

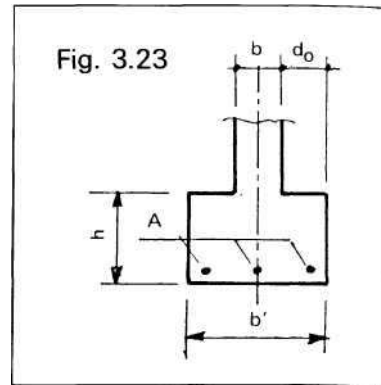
4. SEMELLES SUR SOL

4.1. SEMELLES CONTINUES SOUS MURS «NON ARMÉES» TRANSVERSALEMENT

Une semelle continue peut ne pas comporter d'armatures dans le sens perpendiculaire au mur lorsqu'elle est :

– soumise à une charge verticale centrée et uniforme le long du mur ;

– telle que : $h \geq 2 d_o$ avec $d_o = \frac{b' - b}{2}$

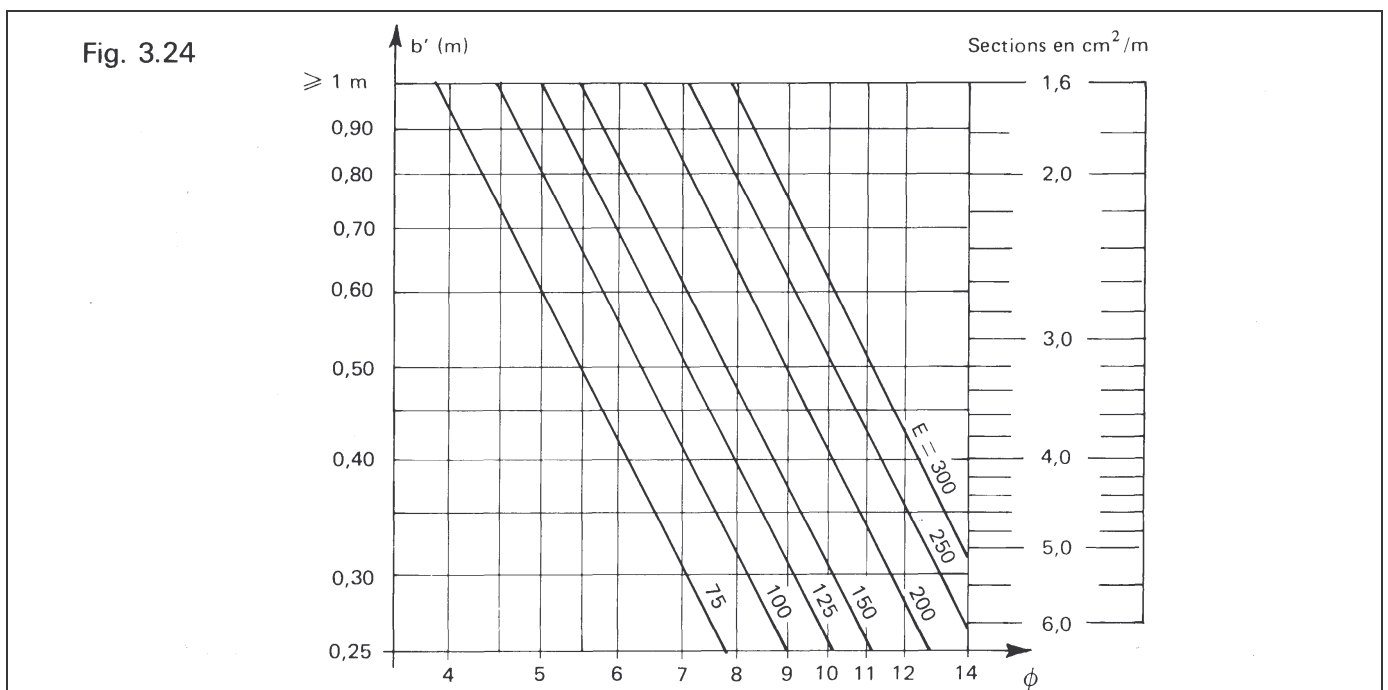


Il est cependant nécessaire de placer à la partie inférieure un treillis soudé dont les diamètres et espacements des fils placés **parallèlement au mur** peuvent être choisis à l'aide du diagramme de la figure 3.24 (dans lequel les espacements doivent être pris à **gauche** du point d'intersection (\emptyset ; b')).

