

Formation à la construction parasismique

-7- Dispositions constructives Constructions en maçonnerie

S.Hédouin – B.Gaillard

Points abordés

1. **Comportement des maçonneries sous séisme**
2. **Conception des constructions en maçonnerie**
3. **Dispositions constructives réglementaires**

Murs en maçonnerie

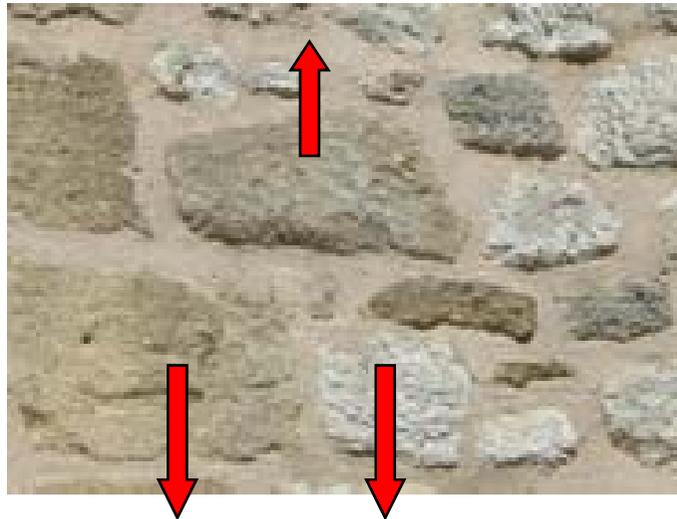
- Types de maçonneries concernées:
 - Nature des éléments modulaires (naturels ou préfabriqués)
 - ✓ *Moellon (pierre calcaire)*
 - ✓ *Pierre taillée*
 - ✓ *Briques (terre crue ou cuite)*
 - ✓ *Aggloméré de béton*
 - ✓ *Blocs de béton cellulaire*
 - ✓ *Verre*
 - ✓ *...*

Points forts des maçonneries en zone sismique

- Technique facilement adaptable aux contextes locaux
- Bonne durabilité
(faible dégradation sous charges statistiques et bonne tenue des caractéristiques mécaniques dans le temps)
- Bonne résistance au feu

Points faibles des maçonnerie en zone sismique

- Faible résistance à la traction
(même si un élément modulaire peut avoir une bonne résistance à la traction)



Rupture rapide au niveau des joints

- Faible résistance au cisaillement
(cisaillement des joints)
- Rapport résistance/poids faible
(les structures en maçonnerie sont des structures lourdes)

Points faibles des maçonnerie en zone sismique

- Faible résistance à la fatigue sous séisme
(fissurations et ruine rapides sous sollicitations alternées)
- Faible ductilité
(faible capacité à la déformation sans rupture)

Dommmages importants sous séisme aux maçonneries non chaînées

- Désolidarisation des murs et déversement
- Dislocation des murs porteurs
- Effondrement des planchers
- Fissuration au droit des joints de maçonnerie suivant la géométrie des bielles formées à l'intérieur des murs
- ...

Dislocation et désolidarisation des murs



Essai sur table vibrante

[film table vibrante Lisbonne](#)



