

Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

e-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Chap. 18

Prescriptions de dimensionnement et dispositions constructives selon les RPA (RPA 99 Version 2003)

1. Introduction

- ✓ **Prescriptions complémentaires et éléments non structuraux**
- ✓ **Prescriptions et indications nécessaires au dimensionnement des structures en BA coulé en place ainsi que les dispositions constructives.**
- ✓ **Conception et dimensionnement ainsi que l'exécution des ossatures métalliques**
- ✓ **Conception et dimensionnement des constructions en maçonnerie porteuse chaînée.**
- ✓ **Conception et dimensionnement des fondations et murs de soutènement**

2. Prescriptions complémentaires et éléments non structuraux

i. Prescriptions complémentaires

- ✓ Les éléments ne faisant pas partie du système de contreventement doivent être vérifiés pour supporter les charges verticale et les moments résultants dus à « R » fois les déplacements engendrés par les foers latérales.
- ✓ En cas de présence d'éléments rigides adjacents, il est toléré d'enfermer les ossatures 3D dans ces éléments rigides si l'influence est négligée
- ✓ Les diaphragmes ou contreventements horizontaux des planchers sont calculés pour résister aux forces

$$F_{pk} = \frac{F_t + \sum_{i=k}^n F_i}{\sum_{i=k}^n W_i} W_{pk}$$

La force sismique exercée sur le diaphragme sera bornée par

$$0,8 A W_{pk} \leq F_{pk} \leq 1,60 A W_{pk}$$

Les diaphragmes supportant des murs de béton ou en maçonnerie doivent être chaînés transversalement pour relier les chainages de rive et assurer la distribution des forces d'ancrage

ii. *Eléments non structuraux*

- ✓ **Eléments n'ayant pas de fonction porteuse ou de contreventement. En maçonnerie (cloisons, murs extérieurs, etc...), balcons,...**
- ✓ **Les dispositions constructives et la prise en compte des forces sismiques agissant de ces éléments sont destinés à limiter le risque d'accidents corporels et les dégâts causés aux équipements et installations.**

Conçus en fonction des exigences de l'ouvrage et réponse aux exigences suivantes



***Ouvrages groupe 1A* : Ne doivent subir aucun dommage ou très peu.**

***Ouvrages Gr 1B et 2* : Peuvent subir quelques dommages non dangereux pour la sauvegarde des vies humaines...**

***Ouvrages Gr 3* : peuvent subir des dommages qui n'ont aucune répercussion sur la sécurité des personnes.**

ii. Eléments non structuraux

Les forces horizontales de calcul « F_p » agissant sur les éléments non structuraux :

$$F_p = 4 A C_p W_p \quad (18.1)$$

- ❖ **A:** Coef d'accélération de zone
- ❖ **C_p :** Facteur de force horizontale entre 0,3 et 0,8 (tableau)
- ❖ **W_p :** poids de l'élément considéré

Partie	Direction de la force	C_p
Eléments en console (parapets, cheminées consoles)	Normale aux surfaces planes. N'importe quelle direction	0,80
Tous les autres murs, cloisons et éléments similaires	Normale aux surfaces planes	0,30
Décorations extérieures et intérieures, garnitures	N'importe quelle direction	0,80
Quand reliés à, faisant partie de, ou logés dans un bâtiment : Apprentis, ancrages et supports pour citernes, étagères de rangement, plafonds suspendus et tout équipement ou machine	N'importe quelle direction	0,30
Attaches pour éléments de structure préfabriquée	N'importe quelle direction	0,30

Eléments extérieurs

Habillages extérieurs en maçonnerie des éléments structuraux sont interdits en zones IIa, IIb et III sauf dispositions particulières.

Les panneaux de murs préfabriqués non porteurs et à faible résistance au cisaillement doivent être calculés pour résister aux forces agissantes « F_p »

Les panneaux en béton liés au moyen d'assemblages et liaisons mécaniques doivent respecter :

Assemblages et joints de panneaux doivent autoriser le plus grand des mouvements engendrés par un déplacement relatif des étages au moins égale à « R » fois le déplacement dû aux forces sismiques

Les assemblages permettant le mouvement dans le plan doivent être des assemblages coulissants et permettant le mouvement par flexion des pièces métalliques

Prescriptions de dimensionnement et dispositions constructives

Structures

- **Béton armé**
- Acier
- Maçonnerie chaînée
- Fondations et Murs de soutènement

3. Structures en béton armé

Les planchers-dalle et les planchers-champignons sont prohibés en zone sismique

Appliquer les règles CBA, les prescriptions RPA sont additionnelles en zone I à III

Spécifications matériaux ?

Pour les éléments principaux:

Béton: $20 \text{ Mpa} \leq f_{c28} \leq 45 \text{ Mpa}$. Les valeurs du module d'élasticité se conformer au CBA

Aciers : Excepté les armatures transversales, acier en HA avec $f_e \leq 500 \text{ Mpa}$ et l'allongement total relatif $\geq 5\%$

Coefficients de sécurité partiels des éléments ?

On vérifie Sollicitations accidentelles agissantes $\leq$ sollicitations résistantes en prenant en compte les coefficients de sécurité partiels :

Béton: $\gamma_b = 1,15$

Aciers : $\gamma_s = 1,00$

La résistance de calcul du béton : $f_{bu} = 0,85 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$

Spécifications pour les poteaux ?

Il faut

Coffrage

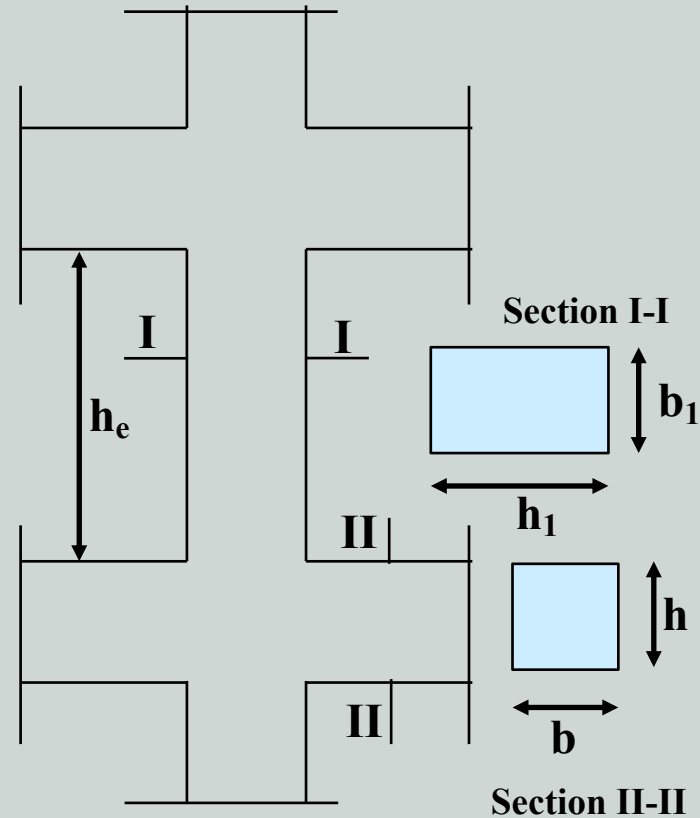
Coffrage des Poteaux

- ❖ $\text{Min } (b_1, h_1) \geq 25 \text{ cm}$ en zones I et IIa.
- ❖ $\text{Min } (b_1, h_1) \geq 30 \text{ cm}$ en zones IIb et III.
- ❖ $\text{Min } (b_1, h_1) \geq h_e/20$
- ❖ $1/4 < b_1/h_1 < 4$

Coffrage des Poteaux circulaires

- ❖ $D \geq 25 \text{ cm}$ en zone I.
- ❖ $D \geq 30 \text{ cm}$ en zone IIa.
- ❖ $D \geq 35 \text{ cm}$ en zones IIb et III.
- ❖ $D \geq h_e/15$

Poteaux
circulaires



Les poteaux doivent être coulés sur toute la hauteur (h_e) en une seule fois et les dés de calage sont interdits

Il est recommandé de donner aux poteaux d'angle et de rives, des sections comparables à celles des poteaux centraux. Leur conférer une meilleure résistance aux actions sismiques

Il faut

Ferrailage

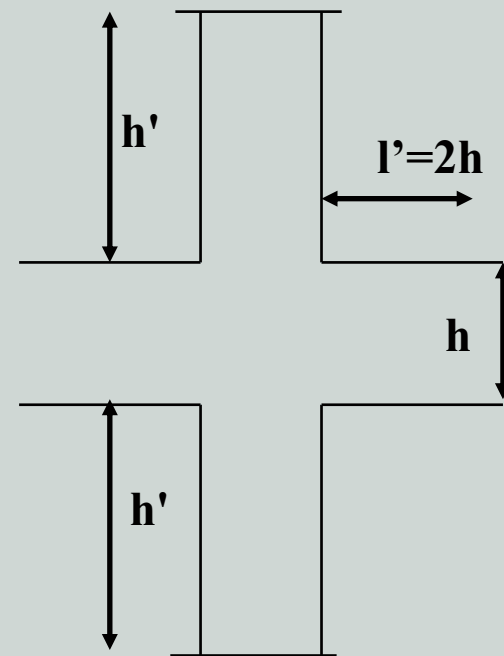
Armatures longitudinales

HA, droites et sans crochets.

