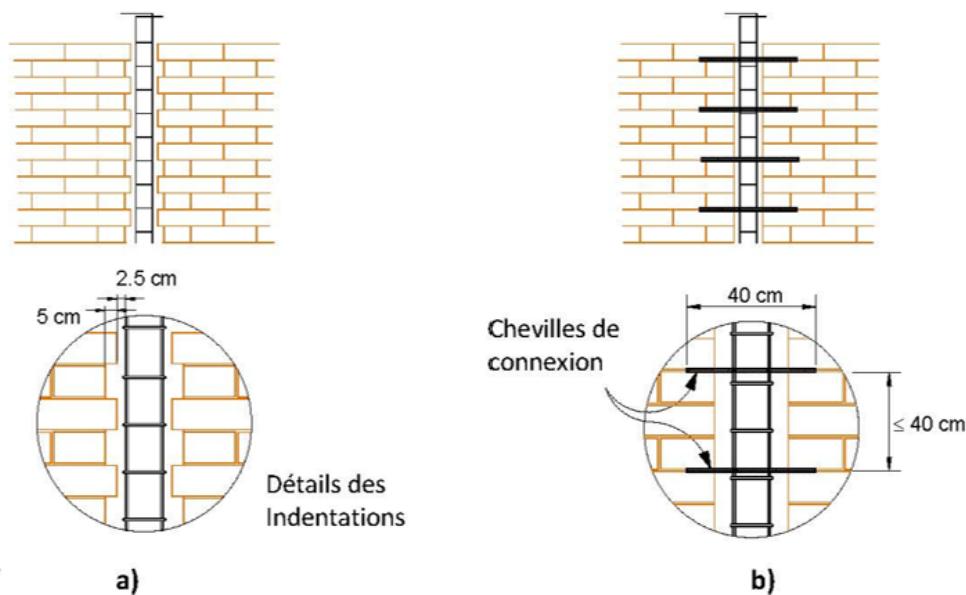


Figure 9.10: Détails des indentations dans les murs en maçonnerie chaînée

9.4.7 Fondations

Dans le cas de maisons individuelles ou bâtiments assimilés ne dépassant pas 2 niveaux, les fondations peuvent être réalisées comme indiqué sur la Figure (9.11). Elles peuvent être constituées de maçonnerie de moellons de pierre (ou béton cyclopéen) surmontée de longrines en béton armé (cf. Figure (9.11a)), ou de semelles filantes en béton armé (cf. Figure (9.11b)).

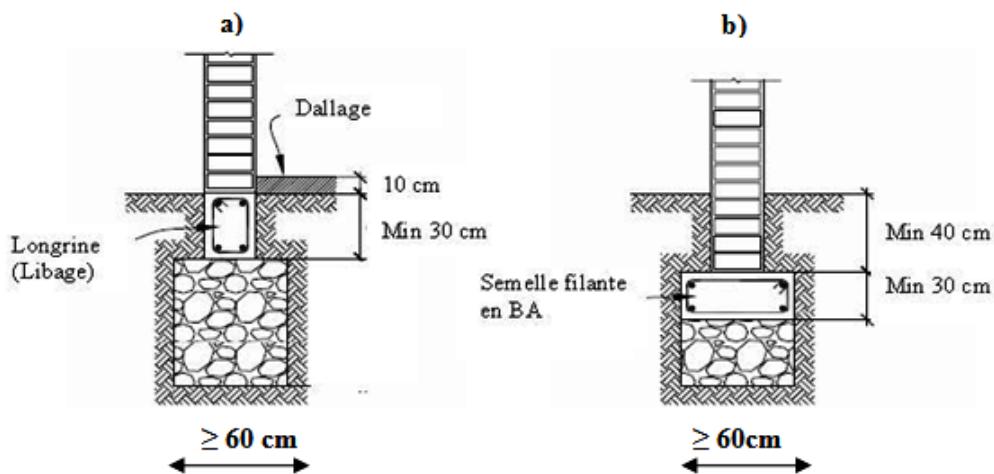


Figure 9.11: Fondations: a) Fondation en maçonnerie de pierres et longrine en BA; b) Semelle filante en BA

9.5 Calcul et vérification des éléments structuraux principaux

Les prescriptions qui suivent sont facultatives pour les constructions en maçonnerie porteuse chaînée de 1 à 2 niveaux (hauteurs maximales de 5 m à 8 m), en toute zone sismique. Elles doivent,

néanmoins, respecter les prescriptions énoncées dans les paragraphes précédents et en particulier les index de densité du Tableau (9.3).

9.5.1 Principe de fonctionnement

La maçonnerie chainée offre une bonne résistance aux actions horizontales dues aux secousses sismiques.

Le rôle des chaînages périphériques est de reprendre les efforts de traction et de renversement sollicitant le mur (cf. Figure (9.12)). Les chaînages ainsi réalisés forment une ceinture qui renforce le liaisonnement interne des éléments de maçonnerie.