**Maçonnerie non chaînée
séisme de Kobé, 1995**

Diapositive 9

b1

bruno; 22/01/2009



Algérie 2003



**Séisme de Spitak
Arménie 1988**

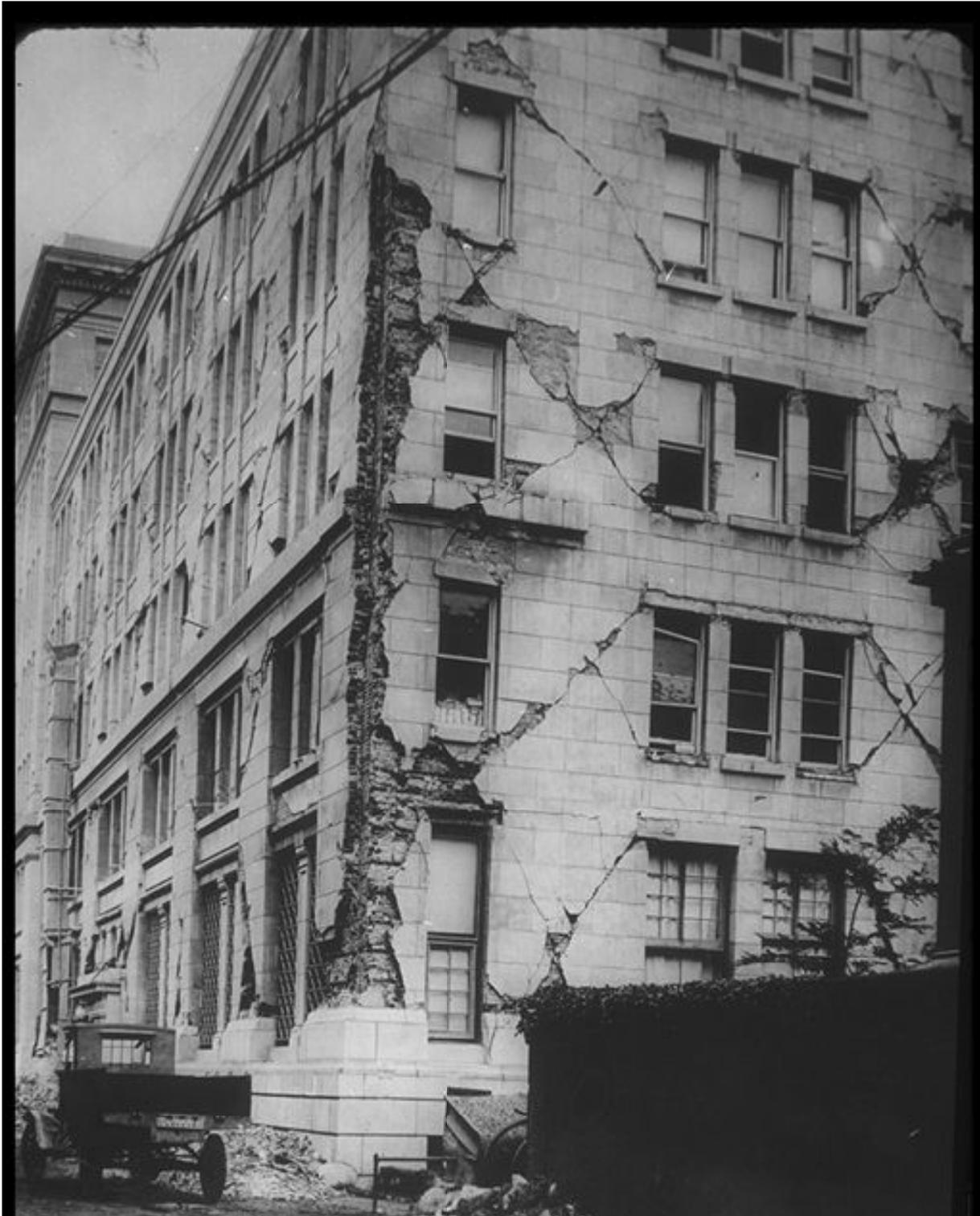


**Séisme de San Giuliano
Italie 2002**



Fissuration en croix des trumeaux

Tokyo 1923 / fissures en croix des trumeaux

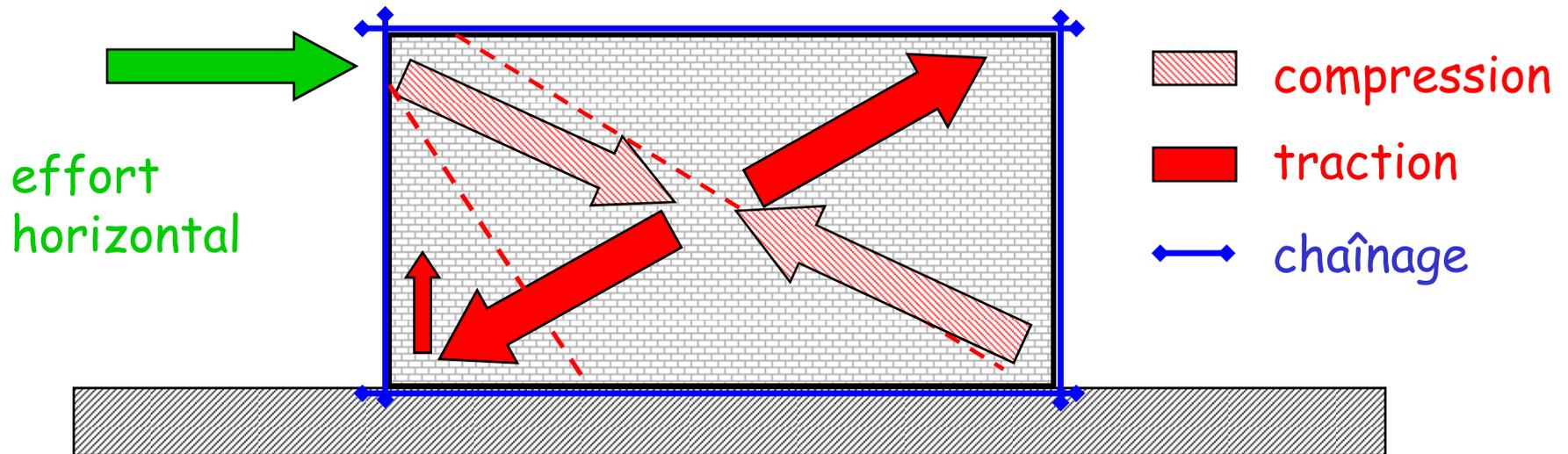




Guadeloupe 2004

Effet des oscillations horizontales sur un mur

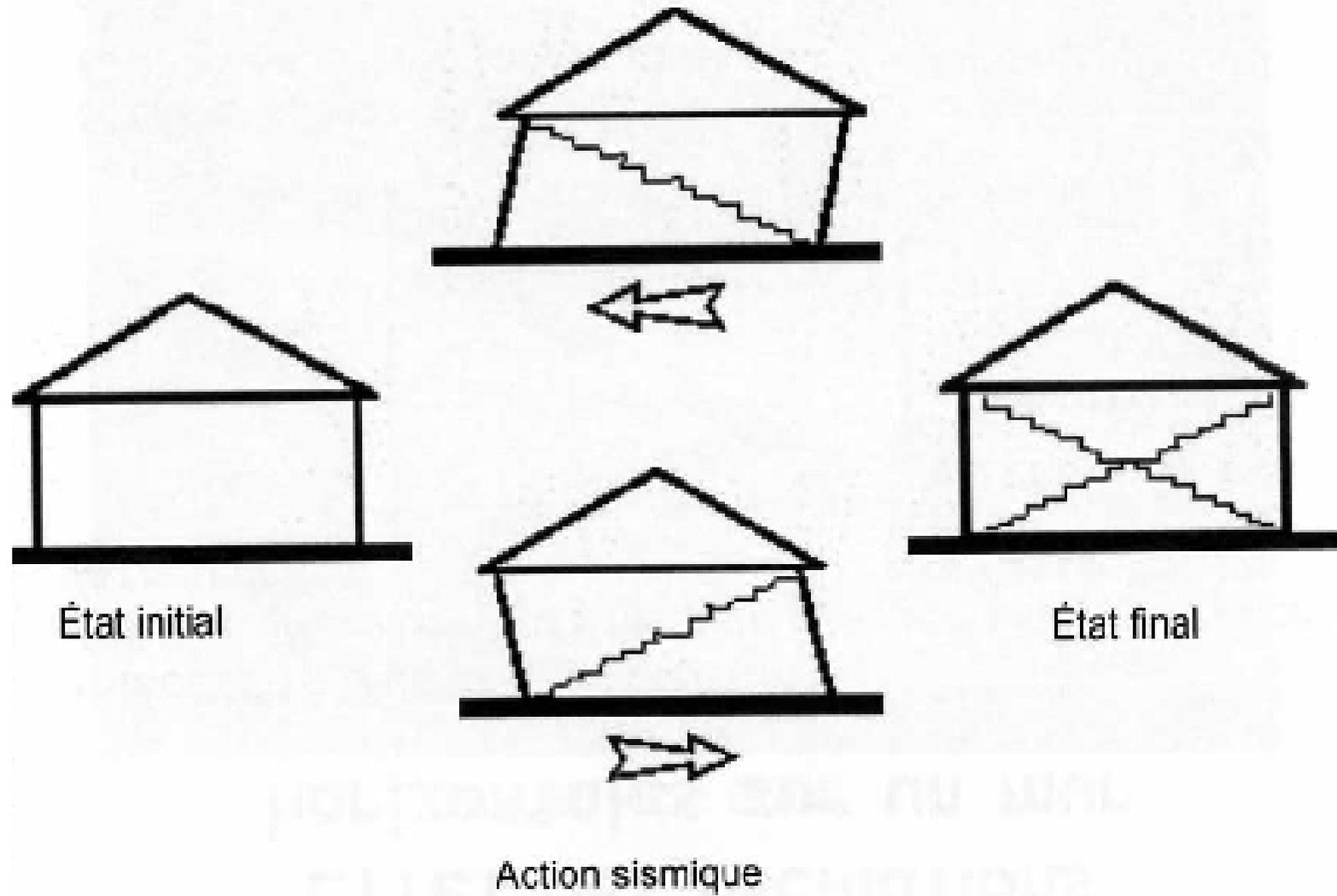
- Nécessité d'un confinement
(même si un élément modulaire peut avoir une bonne résistance à la traction)



Si pas de résistance à la traction, bielle de compression non équilibrée = dislocation du panneau

Besoin d'un dispositif pour contraindre la maçonnerie dans les 2 sens et opposer une résistance à la traction = chaînage

Comportement sous séisme



Points abordés

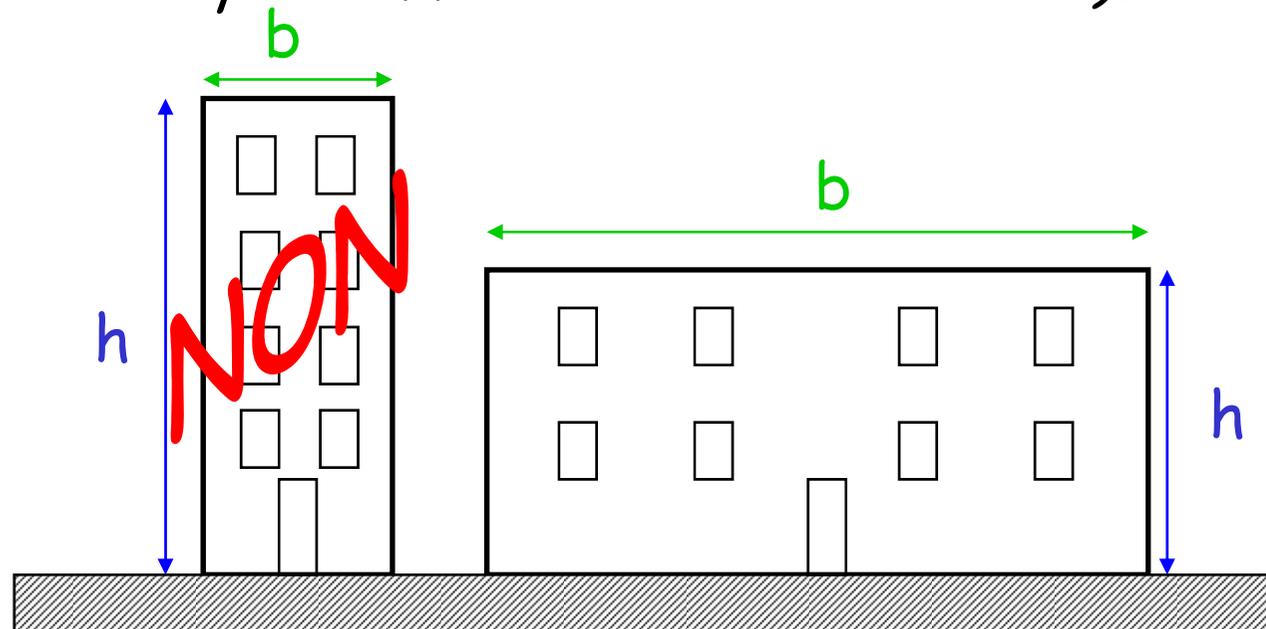
1. Comportement des maçonneries sous séisme
2. Conception des constructions en maçonnerie
3. Dispositions constructives réglementaires

Quelques regles de bon sens

- Des conceptions architecturales + ou - favorables à un bon comportement sous séisme (*forme, élancement,...*)

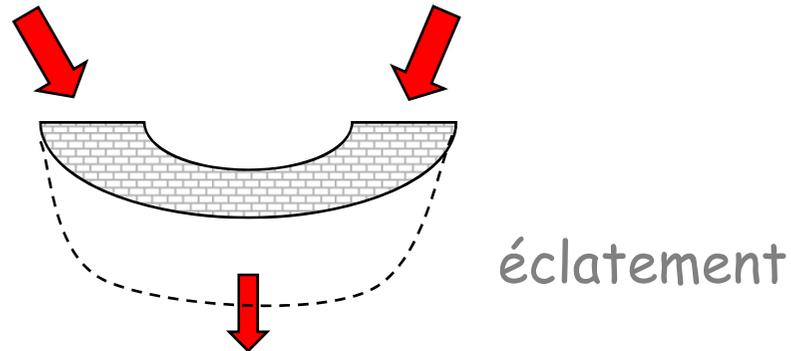
- Hauteur des bâtiments limitée
(*R+3 max / maçonnerie chaînée; R + 0 / terre crue*)

- Élancement limité
(*préférer b et h peu différents et éviter $h > b$).*)

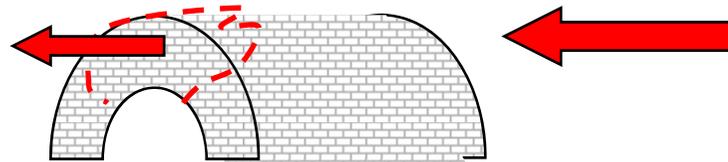


Quelques regles de bon sens

- Éviter les murs courbes en maçonnerie



- Éviter les voûtes en berceau



Risque de chute de la partie avant de la voûte car bord libre



Endommagement d'une maçonnerie courbe

Quelques règles de bon sens

- Densité suffisante des murs

*(orientation des murs dans les deux directions principales,
+ nombre de murs + la capacité de résistance)*

Points abordés

1. Comportement des maçonneries sous séisme
2. Conception des constructions en maçonnerie
3. Dispositions constructives réglementaires

3.1 Principes généraux

Un cadre technique pour la maçonnerie en zone sismique

- Objectif : pallier les points faibles de la maçonnerie sous séismes

- Normes techniques :

- ✓ Règles PS 92

- ✓ Règles PS-MI 89-92

- Zones de sismicité Ia, Ib et II

- ✓ CP-MI Antilles (édition 2004)

- Zone de sismicité III

- ✓ EC8 Partie 1

- Règles particulières aux bâtiments en maçonnerie
 - Règles pour les bâtiments simples en maçonnerie