% minimal

% maximal

- ❖ 0,7 % en Zone I 4 % en zone courante
- ❖ 0,8 % en zone IIa 6 % en zone de recouvrement
- ❖ 0,9 % en zones IIb et III
- ❖ Diamètre minimum : 12 mm
- ❖ Longueur minimale des recouvrements :
 - 40 ϕ en zones I et IIa
 - 50 ϕ en zones IIb et III
- ❖ La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser:
 - 25 cm en zones I et IIa
 - 20 cm en zones IIb et III



Zone de recouvrement en dehors des zones nodales

$$h' = \text{Max}(h_e/6; b_1; h_1; 60\text{cm})$$

Il faut

Ferraillage

(18.2)

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho_a V_u}{h_1 f_e}$$

Armatures transversales

V_u : effort tranchant de calcul

h_1 : hauteur totale de la section brute

f_e : Contrainte limite de l'acier d'armature transversale

ρ_a : coefficient correcteur tenant compte du mode fragile de la rupture par effort tranchant.

$\rho_a = 2,50$ si $\lambda_g \geq 5$

$\rho_a = 3,75$ si $\lambda_g < 5$

λ_g : élancement géométrique dans la direction, considérée

t : espacement des armatures transversales

Armatures Transversales

Valeur maximale de l'espacement « t » .

Zone nodale

❖ $t \leq \text{Min}(10\Phi_i; 15 \text{ cm})$ en Zones I et II.

❖ $t \leq 10 \text{ cm}$ en zones IIb et III

❖ Quantité d'armatures transversales minimales A_t/t b_1 en % est:

Si $\lambda_g \geq 5$: 0,30%

Si $\lambda_g \leq 3$: 0,80%

Si $3 < \lambda_g < 5$: interpoler entre les 02 valeurs limites

❖ Avec $\lambda_g = \left(\frac{l_f}{a} \text{ ou } \frac{l_f}{b}\right)$ a,b : section droite du poteau; l_f : long flambement

Zone courante

$t' \leq 15\Phi$ en Zones I et IIa

$t' \leq \text{Min}(b_1/2; h_1/2; 10\Phi_i)$
en zones IIb et III

Les cadres et étriers doivent ménager des cheminées verticales en nombre et diamètre suffisants (Φ cheminées > 12cm) pour permettre une **vibration du béton** sur toute la hauteur du poteau

Pour les poteaux circulaires, il faut utiliser des **cerces droites** individuelles (les **cerces hélicoïdales** continues sont interdites)

Vérifications spécifiques pour les poteaux

Effort normal de compression

Pour éviter ou limiter le risque de rupture fragile

$$v = \frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0,30 \quad (18.3)$$

Sollicitations tangentes

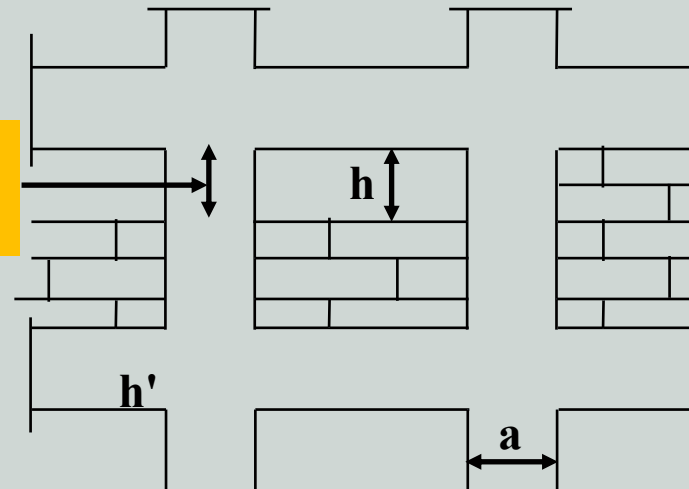
$$\bar{\tau}_{bu} = \rho_d f_{c28} \quad (18.4)$$

$$\begin{aligned} \rho_d &= 0,075 \text{ Si } \lambda_g \geq 5 \\ \rho_d &= 0,04 \text{ Si } \lambda_g < 5 \end{aligned}$$

$\bar{\tau}_{bu}$: Contrainte de cisaillement conventionnelle de calcul dans le béton sous combinaison sismique

Dans le cas de remplissage en maçonnerie pas sur toute la hauteur d'un poteau (présence d'ouverture de vasistas) (**poteau court**), la hauteur de calcul de l'élanement géométrique sera celle de l'ouverture

Poteau court



$$\lambda_g = h/5$$

Spécifications pour les poutres ?

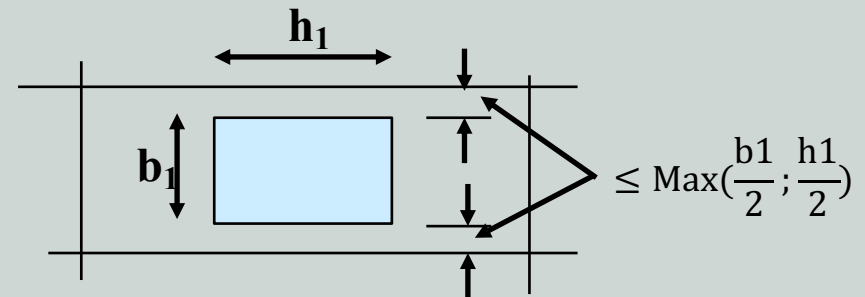
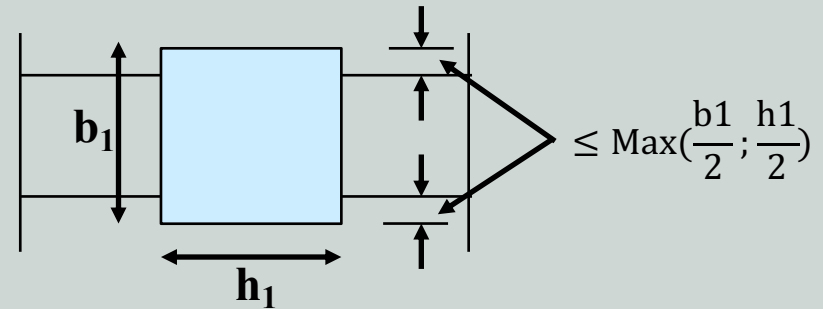
Il faut

Coffrage

Coffrage des Poutres

- ❖ $b \geq 20 \text{ cm}$
- ❖ $h \geq 30 \text{ cm}$
- ❖ $h/b \leq 4$
- ❖ $b_{\max} \leq 1,5 h + b_1$

« h » peut être ramené à 20 cm dans les ouvrages contreventés par voiles





Il faut

Ferrailage

Armatures longitudinales

HA.

% minimal

% maximal

- ❖ **0,5 % en toute section**
- ❖ **4 % en zone courante**
- ❖ **6 % en zone de recouvrement**
- ❖ **Longueur minimale des recouvrements :**
 - 40 ϕ en zones I et IIa**
 - 50 ϕ en zones IIb et III**
- ❖ **L'ancrage des armatures longitudinales supérieures et inférieures dans les poteaux de rive et d'angle avec des crochets de 90° (voir figure)**
- ❖ **Les cadres du nœud en 2U superposés formant un carré ou rectangle.**
- ❖ **Les directions de recouvrement des U doivent être alternées.**
- ❖ **On veille au moins un côté fermé des U soit disposé de sorte à s'opposer à la poussée au vide des crochets droits des Armatures longitudinales des poutres.**
- ❖ **Espacement maximum = 10 cm entre 02 cadres et un minimum de 03 cadres par nœud.**



Il faut

Ferraillage

$$A_t = 0,003 s. b \quad (18.4)$$

Armatures transversales

Armatures Transversales

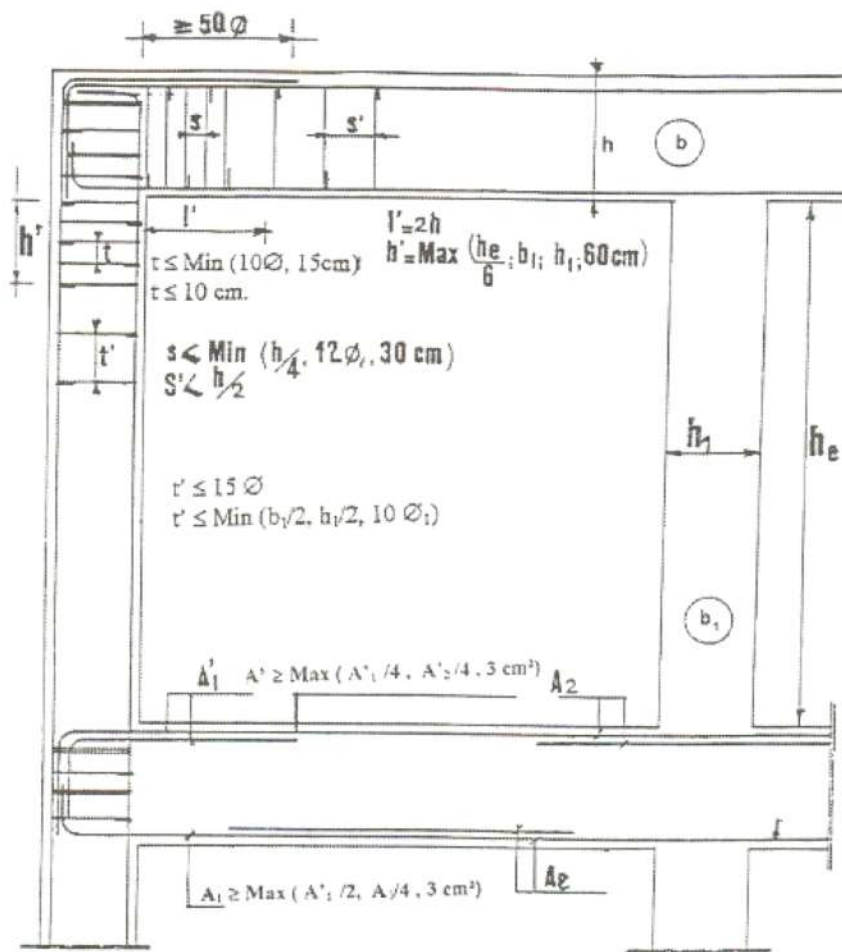
Valeur maximale de l'espacement entre armatures transversales.