Exemple de calcul :

Données:

Charge ultime à la base du mur	p_u	=	40 kN = 0,04 MN/m
Largeur du mur	b	=	0,20 m
Contrainte limite du sol	q_u	=	0,2 MPa d'où $\sigma_q = 0,1$ MPa
Résistance du béton	f_{c28}	=	25 MPa d'où $f_{t28} = 2,1$ MPa (chapitre 1, titre 2.1,4)



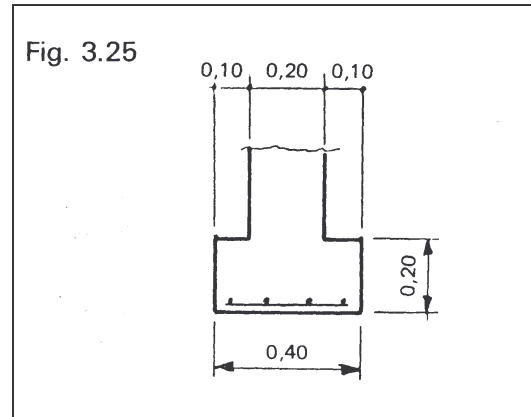
Le choix des dimensions résulte des conditions suivantes :

$$b' \geq \frac{p_u}{\sigma_q} = \frac{0,04}{0,1} = 0,4 \text{ m}$$

$$d_o = \frac{b' - b}{2} = 0,1 \text{ m}$$

$$h \geq 2d_o \text{ soit } h \geq 0,20 \text{ m}$$

On retient donc $h = 0,20 \text{ m}$ (fig. 3.25)



Pour les armatures parallèles au mur, le diagramme 3.24 donne, pour $b' = 0,40 \text{ m}$ lu sur l'échelle verticale, le choix entre :

$\varnothing 7, E = 75$; $\varnothing 8, E = 125$ ou $E = 100$; $\varnothing 9, E = 150$,

les autres solutions, telle que $\varnothing 10, E = 200$, ne pouvant convenir (droite «E» à droite et non à gauche du point d'intersection \varnothing ; b').

On retient $\varnothing 8, E = 100$ ce qui correspond à un panneau standard ST 50 (4 fils longitudinaux sur la largeur de $0,40 \text{ m}$).

4.2. SEMELLES CONTINUES SOUS MURS SOUMIS À UNE CHARGE UNIFORME ET CENTRÉE

Dans ce cas, la «méthode des bielles» constitue la méthode de calcul la plus simple et la plus rapide.

Dans cette méthode on admet que, sous la combinaison d'actions la plus défavorable à l'état-limite ultime, la pression sur le sol :

- est uniforme et au plus égale à la contrainte limite σ_q
- s'exerce sur toute la surface inférieure de la semelle.

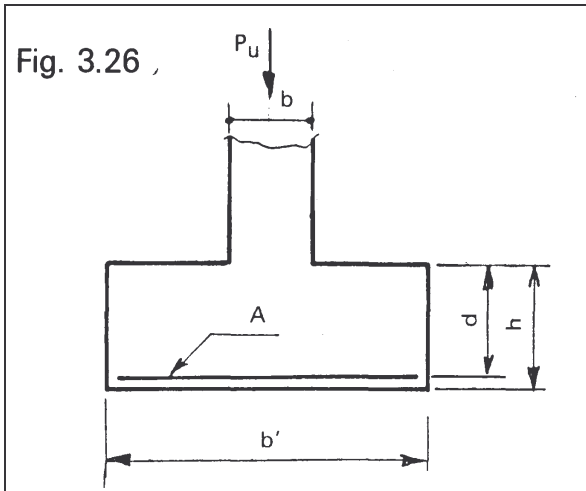
4.2,1. choix des dimensions

– **Hauteur** : La hauteur utile des armatures de la semelle perpendiculaires au mur (voir figure 3.26) doit satisfaire à la double condition :

$$\frac{b' - b}{4} \leq d \leq b' - b$$

La hauteur totale de la semelle est déterminée de manière à respecter les enrobages minimaux « c » (voir chapitre 1, titre 2.3,1.). A défaut d'autres précisions on adopte $c \geq 3 \text{ cm}$. Pour un terrain de fondation rocheux ($\sigma_q \geq 0,75 \text{ MPa}$), il y a lieu de vérifier systématiquement la condition de non-cisaillement explicitée ci-après.