Matériaux et systèmes constructifs / domaine réglementaire

- Pierres-moellons
 - Briques cuites ou crues
 - Agglos de béton
 - Blocs de béton cellulaire
- } 90 % des règles

• Trois systèmes constructifs envisagés:

✓ Maçonneries chaînées

✓ Maçonneries armées

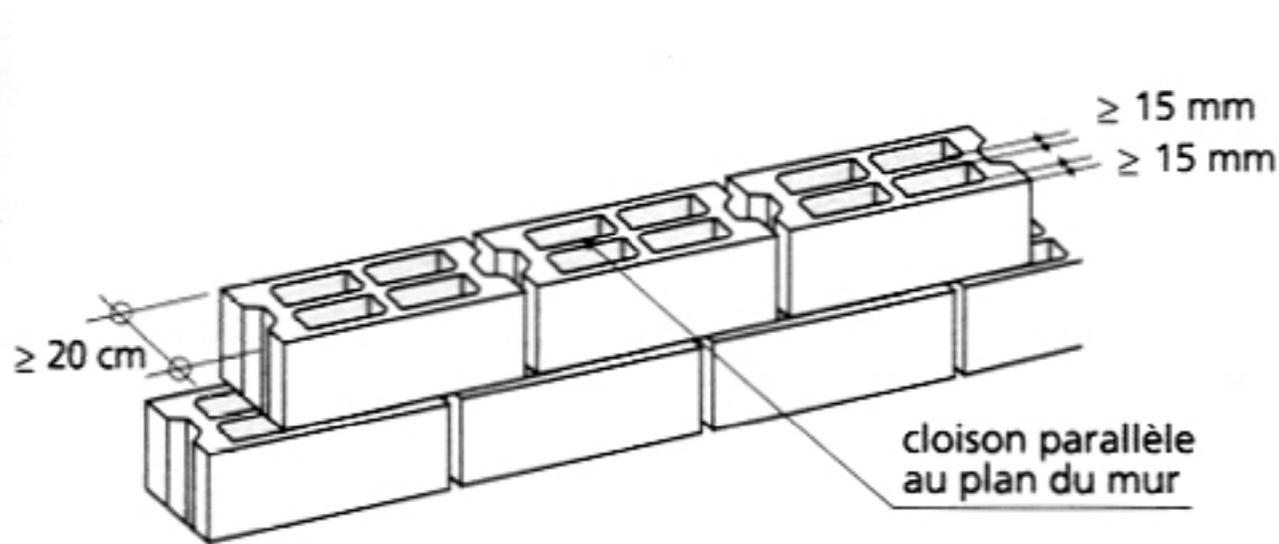
✓ Ossature en béton armé ou précontraint avec remplissage en maçonnerie.

Épaisseur minimales brutes des murs en maçonnerie

Règles PS	Éléments pleins	Éléments creux
PS-MI (Zones Ia, Ib et II)	10	20
PS 92	15	20
EC 8 (Bâtiments en maçonnerie)	NC	24

Maçonnerie chaînée

- Blocs creux : doivent comporter une paroi intermédiaire parallèle au mur et avoir une épaisseur minimale de 20 cm



- Joints verticaux
 - tous remplis (Règles PS 92)
 - non remplis : avis technique CSTB, 2000, définissant la longueur minimale des panneaux de contreventement (3,60 m pour les briques)

Règles PS-MI

Principes et champ d'application

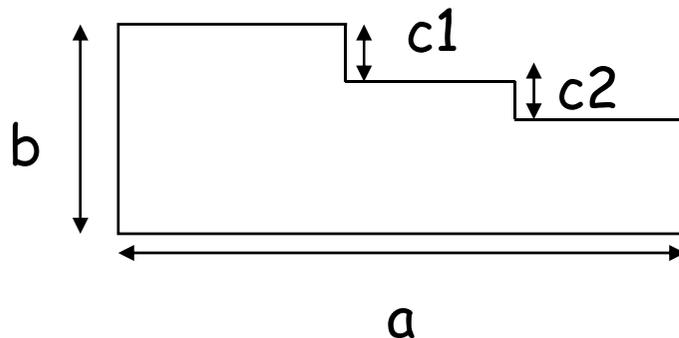
- Règles facultatives à caractère forfaitaire
- Domaine d'application très limité:
 - ✓ ORN de classe B
 - ✓ Zones de sismicité I et II
 - ✓ Hauteur des bâtiments : R+ 1 + comble + sous-sol ; hauteur sous-comble < 6,60 m
 - ✓ Charge d'exploitation < 250 daN/m²
 - ✓ Contrainte admissible du sol > 0,25 Mpa
 - ✓ Pente du terrain < 10 %
 - ✓ Régularité de forme

Règles PS-MI

Considérations générales de forme

- Hauteur de l'ensemble du bâtiment limitée
- Hauteur d'étage limitée car le comportement des panneaux sera en partie conditionné par la hauteur entre 2 diaphragmes
- Critères de régularité

(somme des décrochements / longueur du bâtiment dans la direction concernée < 25 %)



$$C1 + C2 < a/4$$

3.2 Les chaînages

Les chaînages

- **Aucun bord libre en maçonnerie n'est autorisé**
- ⇒ chaînages horizontaux
- ⇒ chaînages verticaux
- ⇒ chaînages de couronnement
- ⇒ encadrement des ouvertures

- **Contreventement : trumeaux bordés de chaînages verticaux, sans aucune ouverture (percements $\varnothing 20$ cm autorisés hors bielles diagonales)**

- **Murs double**
 - ⇒ chaînage de la largeur totale du mur
 - ⇒ justifier les attaches sous action sismique

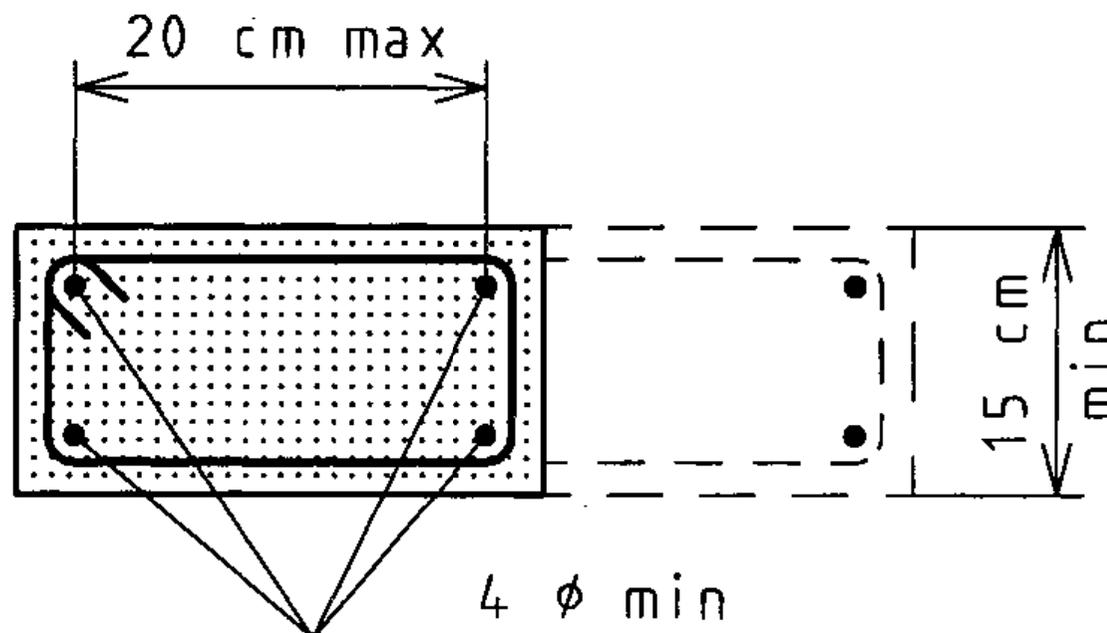
Les chaînages horizontaux

- ⇒ au niveau des fondations (éventuellement)
- ⇒ au niveau de chaque plancher
- ⇒ au niveau haut ;

Ils doivent régner sur toute l'épaisseur du mur mais admis que la dimension minimale des chaînages = $2/3$ épaisseur.

E spacements max. entre barres longitudinales du même nappe horizontales et entre armatures transversales.

Longueurs de recouvrement et d'ancrage min.