- ❖ $\text{Min}(h/4; 12\Phi_1)$ dans la zone nodale et en travée si les armatures comprimées sont nécessaires
- ❖ $s \leq h/2$ en dehors de la zone nodale

- ❖ Diamètre Φ_1 à prendre est le plus petit diamètre utilisé, et dans le cas d'une section en travée avec armatures comprimées, c'est le diamètre le plus petit des aciers comprimés.
- ❖ Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5 cm au plus du nu de l'appui ou de l'encastrement

Il faut

Dispositions
constructives des
portiques



Détail d'un cours d'armatures transversales de la zone nodal

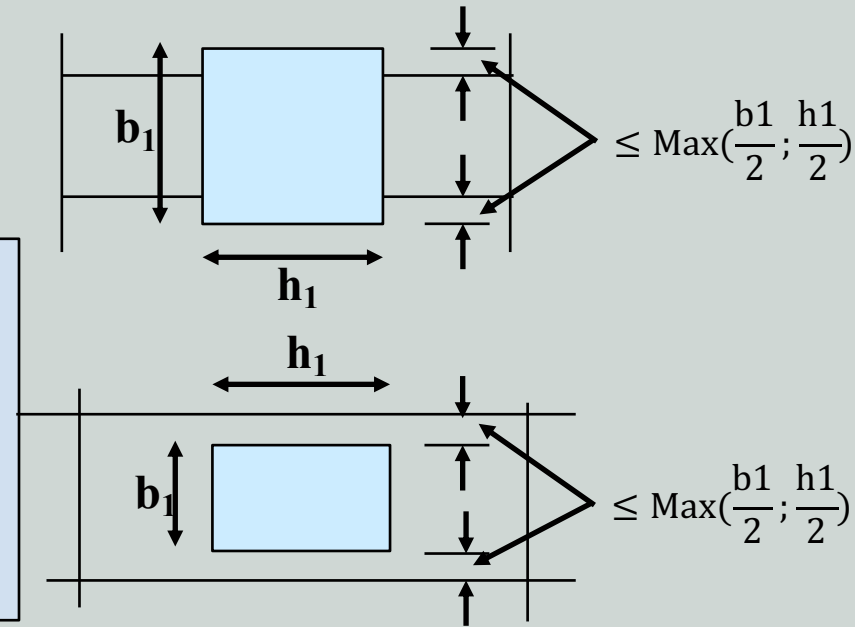


2U superposés (avec alternance dans l'orientation)

Spécifications pour les nœuds poteaux-poutres ?

Il faut

Les dispositions constructives doivent être respectées pour leurs parties communes que sont les nœuds pour assurer un minimum de confinement préservant au maximum l'intégrité de ces derniers et permettre au reste de la structure de déployer ses capacités de dissipation d'énergie

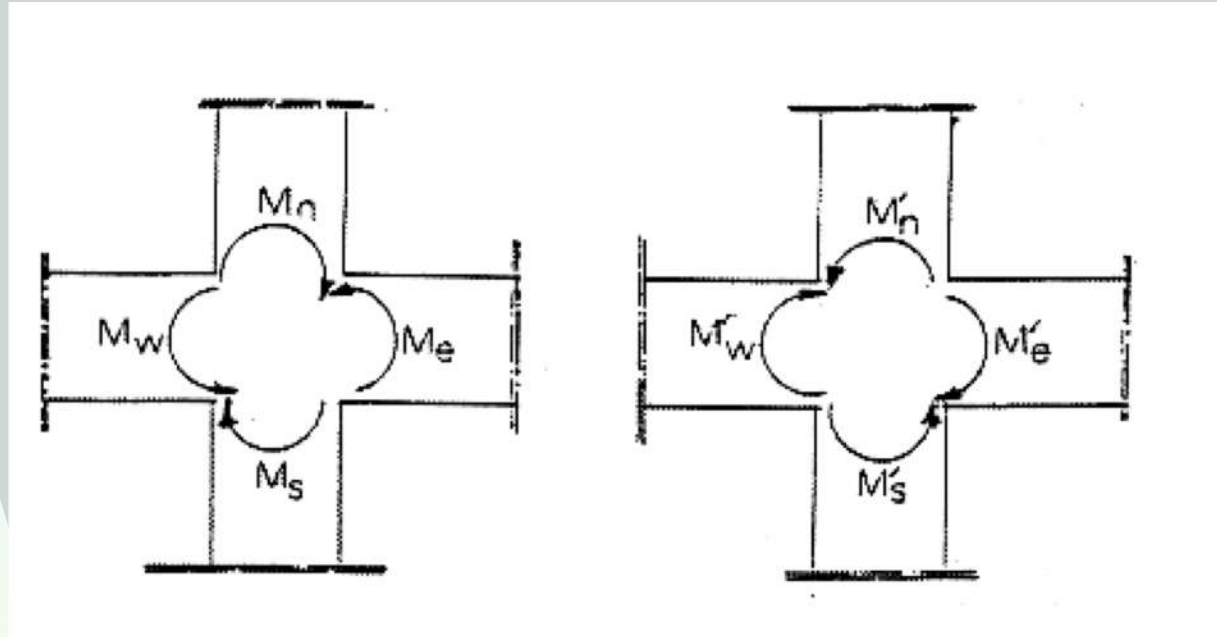


Généralement, la ductilité des poteaux est plus limitée que celle des poutres de même formation que la forme des articulations plastiques dans les poteaux a pour conséquence la transformation de la structure en un mécanisme

Conférer aux poteaux une résistance supérieure à celle des poutres

Articulations plastiques se forment dans les poutres plutôt que dans les poteaux

Il faut



$$|M_n| + |M_s| \geq 1,25 (|M_w| + |M_e|)$$

$$|M'_n| + |M'_s| \geq 1,25 (|M'_w| + |M'_e|)$$

(18.5)

Vérification facultative pour les maisons individuelles et les 02 derniers niveaux des bâtiments supérieurs à R+2

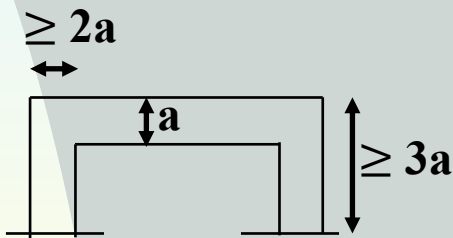
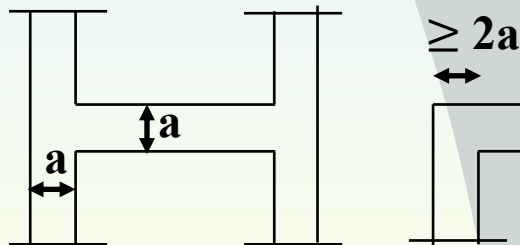
Murs voiles et contreventement?

Il faut

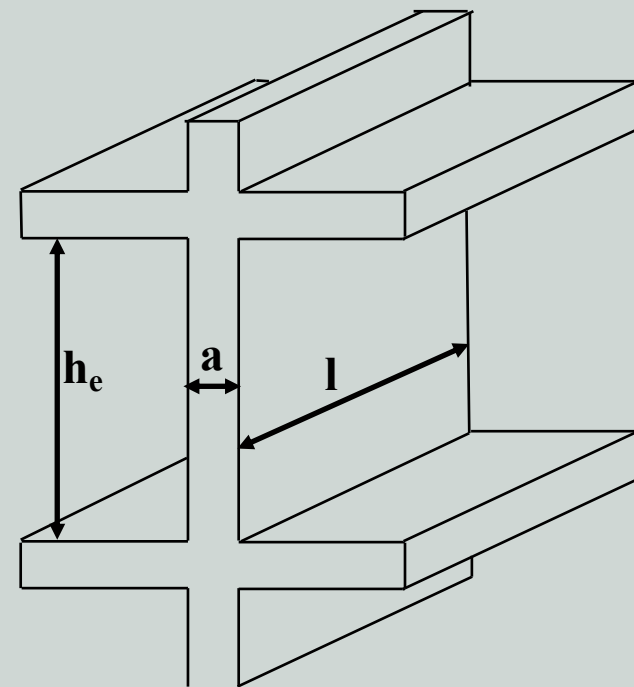
Coffrage

Epaisseur minimale = 15 cm

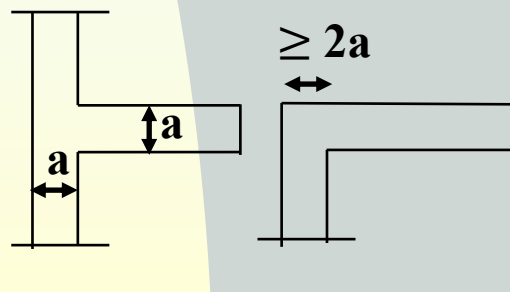
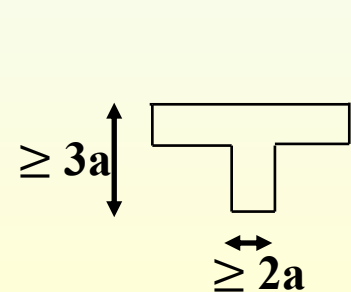
Epaisseur doit être déterminée en fonction de « h_e » et des conditions de rigidité aux extrémités