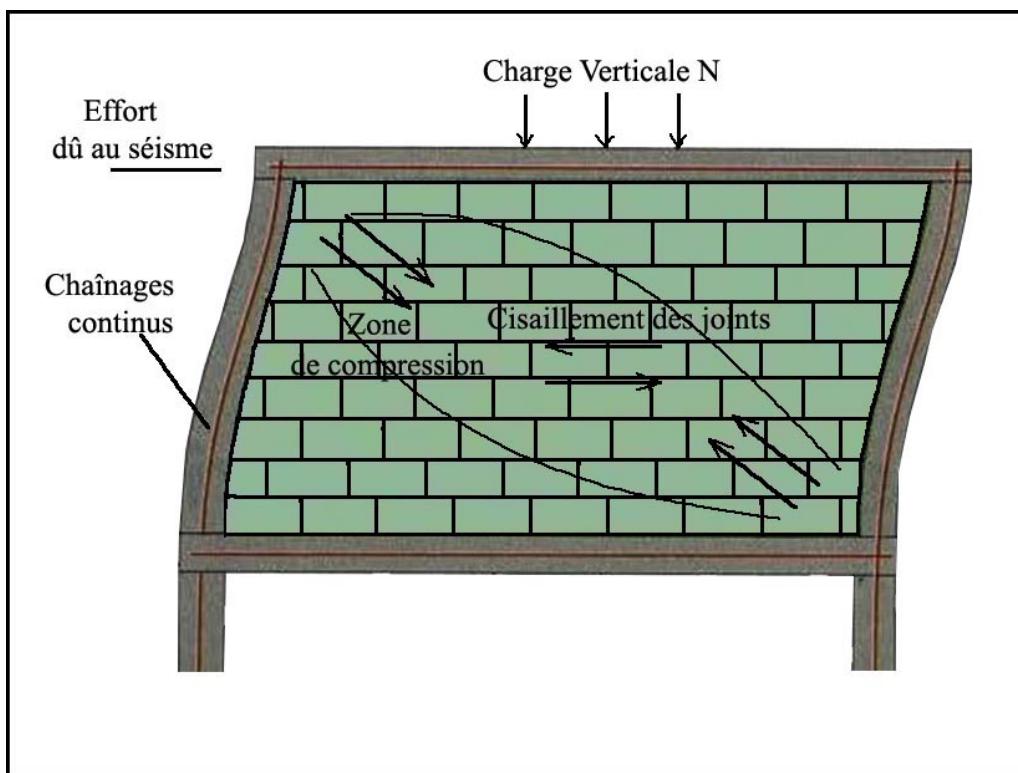


Figure 9.12: Principe de fonctionnement d'un panneau de maçonnerie chaînée

9.5.2 Sollicitation agissantes

Les sollicitations agissantes sont déterminées suivant le chapitre V, et en tenant compte du coefficient de comportement, R , (cf. chapitre III et § 3.6 ainsi que Tableau (3.17)) soit $R= 2.5$.

9.5.3 Sollicitations résistantes

Les sollicitations résistantes sont calculées compte tenu de l'application, aux résistances caractéristiques des matériaux ou considérées comme telles, des coefficients partiels de sécurité suivants :

- Béton de granulats courants : $\gamma_m = 1.5$
- Acier : $\gamma_m = 1.0$
- Blocs de maçonnerie : cf. Tableau (9.4)

9.5.4 Principes de calcul

Le principe de calcul de résistance consiste à assimiler l'ensemble, formé par le panneau de maçonnerie et par les chaînages en béton armé qui l'encadrent, à un système triangulé dont les éléments diagonaux sont constitués par les bielles actives répondant aux exigences suivantes :

- Si les bielles ont une pente comprise entre 1/2 et 2, ce qui est en général le cas quand les prescriptions du § 9.5.2 sont respectées, il n'est pas nécessaire de justifier le non-glissement au droit des joints: $\frac{1}{2} \leq \text{pente} \leq 2$
- La largeur, w , de ces bielles est prise égale à : $w = \min(\frac{d}{6}; 4t)$
où:
 - d : est la longueur de la bille (diagonale du panneau),
 - t : est l'épaisseur brute de la maçonnerie.
- La contrainte de compression, σ_c , dans la maçonnerie doit être inférieure à sa résistance caractéristique, R_m , divisée par γ_m : $\sigma_c \leq \frac{R_m}{\gamma_m}$
où:
 γ_m : est le coefficient partiel de sécurité du matériau (cf. Tableau (9.4)).
- Les armatures des chainages sont calculées suivant les règles du béton armé.

Matériaux	Coefficients γ_m	
	Chargement Centré	Chargement excentré
Briques creuses de terre cuite à faces de pose continues avec joints pleins	3.5	5
Briques creuses de terre cuite à rupture de joint ou à joints partiels	4.5	5.5
Briques pleines ou perforées de terre cuite destinées à rester apparentes ou à être enduites ainsi que Blocs silicocalcaires	3.5	4.5
Blocs perforés de terre cuite à perforations verticales destinés à rester apparents ou à être enduits	3.5	4.5
Blocs pleins ou creux en béton de granulats courants ou légers	3.0	4.0
Blocs de béton cellulaire autoclavé	4.0	5.0
Pierre de taille	4.0	5.0
Pierre en moellons ordinaires	5.0	6.0
Blocs de BTS et Blocs de plâtres	5.0	6.0

Nota: () les valeurs de ce tableau sont valables pour des élancements géométriques de murs dans le sens vertical inférieurs à 15.*

Table 9.4: Coefficient partiel de sécurité, $\gamma_m^{(*)}$, sur le matériau maçonnerie de pierre ou de petits éléments manufacturés

Commentaire : Le coefficient partiel, γ_m , de la maçonnerie, en situation sismique, est pris égal au (2/3) de la valeur prise, en situation courante, par ce coefficient partiel.