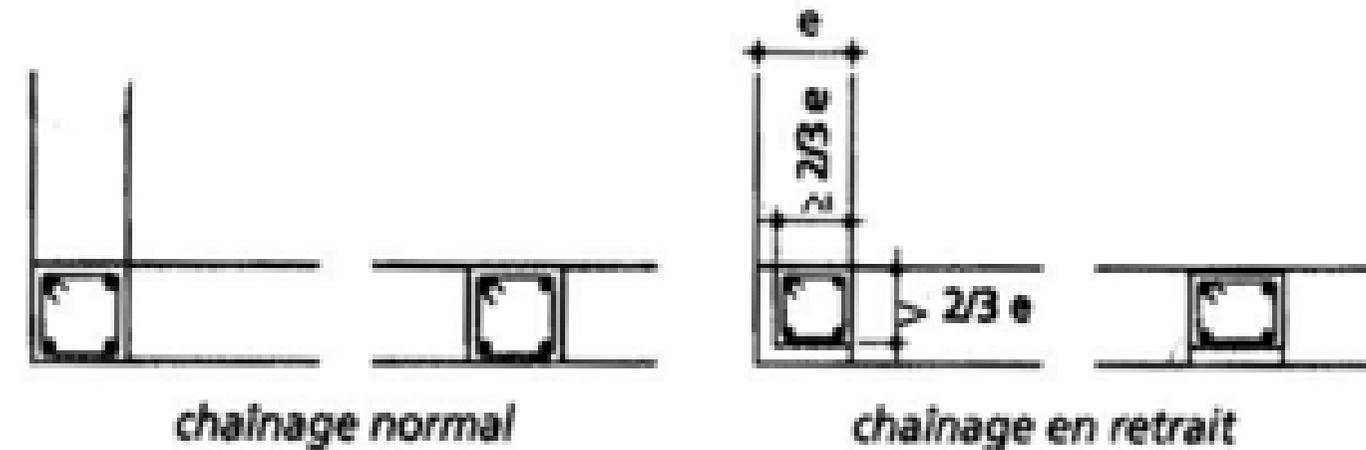
Les chaînages verticaux

- ⇒ à tous les angles saillants et rentrants de la construction
- ⇒ aux jonctions de murs
- ⇒ encadrement des ouvertures de hauteur $\geq 1,80$ m

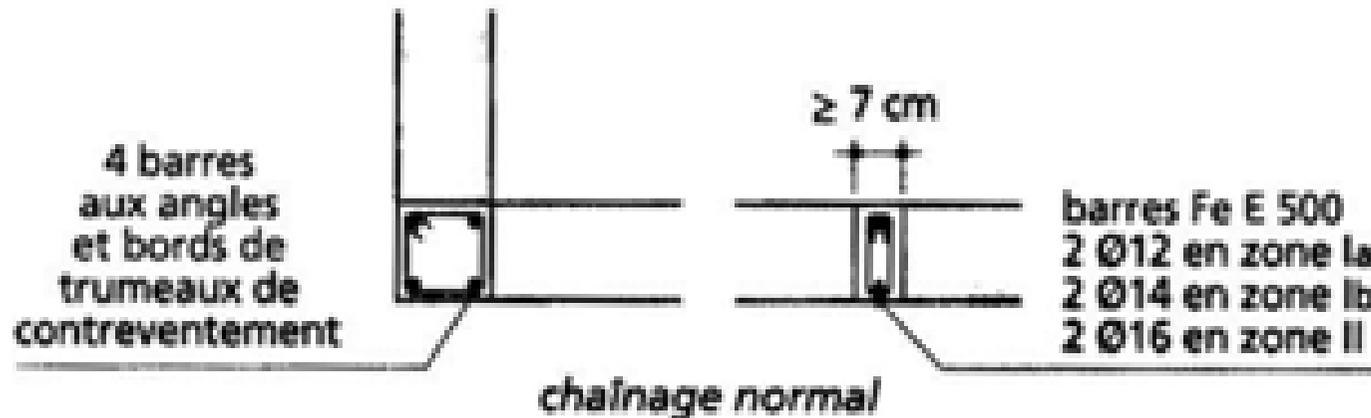
Mêmes règles que les chaînages horizontaux /sections de béton et armatures longitudinales et transversales.

Quelques tolérances sous certaines conditions d'accélération, de hauteur de chaînage et position / section, armatures longitudinales et transversales.

Dispositions constructives parasismiques (Règles PS 92, Règles PS-MI 89/92)

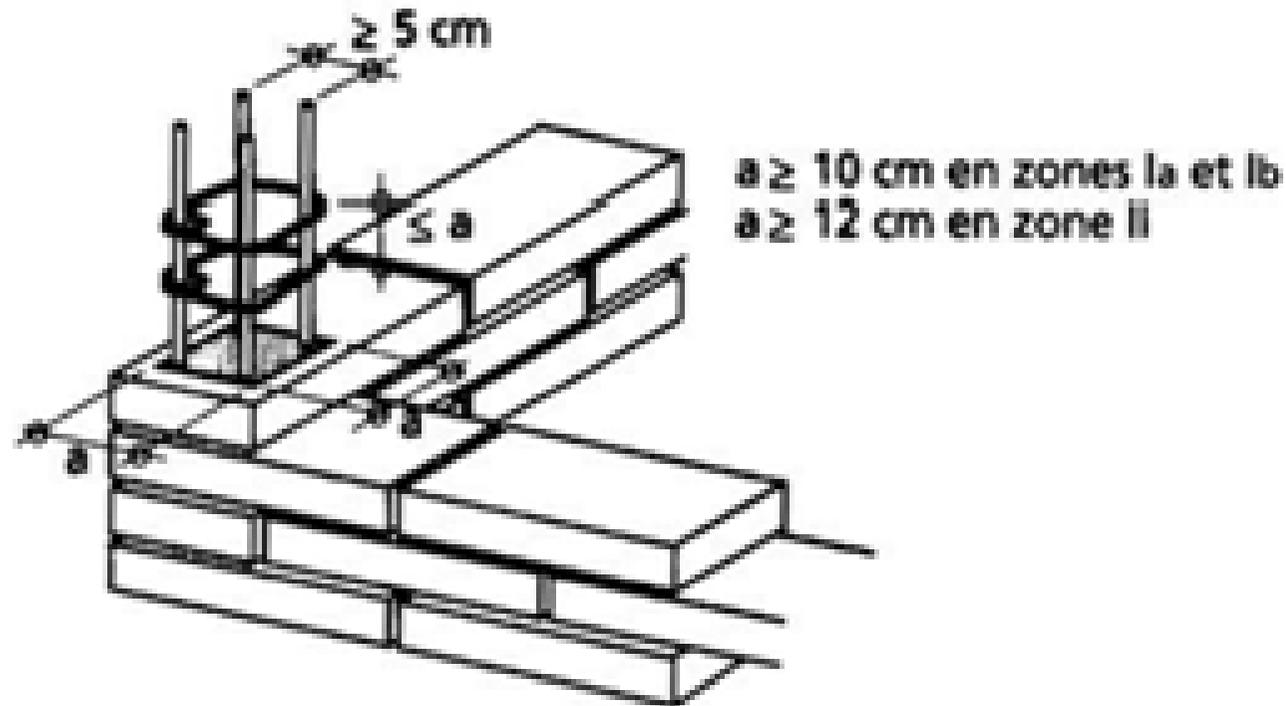


a) cas général



Chaînages verticaux en béton armé

Dispositions constructives parasismiques (Règles PS 92, Règles PS-MI 89/92)

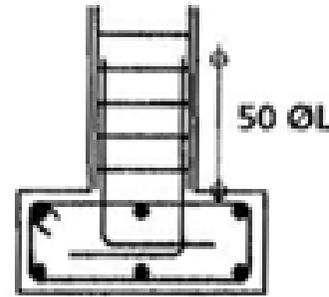
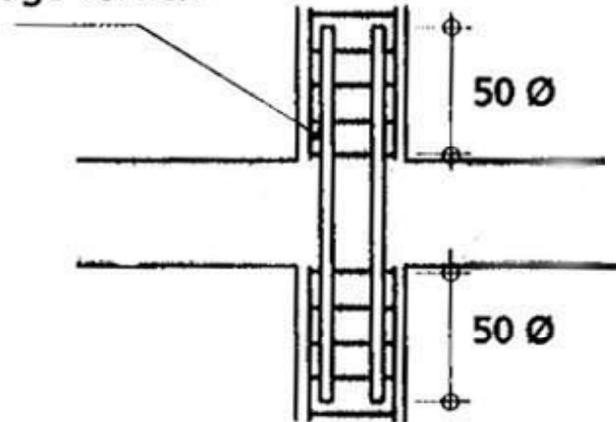
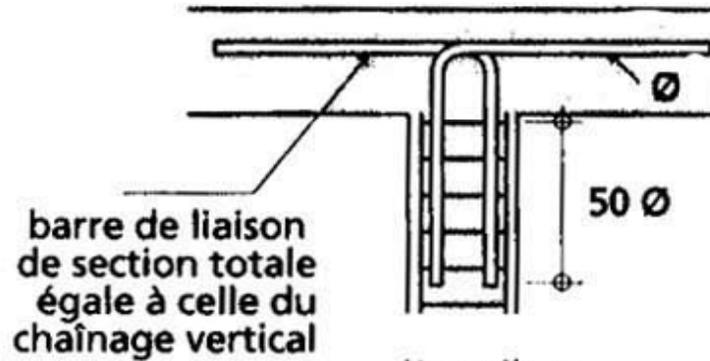
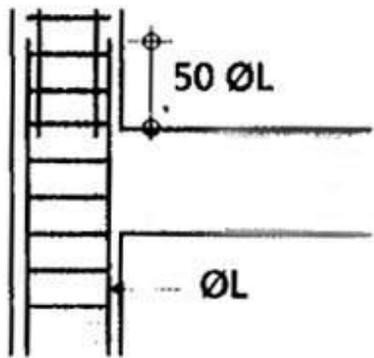
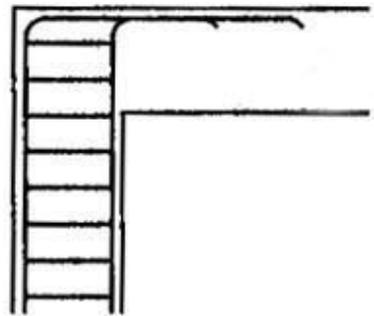


chainage dans élément coffrant

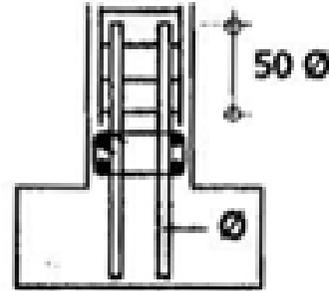
b) chainages de hauteur $\leq 3 \text{ m}$ hors zone de forte sismicité