– **Largeur** : A moins que les conditions de tassement admissible ne soient prédominantes, la largeur b' de la semelle est déterminée par la vérification à l'état-limite ultime de résistance vis-à-vis du sol (voir paragraphe 3.3,1-b) :



$$b' \geq \frac{p_u + 1,35 g_0}{\sigma_q}$$

avec : p_u = charge ultime à la base du mur par unité de longueur de semelle ;
 g_0 = poids propre de la semelle et des terres qui la surmontent.

Condition de non-cisaillement (sol rocheux) :

$$h \geq \frac{p_u \gamma_b}{0,15 f_{c28}} \left(1 - \frac{b + 2h}{b'} \right)$$

soit, pour le cas le plus fréquent où $\gamma_b = 1,5$

$$h \geq \frac{10 p_u}{f_{c28}} \left(1 - \frac{b + 2h}{b'} \right)$$

4.2,2. fils perpendiculaires au mur

La section de ces fils est donnée par la formule :

$$A = k p_u \frac{b' - b}{2} \quad (\text{cm}^2/\text{m}, \text{MN}/\text{m}, \text{m}) \quad \text{formule [3.1]}$$

où k prend les valeurs du tableau II ci-après.

Tableau II

	Fissuration de la semelle		
	peu préjudiciable	préjudiciable	très préjudiciable
$k^{(*)}$	2,87	3,16	4,31

(*) – Fissuration peu préjudiciable : $k = \frac{1,15 \times 10^4}{500 \times 8} = \frac{11,5}{4} = 2,87$

(*) – Fissuration préjudiciable : $k = \frac{1,1 \times 11,5}{4} = 1,1 \times 2,87$

(*) – Fissuration très préjudiciable : $k = \frac{1,5 \times 11,5}{4} = 1,5 \times 2,87$

L'abaque 3.27 donne directement, pour le cas de la fissuration peu préjudiciable, les couples (\emptyset , s ou d , e suivant la désignation ADETS) à prévoir en fonction de p_u et du rapport :