$$a \geq \frac{h_e}{25}$$



Si $l \geq 4a$ Voiles
Sinon : Eléments linéaires



$$a \geq \frac{h_e}{22}$$

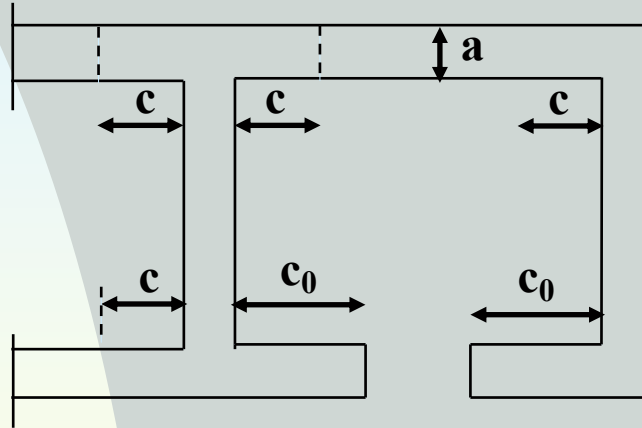


$$a \geq \frac{h_e}{20}$$

Il faut

Coffrage

Pour les calculs de l'inertie des voiles, il est admis de considérer l'influence des murs perpendiculaires. La longueur du mur prise en compte de chaque coté sera la plus petite selon la figure



Prise en compte des murs en retour

$$c \leq \min\left(8a; \frac{L_0}{2}; c_0\right) \quad (18.6)$$

Contraintes limites de cisaillement dans les linteaux et trumeaux

$$\tau_b \leq 0,20 f_{c28} \quad (18.7)$$

où
$$\tau_b = \frac{V}{b_0 d}$$

avec
$$V = 1,4 V_{u \text{ calcul}}$$

b_0 : Epaisseur du linteau ou du voile
 d : hauteur utile = 0,90 h
 h : hauteur totale de la section brute

Il faut

Ferrailage des linteaux

Premier cas : $\tau_b \leq 0,06 f_{c28}$

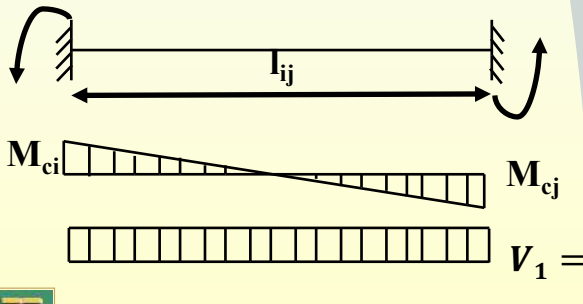
Linteaux calculés en flexion simple (M, V) on devra disposer des aciers longitudinaux (A_l), des aciers transversaux (A_t) et des aciers en partie courante (de peau) (A_c)

Armatures longitudinales

Inférieurs et supérieurs, calculés par:

$A_l \geq \frac{M}{z f_e}$ avec $z = h - 2d'$ (d' distance d'enrobage)

M: moment du à l'effort tranchante ($V = 1,4 V u_{calcul}$)



Armatures transversales

1^{er} sous cas : linteaux longs ($\lambda_g = \frac{l}{h} > 1$)

$$s \leq \frac{A_t f_e z}{V}$$

s : espacement des cours d'armatures transversales

A_t : Section d'un cours d'armatures transversales

$$V = 1,4 V u_{calcul}$$

l : portée du linteau

2^{ème} sous cas : linteaux courts ($\lambda_g = \frac{l}{h} \leq 1$)

$$s \leq \frac{A_t f_e l}{V + A_t f_e}$$

V : min (V_1 ; V_2)

$$V_2 = 2 \frac{V u_{calcul}}{M_{ci} + M_{cj}}$$

$$V_1 = \frac{M_{ci} + M_{cj}}{l_{ij}}$$

M_{ci} et M_{cj} : moments résistants ultimes des sections d'about (gauche et droite du linteau)

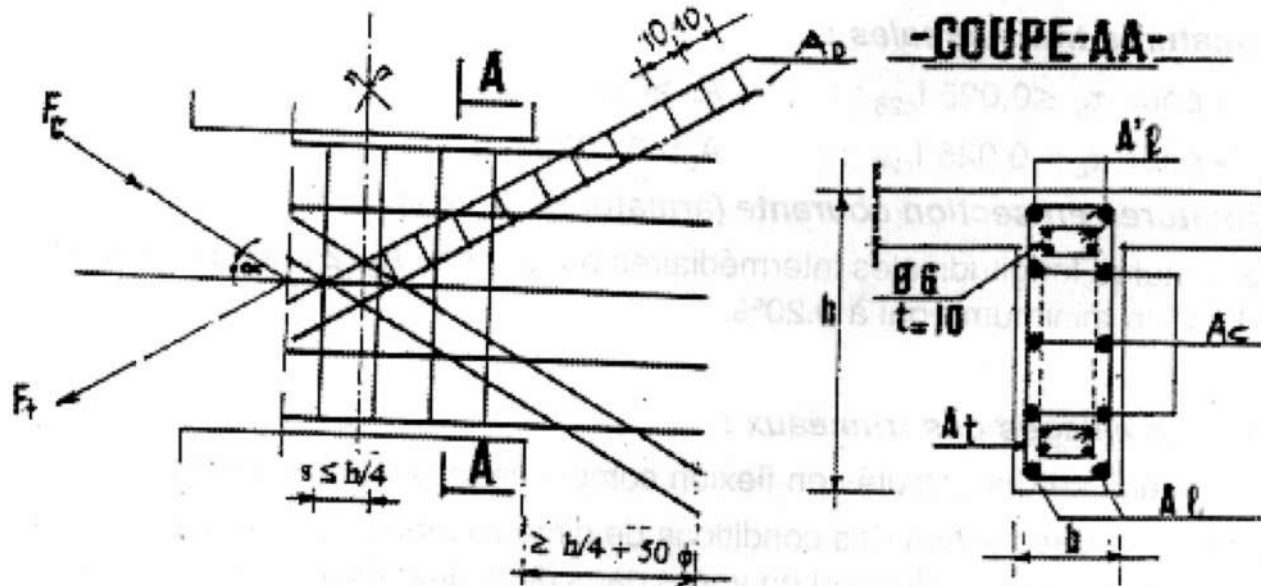
l_{ij} : portée du linteau

**Il faut****Ferraillage des linteaux****Deuxième cas : $\tau_b > 0,06 f_{c28}$** **Il y a lieu de disposer les ferraillages longitudinaux (Sup et Inf), transversaux et en zone courante suivant les minimums réglementaires****M, V sont repris suivant des bielles diagonales suivant l'axe moyen des armatures A_D à disposer obligatoirement****Calculés par :**

$$A_D = \frac{V}{2 f_e \sin \alpha} \quad (18.8)$$

avec $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h-2d'}{l}$

$V = V_{\text{calcul}}$



$$A_l, A_l' \geq 0.0015 bh$$

$$A_c \geq 0.0020 bh$$

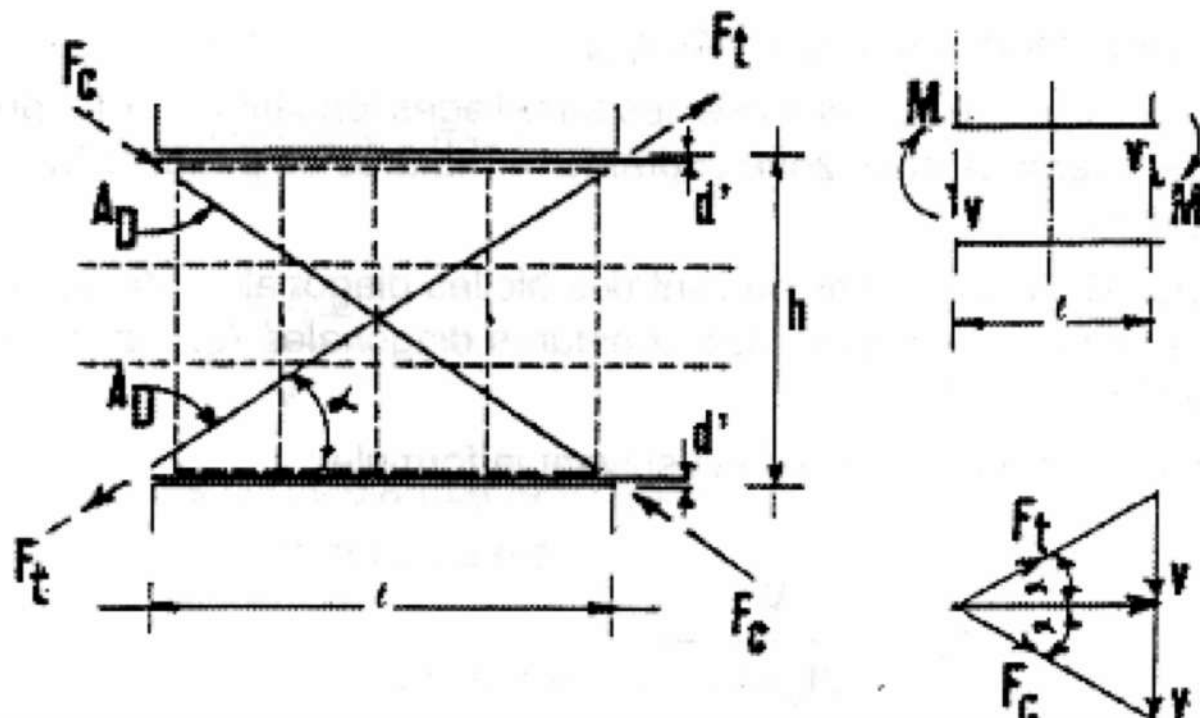
$$A_D \geq 0.0015 bh \quad \text{si } \tau_b > 0.06 f_{c28}$$