Chaînages verticaux en béton armé

Dispositions constructives parasismiques (Règles PS 92, Règles PS-MI 89/92)



solution courante

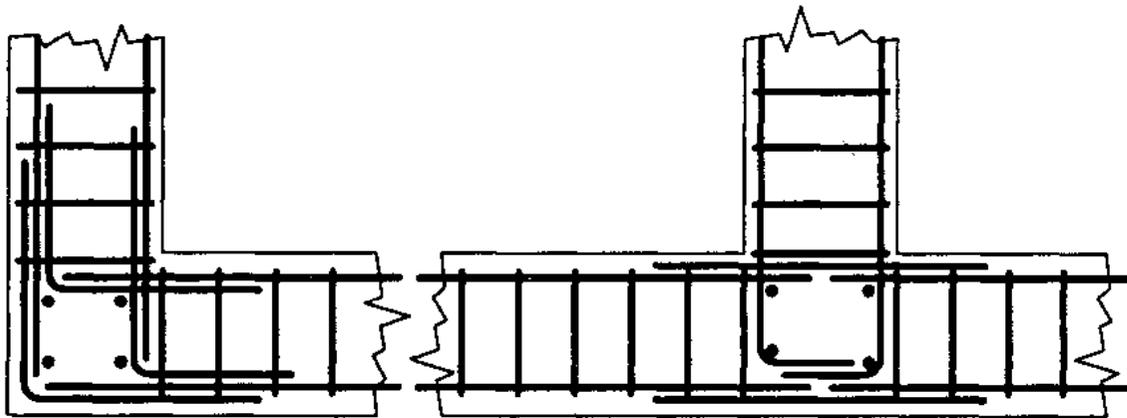
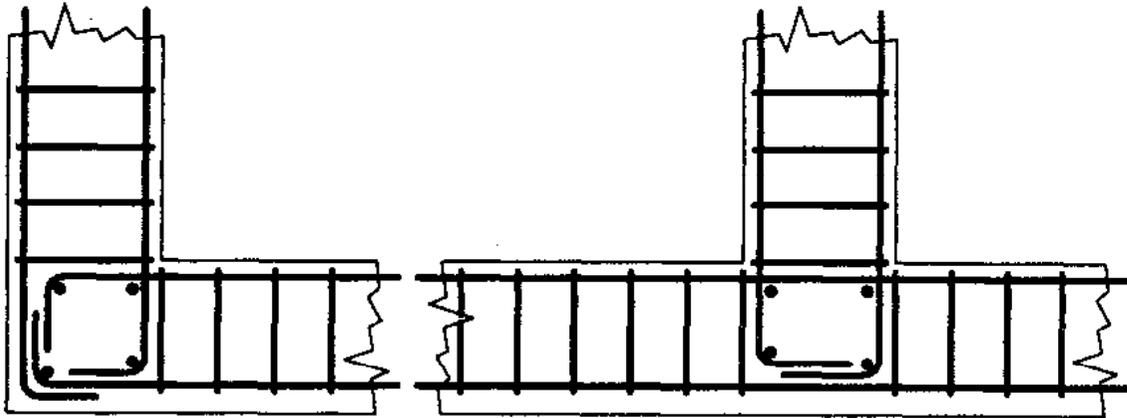


variante

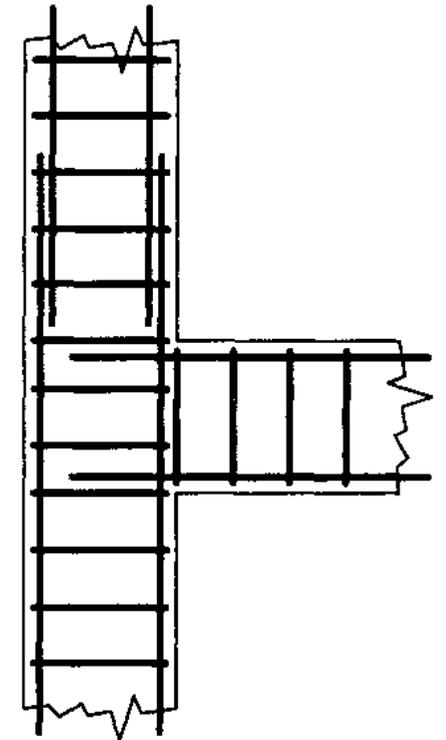
c) ancrage du chaînage vertical

Chaînages verticaux en béton armé

Nœuds des chaînages



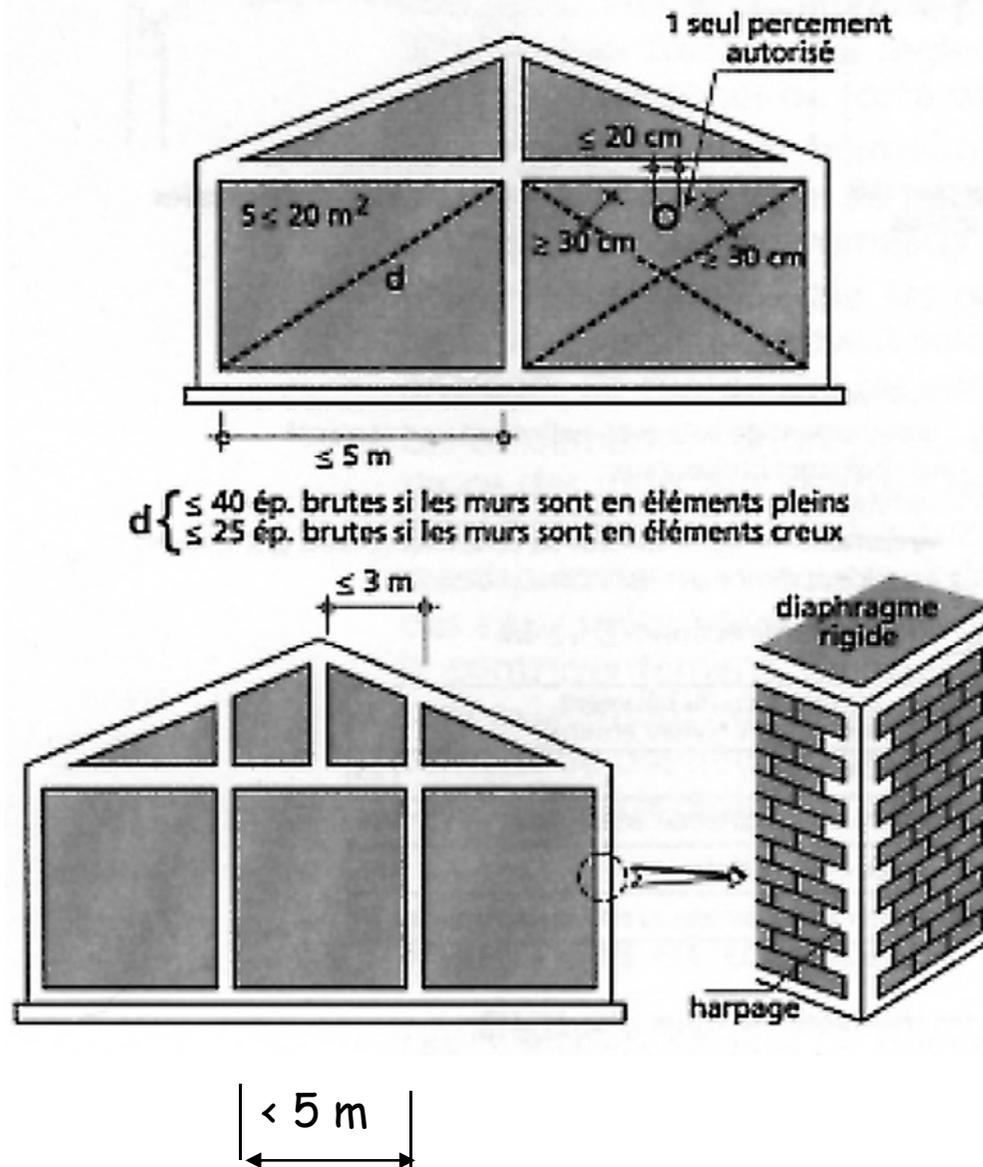
Chaînages horizontaux



Chaînages verticaux

La continuité et le recouvrement des armatures des divers chaînages concourant en un même nœud doivent être assurés dans les trois directions

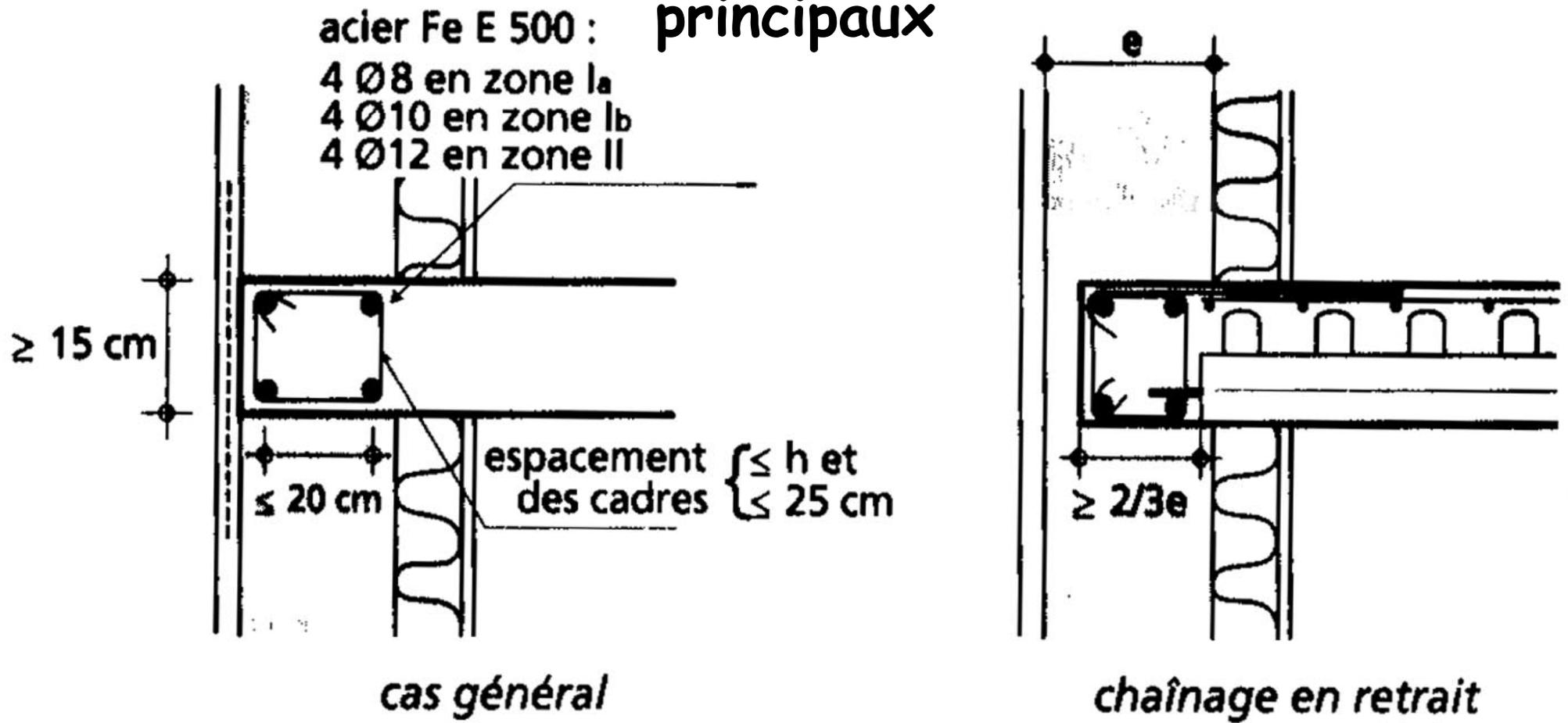
Dispositions constructives parasismiques (Règles PS 92, Règles PS-MI 89/92)



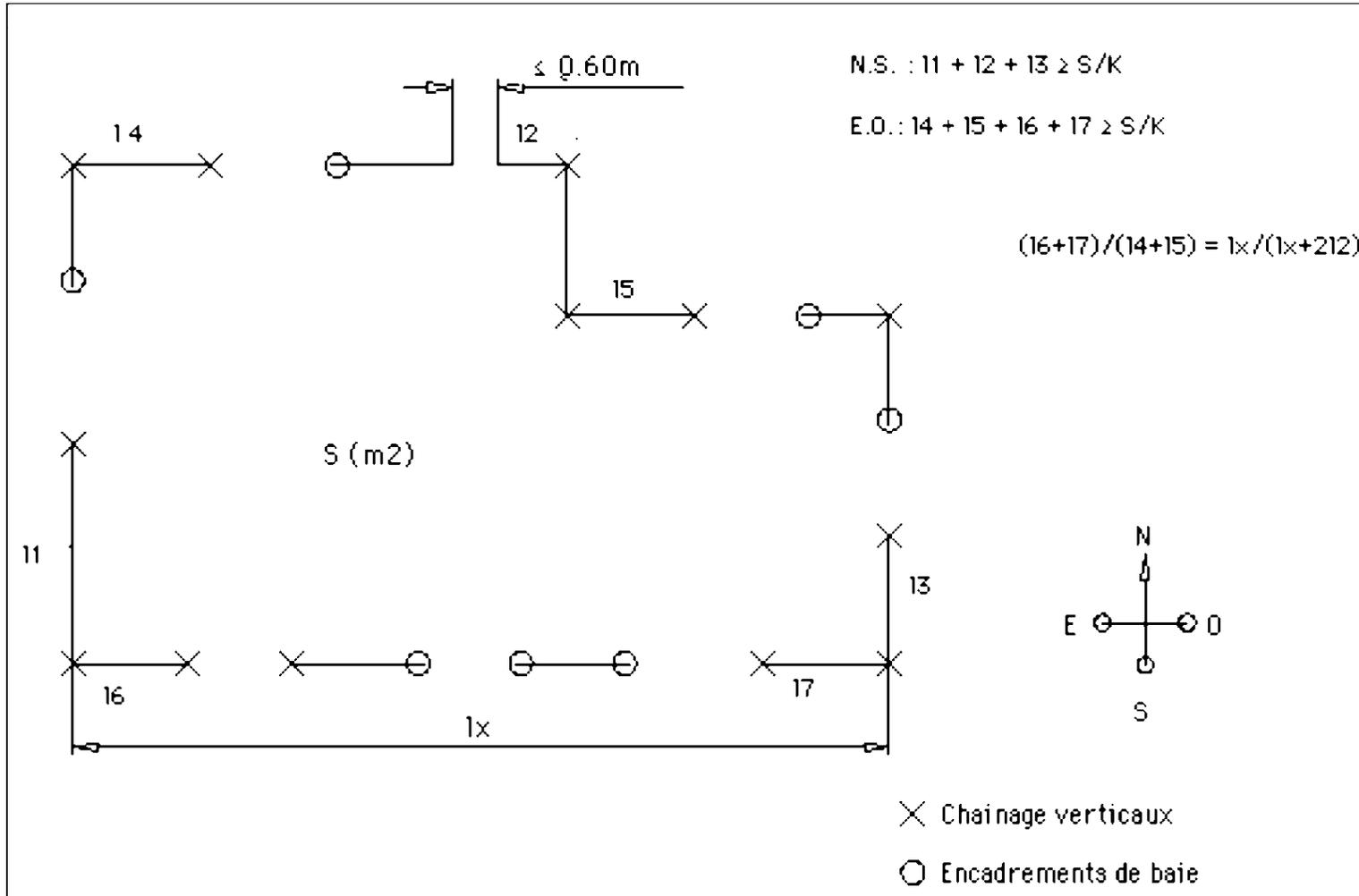
Chaînages horizontaux et verticaux en béton armé₃₉

Dispositions constructives parasismiques (Règles PS 92, Règles PS-MI 89/92)

Eléments structuraux principaux



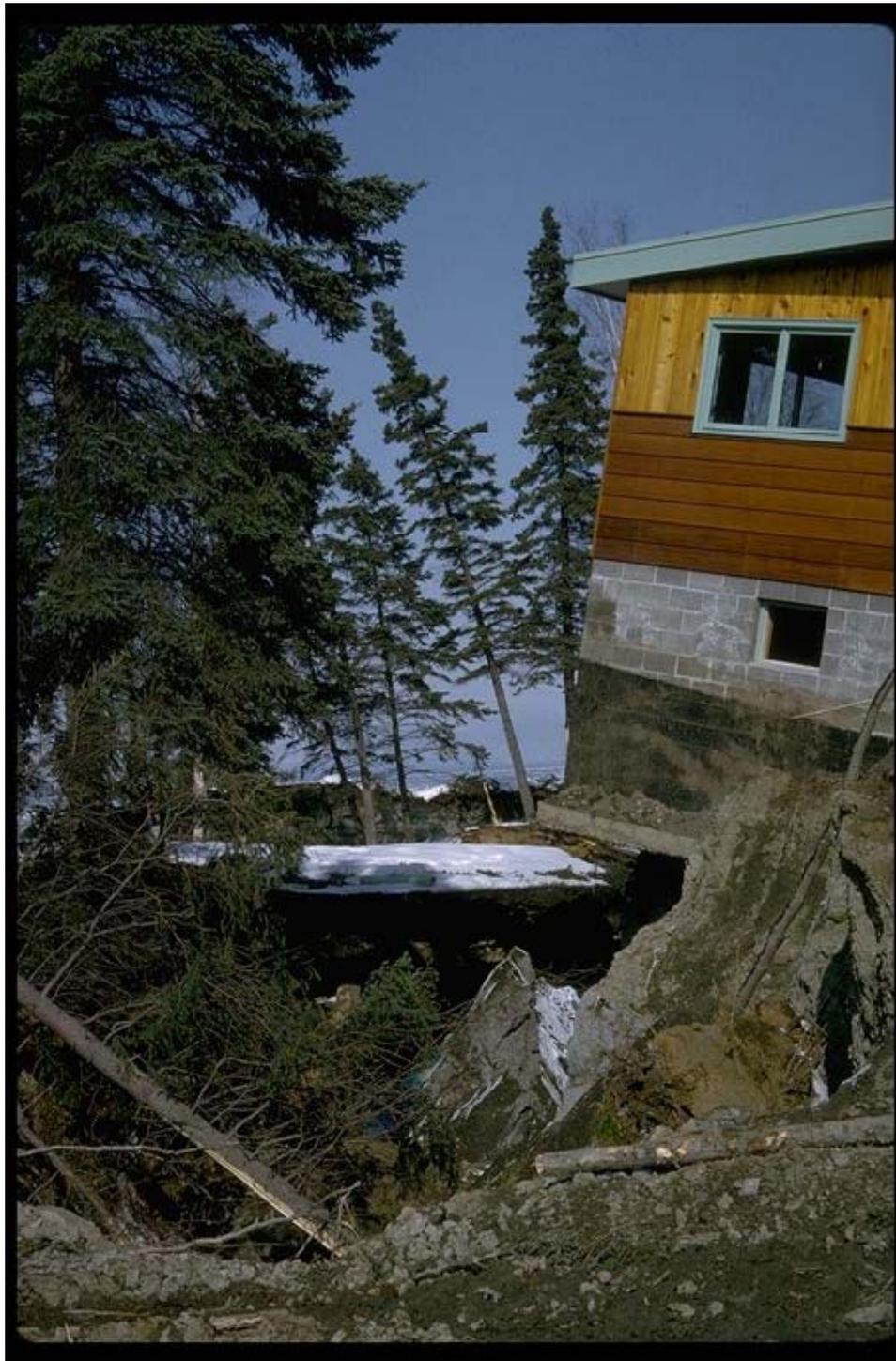
Dispositions constructives parasismiques (spécificités Règles PS-MI 89/92)