$$A_D = 0 \quad \text{si } \tau_b \leq 0.06 f_{c28}$$

$$A_t \geq 0.0015 bs \quad \text{si } \tau_b \leq 0.025 f_{c28}$$

$$A_t \geq 0.0025 bs \quad \text{si } \tau_b > 0.025 f_{c28}$$

Armatures de linteaux



Efforts dans les bielles du
linteau

Il faut

Ferraillage des linteaux

Ferraillage minimal

*Armatures
longitudinales*

$$(A_l, A_l') \geq 0,0015 b h$$

(0,15 %)

*Armatures
transversales*

Si $\tau_b \leq 0,025 f_{c28}$

$$A_t \geq 0,0015 b s \quad (0,15 \%)$$

Si $\tau_b > 0,025 f_{c28}$

$$A_t > 0,0025 b s \quad (0,25 \%)$$

Armatures de peau

Les armatures longitudinales intermédiaires de peau A_c (2 nappes) doivent être au total d'un minimum égale à 0,20%

**Il faut****Ferraillage des trumeaux**

Trumeaux calculés en flexion composée avec effort tranchant.

Moyennant la satisfaction des **conditions de coffrage des RPA** et la disposition de contreventement en voiles **dans 02 directions orthogonales**, Le calcul se fera exclusivement dans la direction, de leur plan moyen en appliquant les règles classiques de BA (DTR BC 2.41 CBA 93)

Si la 2^{ème} condition n'est pas respectée (02 directions), il faut faire un calcul de vérification dans les 02 directions.

Le calcul de la 2^{ème} direction (orthogonale à la direction du plan moyen) doit se faire en suivant les règles DTR-BC 2.42). Le calcul se fera pour des bandes verticales de largeur :

$$d = \min (h_e/2 ; 2l'/3)$$

l' : longueur de la zone comprimée ; h_e : hauteur entre nus de planchers du trumeau

Aciers verticaux

Aciers horizontaux

Il faut

Ferrailage des trumeaux

Aciers verticaux

- ✓ Lorsqu'une partie du voile est tendue, l'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures.
- ✓ % minimal des armatures verticales sur toute la zone tendue = 0,20 %
- ✓ Possibilité de concentrer des armatures de traction à l'extrémité du voile ou du trumeau. Les armatures verticales doivent avoir une section au moins égale à 0,20% de la section horizontale du béton tendu.
- ✓ Les barres verticales des zones extrêmes doivent être ligaturées avec des cadre horizontaux.
- ✓ Les barres verticales du dernier étage munies de crochets à la partie supérieure
- ✓ A chaque extrémité du voile (trumeau) l'espacement doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile, doit être au plus égal à 15 cm.

Aciers horizontaux

- ✓ Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de « 10 Φ ».
- ✓ Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

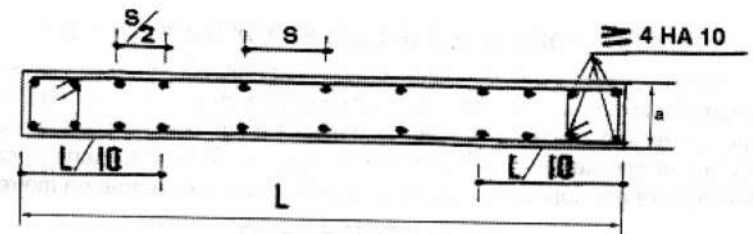


Fig. 7.13 : Disposition des armatures verticales dans les voiles

Il faut

Ferrailage des trumeaux

**Règles communes aux armatures
verticales et horizontales des trumeaux**

- ✓ Le % minimal =
0,15 % dans la section du voile
0,10 % en zone courante
- ✓ L'espacement des barres, plus petite des 02 valeurs ($s \leq 1,5 a$; $s \leq 30 \text{ cm}$)
- ✓ Les 02 nappes doivent être reliées avec au moins 04 épingles/m²
- ✓ Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur

- ✓ Le diamètre des barres verticales et horizontales (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.
- ✓ Les longueurs de recouvrement =
 - 40 Φ pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible.
 - 20 Φ pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles des charges.

Prévoir des **aciers de couture le long des joints de reprise de coulage pour reprendre l'effort tranchant, de section**

(18.9)

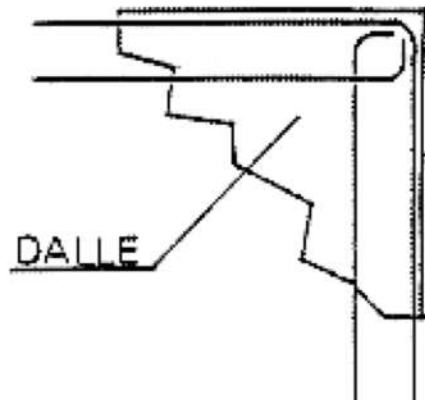
$$A_{vj} = 1,1 \frac{V_{calcul}}{f_e}$$

Cette section doit s'ajouter à la section d'aciers tendus nécessaires pour équilibrer les efforts de traction dus aux moments de renversement

Dalles et Diaphragmes ?

Il faut

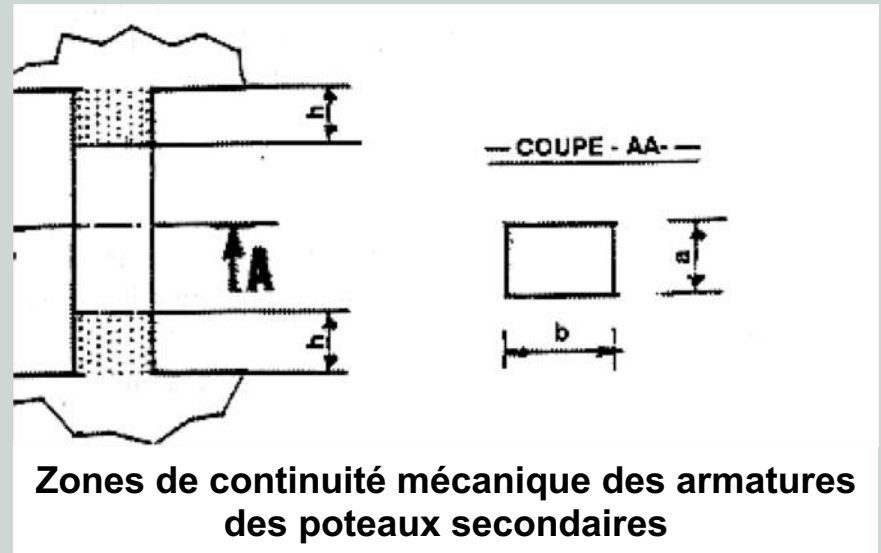
- ✓ Un chaînage périphérique continu d'au moins 3 cm^2 de section d'acier et un chaînage au croisement de chaque élément de contreventement avec le plancher de section minimale $1,5 \text{ cm}^2$
- ✓ Respecter la règle de $0,28 L$ dans le cas de contreventement par voile et de $0,50 L$ dans le cas de contreventement par portiques, L : la largeur chaînée (m)



Chaînage des dalles et des diaphragmes

Eléments secondaires?

Il faut



Zones de continuité mécanique des armatures des poteaux secondaires

- ✓ **Poutres, poutrelles et dalles** : Bonne liaison de l'élément porté sur l'élément porteur par l'intermédiaire d'armatures pour assurer la continuité mécanique du ferrailage, soit par la continuité des aciers inférieurs soit par des chapeaux équilibrant au moins $0,15M_0$, soit barres relevées.
- ✓ **Pour les poteaux** : Assurer la continuité mécanique des armatures aux extrémités des poteaux (figure). Les armatures transversales aux extrémités sur la hauteur « b » doivent avoir un espacement min ($12\Phi_l$; $0,5 a$; 30cm)
- ✓ **Murs secondaires** : Comporte au moins :
 - Chainages verticaux (CV) : 3HA $\Phi 10$ ou 4HA $\Phi 8$; cadre $\Phi 6$ espacés de 10cm
 - Chainages de linteaux (CL) : deux armatures HA $\Phi 8$
 - Chainages horizontaux (CH) (Voir dalles et diaphragmes)

Prescriptions de dimensionnement et dispositions constructives

Structures

- Béton armé
- **Acier**
- Maçonnerie chaînée
- Fondations et Murs de soutènement

4. Charpentes en acier

En zone sismique, seuls les assemblages rigides sont autorisés. Les assemblages semi-rigides sont interdits.