La longueur totale des trumeaux dans une direction, exprimée en mètres, ne doit pas être inférieure au quotient de la surface S totale construite au sol, en mètres carrés, par un coefficient k donné



Construction parasismique en Martinique, zone 3



Anchorage / maçonnerie armée



Dominique 2004



Absence de chaînages verticaux séisme du Chili, 1960

Exécution des chaînages



Sans commentaires

Exécution des chaînages



Mise en place des encadrements

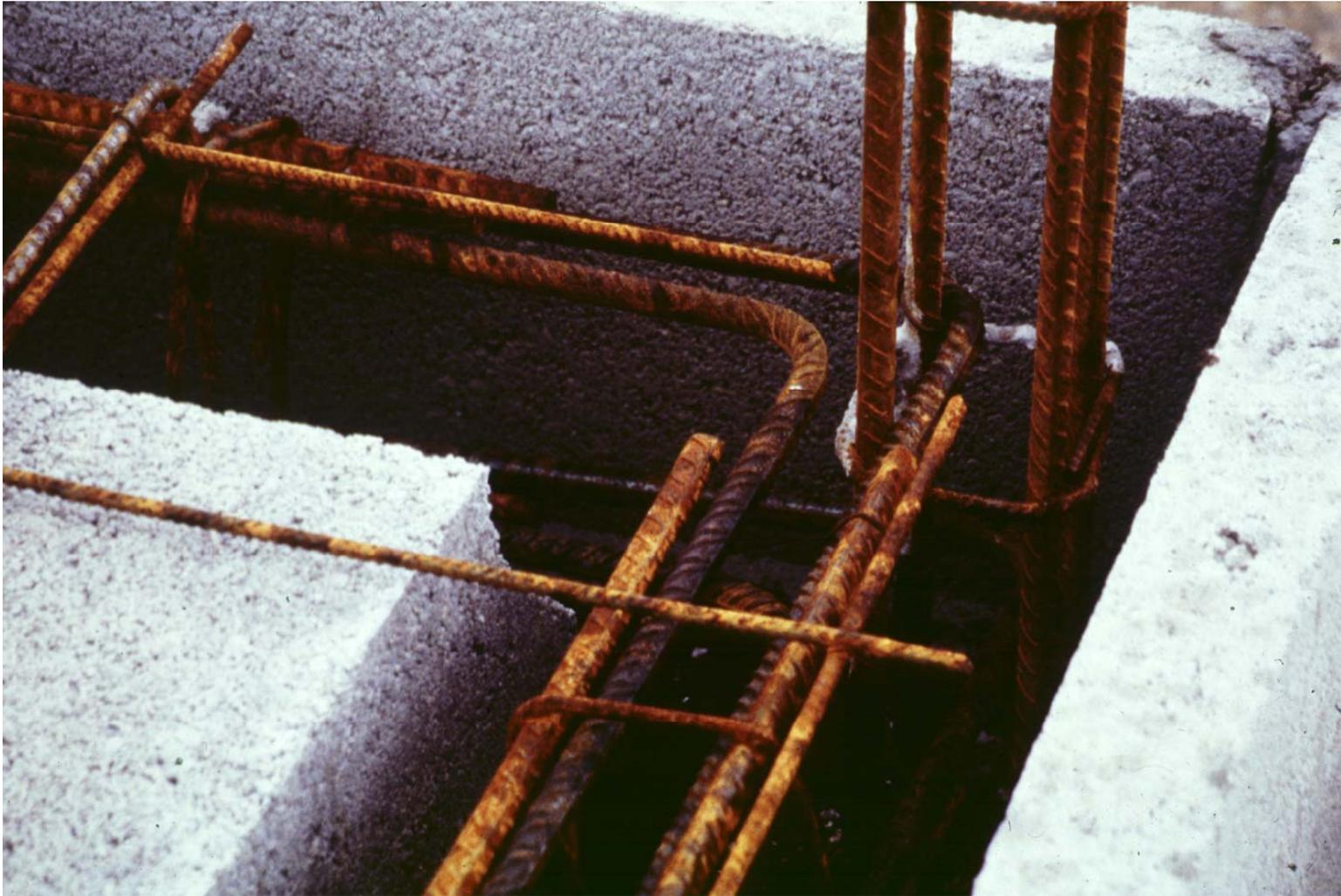


Trou de visite

Mise en place incorrecte des chaînages



Mise en place incorrecte des chaînages



Armature réglementaire des chaînages

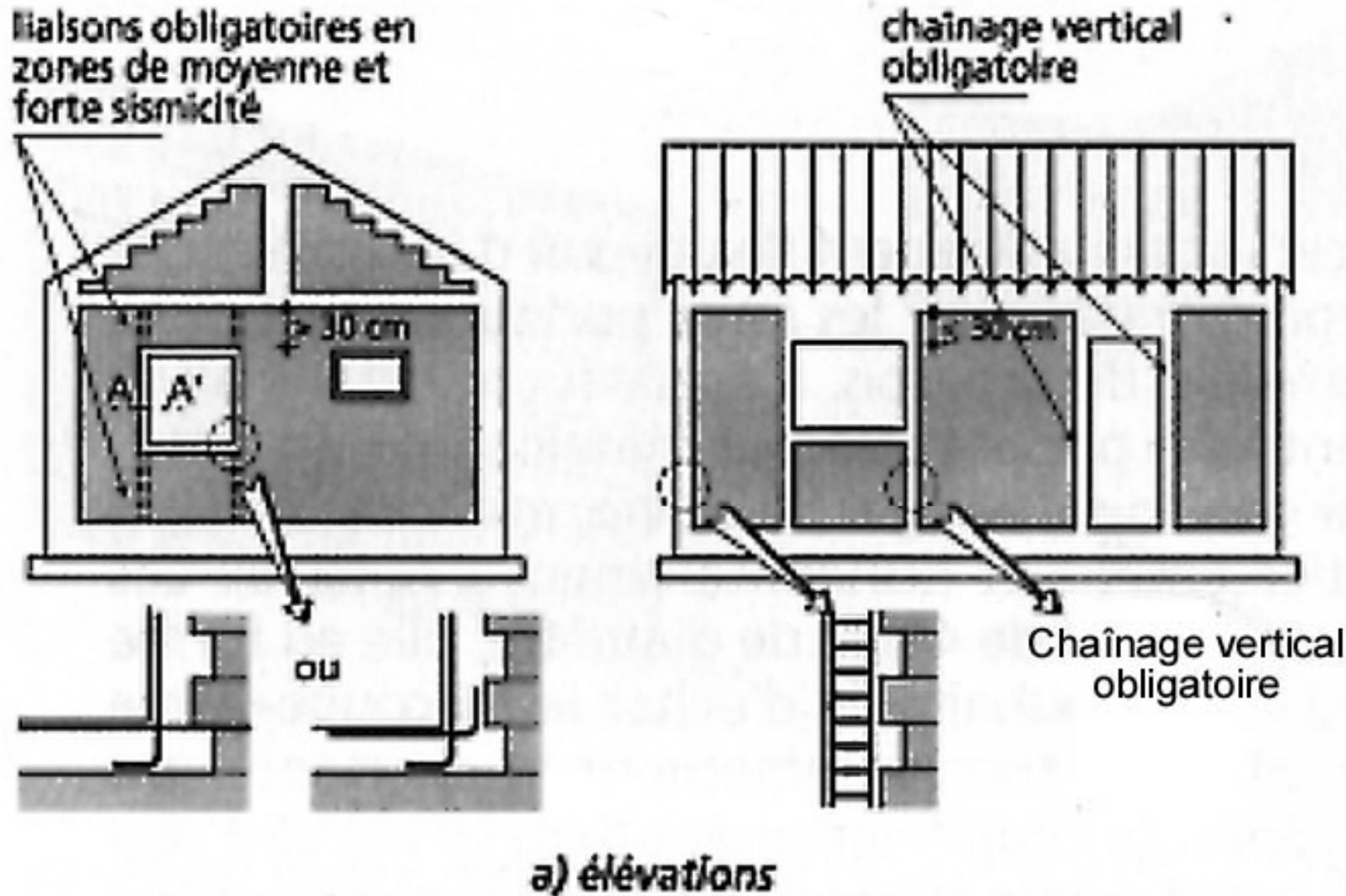




Tangshan / mur composite en briques et adobe

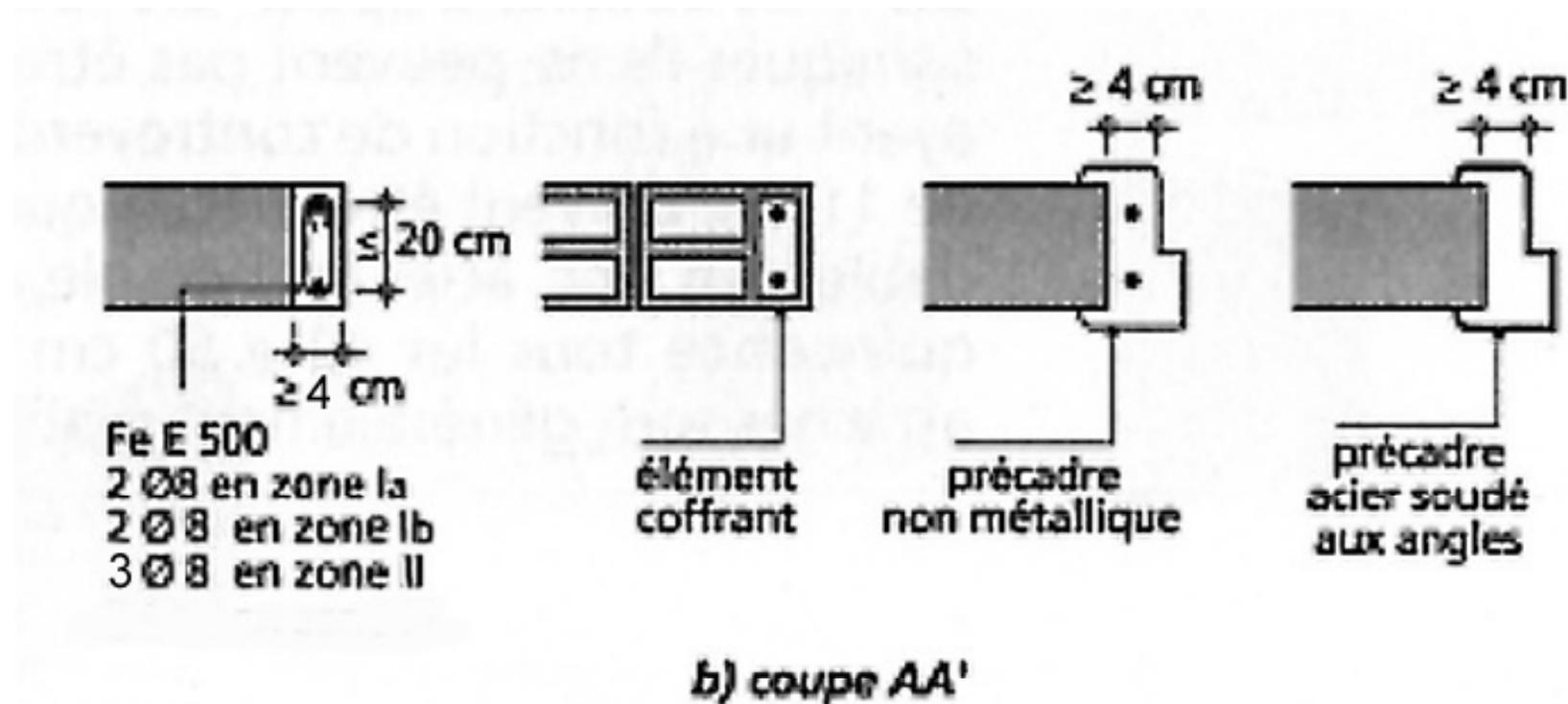
3.3 Les encadrements d'ouvertures

Dispositions constructives parasismiques pour l'encadrement des baies (Règles PS-MI 89/92)



Obligation d'encadrement : dimension > 60 cm

Dispositions constructives parasismiques pour l'encadrement des baies (Règles PS-MI 89/92)



Encadrement des ouvertures (Règles PS 92)

Catégorie G : une dimension $> 2,50$ m

- encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires

Catégorie M : une dimension entre $1,50$ et $2,50$ m

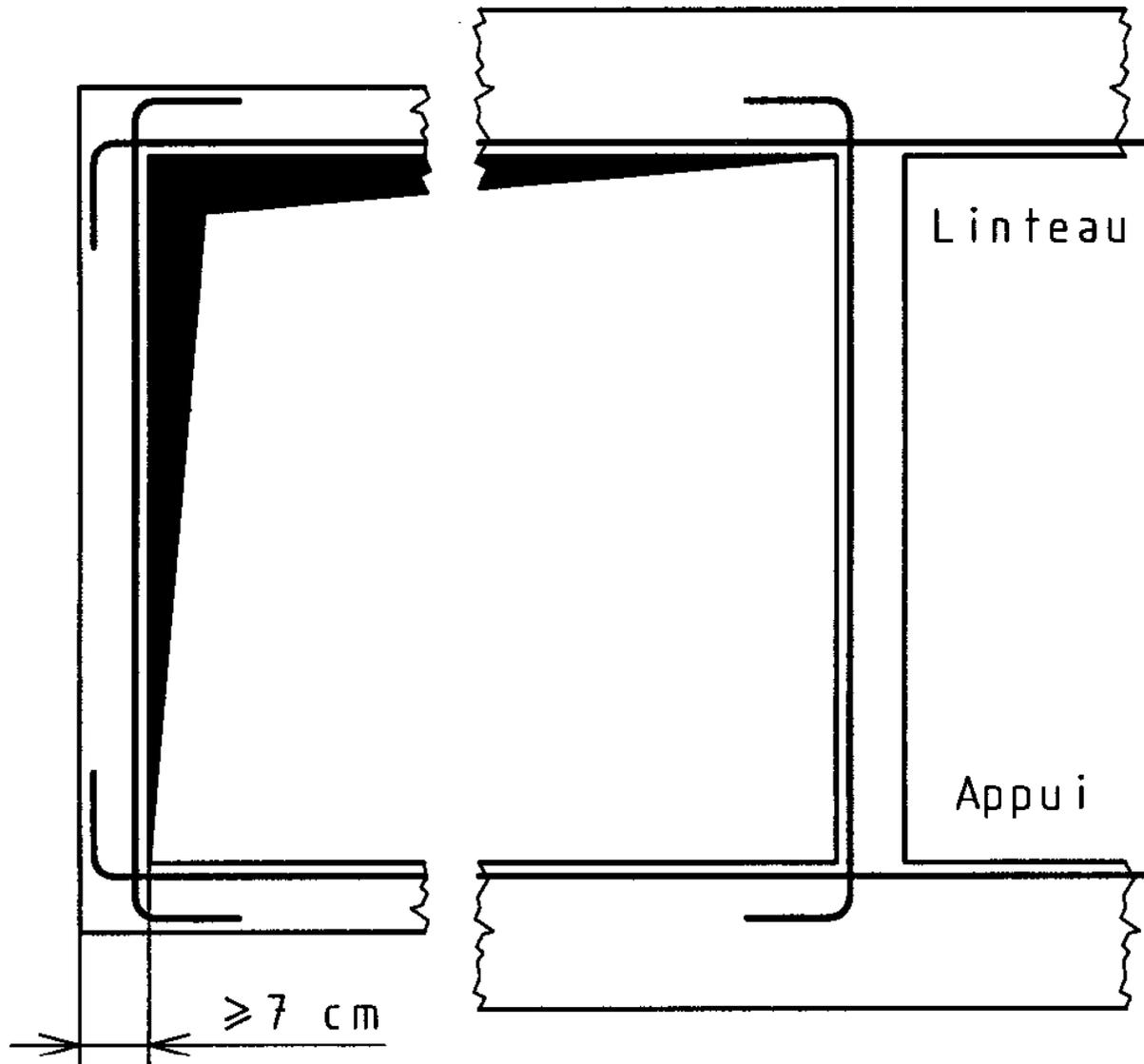
- $a_N \geq 3,5 \text{ m/s}^2$: encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires
- $2,5 \leq a_N \leq 3,5 \text{ m/s}^2$: idem, sans liaisons si aucune dimension du panneau n'excède $3,20$ m

Catégorie P : autres baies