Même si l'action du vent est dominant (Calcul combiné avec le vent), les présentes prescriptions (dues au séisme) restent applicables.

- ✓ **Les méthodes d'analyse globale élastique sont utilisées pour le calcul des sollicitations.**
- ✓ **Les redistributions de moments obtenus par l'emploi des méthodes ne sont pas autorisées.**
- ✓ **RPA : L'utilisation des méthodes d'analyse globale plastique n'est pas autorisée.**

Portiques auto stables ductiles ?

Il faut



Ossature plane (poutres et poteaux) conçu en tant que contreventement vertical capable de reprendre les forces horizontales et verticales et qui peu subir d'importantes déformations plastiques sans perte de résistance.

Matériaux (Acier) :

- ✓ Avoir une bonne soudabilité
- ✓ Satisfaire aux critères de ductilité $\left(\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \geq 20\right)$, de raffermissement $\left(\frac{f_u}{f_y} \geq 1,20\right)$ et d'allongement à la rupture $(A_r \geq 20)$
(1 et 2 Généralement vérifiés pour FE360, FE430 et FE510)
- ✓ Avoir des variations des limites d'élasticité réelles vis-à-vis des limites de calcul suffisamment faibles pour ne pas remettre en cause l'emplacement des rotules plastiques.

Sections transversales :

Parois des éléments susceptibles de formation de rotules plastiques doivent avoir un rapport largeur/épaisseur (b/t) suffisamment faible pour prévenir les voilements locaux prématurés.

(voir tableau pour les valeurs de b/t pour des profils de section couramment utilisées)

Portiques auto stables ductiles ?

Il faut



Assemblages :

- ✓ **Nœud poteau-poutre doit être rigide et capable de développer dans la poutre la capacité plastique totale**
- ✓ **Cas d'assemblages boulonnés, ils doivent être conçus, calculés et réalisés comme des assemblages travaillant au cisaillement, de type résistant au glissement à l'état limite ultime sous l'action sismique et utilisant des boulons précontraints à haute résistance et à serrage contrôlé.**
- ✓ **Pour l'acier dont la résistance ultime est $< 1,5$ la résistance limite d'élasticité, les rotules plastiques (poutres) ne doivent pas apparaître en des endroits où l'aire de la semelle est réduite (ex. trous pour boulons). Pour FE360 et FE430 condition remplie, pour FE510 pas nécessairement remplie**
- ✓ **Cas d'assemblage soudés, les cordons de soudure doivent être contrôlés par des méthodes de contrôle non destructif conformes aux normes et surtout pour les ouvrages des groupes 1A et 1B implantés en zone sismique III.**

type de section	diagrammes des contraintes	b/t max.
	 compression	20ϵ
	compression flexion	33ϵ 72ϵ
	compression flexion	$\frac{396 \epsilon}{13 \eta - 1}$ for $\eta > 0,5$ $\frac{36 \epsilon}{\eta}$ for $\eta < 0,5$
	compression compression flexion compression flexion	9ϵ $\frac{9 \epsilon}{\eta}$ $\frac{9 \epsilon}{\eta^{1,5}}$
	compression	33ϵ
	compression	$50 \epsilon^2$

où $\epsilon = \sqrt{235/f_y}$ avec f_y en N/mm²

Valeurs maximales du rapport « b/t »

Cadres auto stables ordinaires?

Il faut

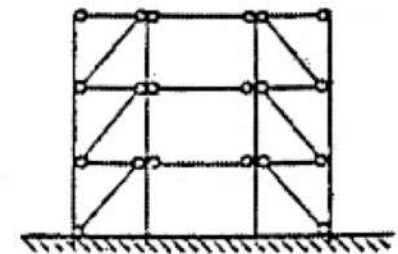
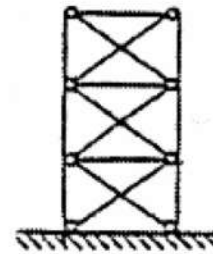
- 
- ✓ Bâtiment au plus 5 niveaux et contreventés par des portiques auto stables dont les parois des sections comprimées et/ou fléchies des éléments dissipatifs ont un rapport « b/t » ne respectant pas les critères des sections transversales déjà définis, seront conçus et calculés sur la base d'un facteur de réduction R au plus égale à 4

Palées triangulées ?

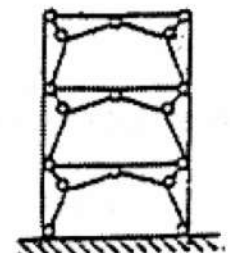
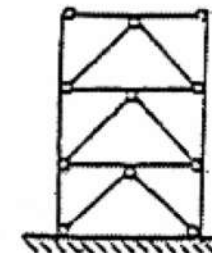
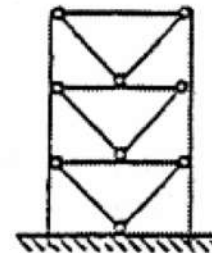
Il faut

✓ **Palées triangulées concentriques :**

- **En X :** Seules les barres tendues interviennent avec efficacité dans la résistance dissipative de l'ossature. $R=4$
- **En V :** le point d'intersection des diagonales se trouve sur la barre horizontale. Participation des barres tendues et comprimées dans la résistance à l'action sismique. $R=3$



Palées centrées en X



Palées centrées en V

- ✓ Les barres des palées triangulées doivent être calculées pour résister à $1,25 V$ (MSE)
- ✓ Les assemblages sont calculés pour développer des forces maximales dans les barres et doivent être calculés pour $1,5 V$.
- ✓ Les assemblages en traction, utiliser des boulons précontraints à haute résistance et à serrage contrôlé

Prescriptions de dimensionnement et dispositions constructives

Structures

- Béton armé
- Acier
- **Maçonnerie porteuse chaînée**
- Fondations et Murs de soutènement

5. Maçonnerie porteuse chaînée

En zone sismique, seules les constructions en maçonnerie porteuse chaînée sont permises.

- ✓ Présenter une configuration aussi régulière que possible
- ✓ Les murs doivent être suffisamment liés entre eux et aux planchers
- ✓ Les éléments secondaires (balcons,...) doivent être solidement liaisonnés à la structure du bâtiment

Long/larg
 $\leq 3,5$

H, n
Limité à

	Zone I	Zone IIa	Zones IIb et III
Hauteur H(m)	17	14	11
Nbr d'étage (n)	5	4	3

- ✓ Les murs porteurs en maçonnerie doivent être répartis uniformément suivant les 02 directions
- ✓ Le nombre doit être suffisant pour résister à l'action sismique
- ✓ L'aire totale des sections droites des murs porteurs dans une direction et à chaque niveau > 4% de la surface du plancher
- ✓ Murs chaînés aux planchers rigides.

Il y a les murs structuraux de contreventement pour les charges verticales et latérales.
Epaisseur $\geq 20\text{cm}$

Les murs non structuraux (cloisons) pour le cloisonnement

Distance
maximale entre
murs porteurs

	Zone I	Zone IIa	Zones IIb et III
Distance (m)	10	8	6

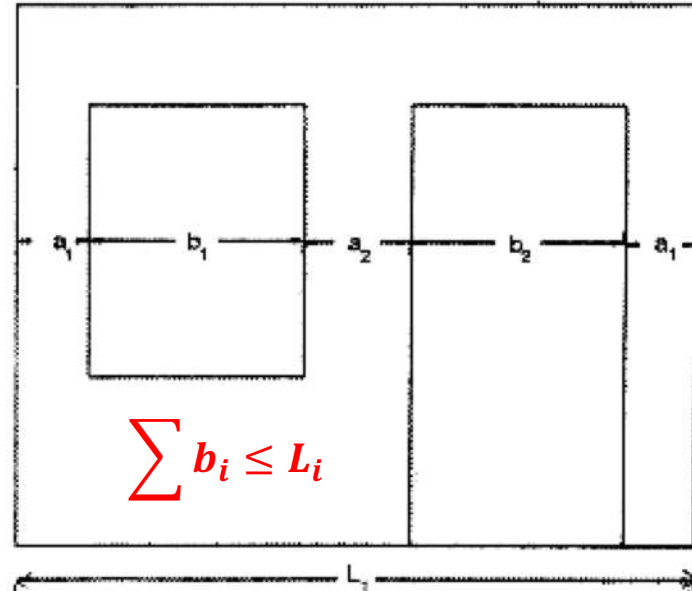
Les ouvertures ?

Il faut

- ✓ La longueur des ouvertures $< 0,50$ longueur du mur.
- ✓ Les niveaux supérieurs des ouvertures doivent être à la même côte.
- ✓ Les prévoir de façon symétrique eu égard à la configuration en plan du bâtiment pour une distribution de rigidité et de résistance uniforme dans les 02 directions.
- ✓ Placées sur le même alignement vertical
- ✓ Placées en dehors des zones d'influence des charges localisées des poutres ou autres éléments porteurs.

Dimensions des ouvertures

- ✓ Les trumeaux extrêmes : $a_1 \geq 1,0 \text{ m}$
- ✓ Pour les autres trumeaux :
 $a_1 \geq 1,0 \text{ m}$ (Zone IIb et III)
 $a_2 \geq \frac{b_1 + b_2}{3}$ en zones I et IIa



Emplacement et taille des ouvertures

Matériaux ?

Utilisés

- ✓ Moellons de pierre
- ✓ Pierres de taille
- ✓ Briques et bloc de terre cuite
- ✓ Blocs en béton
- ✓ Briques silico-calcaires
- ✓ Blocs de terre stabilisée (BTS)
- ✓ Blocs en béton cellulaire autoclave (siporex)
- ✓ Mortier
- ✓ Armatures métalliques
- ✓ béton

- ✓ Détermination expérimentale des résistances à la compression des blocs, briques et béton
- ✓ Mortiers seront à base de ciment ou ciment-chaux hydraulique. Résistance minimale à la compression 5 Mpa
- ✓ Éléments en BA du système structural, résistance minimale à la compression 15 MPa

Système de construction ?

- ✓ Structure porteuse en maçonnerie de moellons ou de petits éléments manufacturés chaînée en BA mis en œuvre après exécution de la maçonnerie. Il y a:

Chainages horizontaux : au niveau des fondations, de chaque plancher et au niveau des toitures.

Chainages verticaux : à tous les angles saillants ou rentrants, aux jonctions de murs et en encadrant les ouvertures de hauteur $\geq 1,80\text{ m}$

Prescriptions

Eléments structuraux principaux

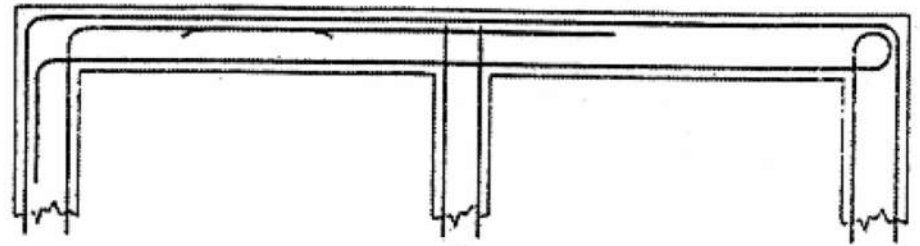
- ✓ Dans les 02 directions. Constitués de trumeaux bordés de chainages verticaux sans ouverture.
- ✓ Trumeaux : $E_p \text{ min} = 20\text{cm}$
- ✓ Dimensions entre chainages parallèles. $\leq 5,00\text{ m}$ pour dimension inférieure et $\leq 20\text{ m}^2$ pour la superficie inférieure
- ✓ Longueur de la diagonale :
 - $\leq 40 \times$ épaisseur brute (pour murs en éléments pleins)
 - $\leq 25 \times$ épaisseur brute pour murs en éléments creux

Chainages verticaux

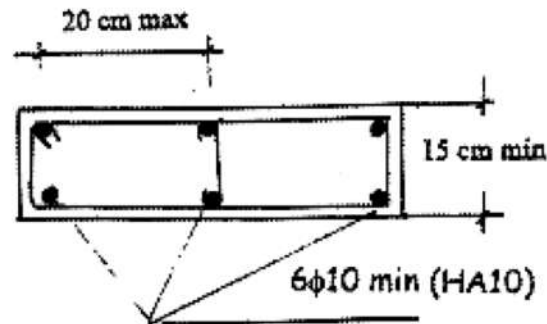
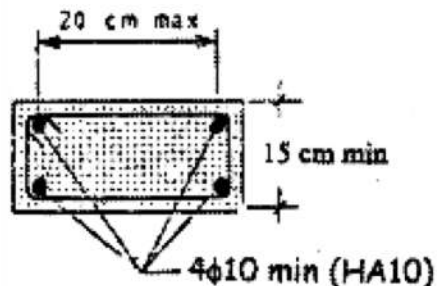
- ✓ Réalisés sur toute la hauteur du mur
- ✓ Section minimale $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$
- ✓ Minimum d'armature longitudinale de 4HA 10 et un espacement de 20 cm .
- ✓ Armature transversale espacée au plus de la hauteur du chaînage ou 25 cm .
- ✓ Recouvrement : 40Φ en zone I et IIa et 50Φ en zones IIb et III.

Chainages horizontaux

- ✓ Doivent régner sur toute l'épaisseur du mur.
- ✓ Peut être ramener à $\frac{2}{3}$ de l'épaisseur du mur pour la réalisation de façades avec éléments de béton non apparents.
- ✓ Doivent avoir une hauteur minimale de 15 cm
- ✓ Armature longitudinale au moins une barre dans chaque angle avec un minimum de 4HA10 et un espacement de 20 cm.
- ✓ Armature transversale espacée au plus de la hauteur du chaînage ou 25 cm.
- ✓ Recouvrement : 40Φ en zone I et IIa et 50Φ en zones IIb et III.



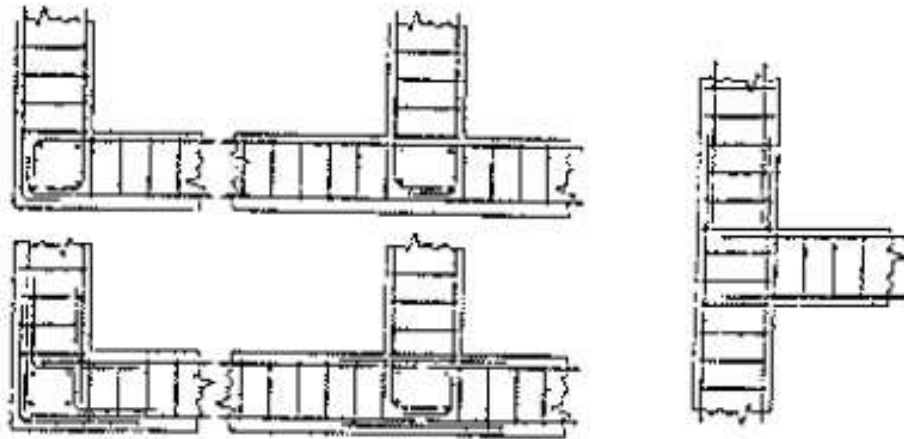
Dispositions typiques des chainages en plan



Chainage des éléments structuraux

Nœuds des chainages

- ✓ La continuité et le recouvrement des armatures des divers chainages concourant en un même nœud doivent être assurés dans les 03 directions.



Chainages horizontaux

Chainages verticaux

Exemples de dispositions constructives

Planchers

Réalisés :

- ✓ Dalle en BA coulé sur place
- ✓ Poutrelles et corps creux avec dalle de compression. Les armatures des poutrelles doivent être convenablement ancrées dans les chainages horizontaux ou poutre principales
- ✓ Poutrelles en bois ou métallique qui devront s'appuyer sur toute l'épaisseur du mur porteur.

Encadrements des baies et ouvertures

Ceux qui, n'ont pas de chaînage aux bords, doivent recevoir un encadrement en BA ou métallique traité aux angles relié aux chaînages

Ouverture de catégorie G

- ✓ Baies et ouvertures de dimension $> 2,50$ m
- ✓ Encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires quelle que soit la zone sismique.

Ouverture de catégorie M

- ✓ Baies et ouvertures de dimension $> 1,50$ m
- ✓ Zone IIb et III : Encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires.
- ✓ Zone IIa : Encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires, sauf lorsque l'ouverture est pratiquée dans un panneau dont aucune dimension n'est $> 3,20$ m

Ouverture de catégorie P

- ✓ Baies et ouvertures autres que celles de G et M
- ✓ Zone IIb et III : Encadrement obligatoire.
- ✓ Zone IIa : Encadrement obligatoire, sauf lorsque la baie est pratiquée dans un panneau dont aucune dimension n'est $> 3,20$ m

Les linteaux constitués par des poutres ou poutrelles en BA, en béton précontraint, métallique ou en bois.

Encadrements des baies et ouvertures

Encadrement en BA

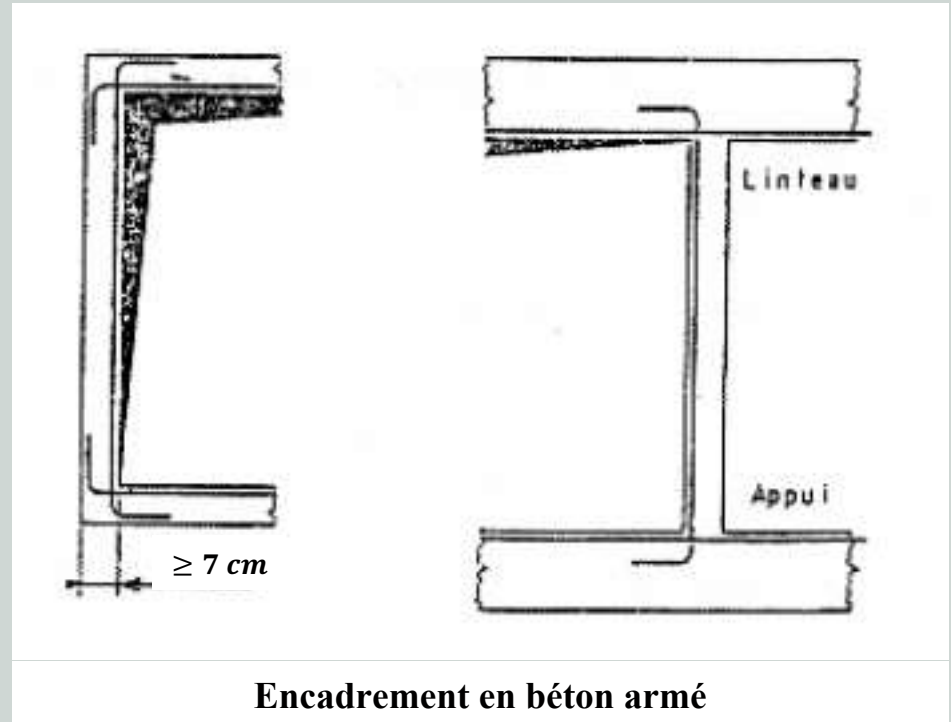
Hauteur min = 7cm

Armature longitudinale au moins 02 HA en zones I et IIa et 3HA en zones IIb et III