- $a_N \geq 3,5 \text{ m/s}^2$: encadrement obligatoire
- $2,5 \leq a_N \leq 3,5 \text{ m/s}^2$: idem sauf si aucune dimension du panneau n'excède $3,20$ m

Nota : aucune mesure pour $a < 2,5 \text{ m/s}^2$ (zones Ia, Ib), catégories M et P, ce qui est contradictoire avec l'interdiction de bords libres en maçonnerie

Encadrement de baies et ouvertures



Si pas bordées de chaînage
Encadrement en BA ou en
métal traité aux angles
comme un système
mécaniquement continu et
relié aux chaînages selon les
catégories d'ouvertures



Maçonnerie sans chaînages verticaux ni encadrements d'ouvertures, séisme d'Alaska 1964

3.4 Calcul des éléments structuraux

Calcul des maçonneries chaînées (PS 92)

- ↪ Les panneaux sont assimilés à un système triangulé avec des bielles de compression
- ↪ Si la pente des bielles est comprise entre 1/2 et 2, pas de justification de non-glissement au droit des joints
- ↪ La largeur des bielles $w = \min (d/6 ; 4e)$ où :
d = diagonale du panneau
e = épaisseur brute de la maçonnerie
- ↪ La contrainte de compression
 $\sigma_c < \text{résistance caractéristique} / \gamma_m$
- ↪ Les armatures des chaînages sont calculées suivant les règles du béton armé

Coefficients de comportement (éléments porteurs)

	Bât. réguliers	Bâtiments à régularité moyenne	Bâtiments irréguliers
Maçonnerie chaînée	2,5	2,125	1,75
Maçonnerie chaînée et armée	3	2,55	2,1

Éléments structuraux secondaires

- ⇒ peuvent comporter des ouvertures (encadrées)
- ⇒ distance entre deux chaînages parallèles ≤ 5 m

Merci de votre attention