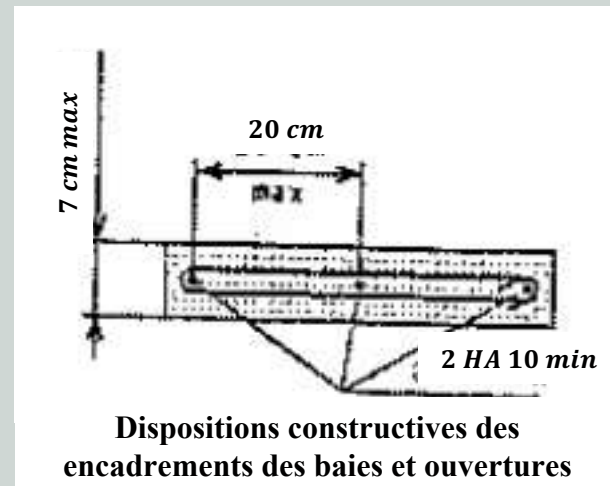
Espacement ≤ 20 cm

Encadrement métallique

Résistance à la traction $\geq$ à celle exigée des encadrements en BA.



Encadrement en béton armé



Dispositions constructives des encadrements des baies et ouvertures

Calcul et vérification des éléments structuraux principaux?

Facultatif pour 01 niveau ($H_{max} = 4 \text{ m}$) en zones I à III et 02 niveaux ($H_{max} = 7 \text{ m}$) en zones I et IIa.

Prendre $R=2,5$ dans les calculs des sollicitations agissantes

Prendre, pour les sollicitations résistantes, les coefficients de sécurité $\gamma_m = 1,5$ (béton de granulats courants), $\gamma_m = 1,0$ (acier) et pour les autres (blocs et briques) voir tableau



	Coef γ_m	
	Chargement centré	Chargement excentré
Briques creuse de terre cuite à joints pleins	3,5	5
Briques creuses de terre cuite à rupture de joint ou joints partiels	4,5	5,5
Briques pleines ou perforées de terre cuite apparentes Blocs slicocalcaires	3,5	4,5
Blocs perforés de terre cuite apparents	3,5	4,5
Blocs pleins ou creux en béton de granulats courants ou légers	3	4
Blocs de béton cellulaire autoclavé	4	5
Pierre de taille	4	5
Pierre en moellons ordinaires	5	6
Blocs BTS et blocs de plâtres	5	6

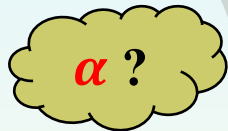
Prescriptions de dimensionnement et dispositions constructives

Structures

- Béton armé
- Acier
- Maçonnerie chaînée
- **Fondations et Murs de soutènement**

6. Fondations et murs de soutènement

- ✓ Longrines formant un réseau sur 02 directions.
- ✓ Dimensions minimales:
 - 25 cm x 30 cm sites de catégorie S2 et S3
 - 30 cm x 30 cm sites de catégorie S4
- ✓ Calculées pour résister à la traction : $F = \frac{N}{\alpha} \geq 20 \text{ KN}$ (N: valeur max des charges verticales et « α » coefficient fonction de la zone sismique et du site.
- ✓ Fer Min = 0,6 % de la section avec des esp des cadres < min(20cm; $15\Phi_1$)

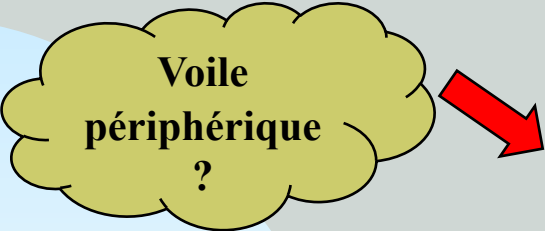


Site	Zone I	Zone IIa	Zones IIb et III
S1	-	-	-
S2	-	15	12
S3	15	12	10
S4	12	10	8

- ✓ Solidarisation des longrines est obligatoire sauf dans le cas de sol rocheux sain, non fracturé (S1) et aussi site S2 en zone I.
- ✓ Pour les structures légères (type hangar), les longrines peuvent être remplacées par un dallage
- ✓ Pour les structures lourdes (bâtiments élevés) avec plusieurs blocs, séparés par des joints, il est recommandé de supprimer les joints de fondations si le système de fondation et la qualité du sol sont les mêmes partout.
- ✓ A moins de 1,20 m, les poutres du plancher inférieure peuvent être considérées comme des longrines.

Fondations et murs de soutènement

Voile
périphérique
?



- ✓ Ossatures à poteaux courts (vides sanitaires) doivent comporter un voile périphérique continu entre le niveau des fondations et le niveau de base.
- ✓ Facultatif en zone I pour les constructions individuelles ou hauteur ≤ 10 m.
- ✓ En cas de joint de rupture, le voile doit ceinturer chaque bloc.
- ✓ Voile périphérique:
 - Epaisseur ≥ 15 cm
 - 02 nappes d'armature: % min 0,10 % dans les 02 sens (hor et vert).
- ✓ Ouvertures d'effet négligeable sur la rigidité du voile
- ✓ Voile pas nécessaire en cas de dallages sur terre pleine.

Fondations et murs de soutènement



Capacité portante

✓ Fondations superficielles:

$$G + Q + E$$

$$0,8 G \pm E$$

Compte tenu de l'application à la résistance ultime du sol q_u d'un coefficient de sécurité de 2,0

✓ Fondations profondes:

$$G + Q + E$$

$$0,8 G \pm E$$

Compte tenu de l'application des coefficients de sécurité partiel « γ » sur la charge limite Q_l dépendant du mode de fonctionnement du pieu et de la méthode de détermination de Q_l .

Stabilité au renversement

- ✓ Qlq soit le type de fondation, on doit vérifier que l'excentrement de la résultante des forces verticales et des forces sismiques reste à l'intérieur de la moitié centrale de la base ($e = M/N \leq B/4$)

	Essai de chargement statique	Essai en place	Essai de laboratoire
Compression	1,10	1,25	2,50
Traction	1,50	1,50	2,0

Valeurs des coefficients de sécurité partiels « γ »

Fondations et murs de soutènement

Murs de
soutènement
?

- ✓ En BA de hauteur ≤ 6 m peuvent être justifiés sous sollicitations sismiques obtenues par MSE
- ✓ 02 coefficients pour la vérification de la stabilité : $k_h = A(\%g)$ (A: cof d'accélération de zone) et $k_v = \pm 0,3 k_h$ à appliquer au mur et au remblai retenu ainsi qu'aux charges d'exploitation supportées par le remblai.

- ✓ La poussée active dynamique globale qui s'exerce à l'arrière du mur :

$$P_{ad} = \frac{1}{2} K_{ad} (1 \pm K_v) \gamma H^2$$

Appliquée horizontalement à $H/2$ au dessus de la base de la semelle du mur.

Avec : $K_{ad} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos \theta \cos \beta}} \right]^{-2}$ coefficient de poussée dynamique

γ : Poids volumique du sol de remblai

ϕ : Angle de frottement interne

H : hauteur de la paroi verticale à l'arrière du mur

β : Angle de la surface du remblai sur l'horizontal

$\theta = \arctg(k_h / (1 \pm k_v))$

Fondations et murs de soutènement

Murs de
soutènement
?



- ✓ En cas de butée, on prend $P_{pd} = \frac{1}{2} \gamma D^2$ appliquée horizontalement à $D/3$. Avec D : hauteur de terres situées à l'aval du mur.
- ✓ En cas de murs en infrastructure de bâtiment, $P_{ad} = \frac{1}{2} K_{ad} (1 \pm K_v) \gamma H^2$ à $H/2$ et $P_{pd} = \frac{1}{2} K_0 \gamma D^2$ (avec $K_0 = 1 - \sin \phi$)
- ✓ Si le remblai supporte une surcharge verticale uniforme « q » la poussée dynamique sera : $P_{pd}(q) = K_{ad} (1 \pm K_v) q H / \cos \beta$ appliquée horizontalement à $H/2$

Fondations et murs de soutènement

Murs de
soutènement
?



Vérification de la
stabilité du mur

- ✓ **Stabilité au glissement** : Prendre un coefficient de sécurité de 1,2 pour la résistance ultime au glissement. On admet que la rupture se produit dans le sol et non pas à l'interface semelle/sol.
- ✓ **Stabilité au renversement** : Prendre un coefficient de sécurité de 1,3. La résistance au renversement résulte du poids du mur, de sa fondation et du remblai sus-jacent.
- ✓ **Stabilité au poinçonnement** : de la semelle du mur est la même qu'une semelle de fondation (Voir ci dessus)

Merci. Fin du chapitre 18

Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

Prochain Cours

Chap. 19

Méthode statique non linéaire
(Méthode Push over)