$$\frac{d_0}{d} = \frac{b' - b}{2d}$$

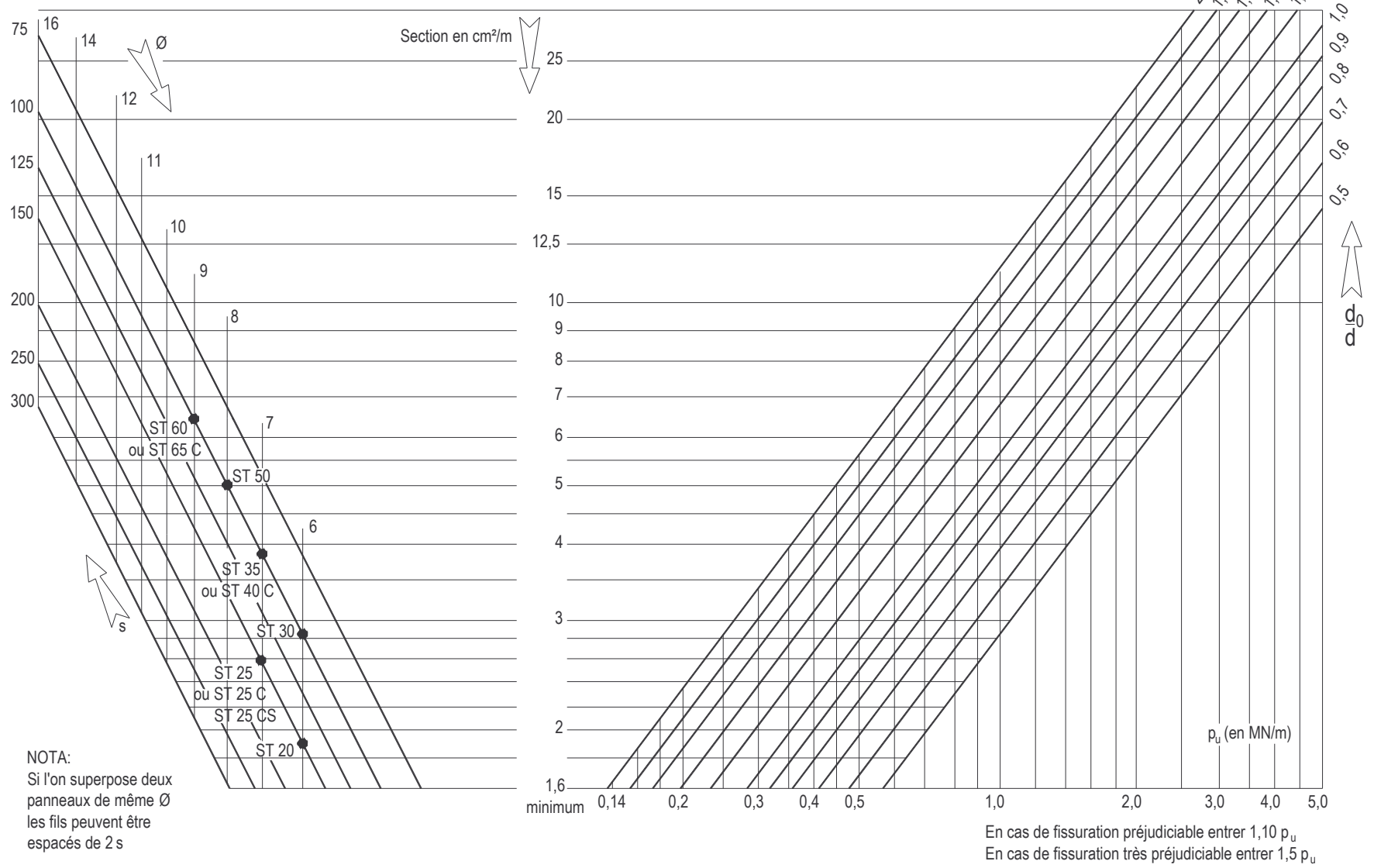
L'espacement à retenir doit être lu à **droite** de la verticale correspondant au diamètre choisi.

4.2,3. arrêt des fils perpendiculaires au mur

Pour un panneau, la contrainte d'adhérence maximale des fils perpendiculaires au mur est égale à :

$$\tau_s = k' \frac{p_u (b' - b)}{b' d} \quad (\text{MPa}, \text{MN}/\text{m}, \text{m}) \quad \text{formule [3.2]}$$

Fig.3.27 ABAQUE POUR LA DETERMINATION DES TREILLIS SOUDES ARMANT LES SEMELLES DE FONDATION



La grandeur $k' = \frac{500}{m \pi \varnothing}$, où m représente le nombre de fils de diamètre \varnothing (mm) par mètre, est donnée, pour les produits standard, par le tableau III ci-après. Lorsqu'on superpose deux panneaux totalisant par mètre, m_1 fils de diamètre \varnothing_1 et m_2 fils de diamètre \varnothing_2 , il faut prendre :

$$k' = \frac{500}{\pi (m_1 \varnothing_1 + m_2 \varnothing_2)}$$

Tableau III. – Valeurs de k'

(les valeurs du tableau supposent que, dans le cas de panneaux superposés, les sections S sont placées dans la même direction).

Tableau III-1. – Valeurs de k' (*) dans le sens de la section la plus élevée en cm^2/m .

Panneau standard	Utilisé seul	Superposé parallèlement à un panneau						
		ST 10	ST 20	ST 25 ST 25 C ST 25 CS	ST 30	ST 35 ou ST 40 C	ST 50 ou ST 50 C	ST 60 ou ST 65 C
ST 10	5,79	2,89	2,36	2,15	1,82	1,63	1,48	1,35
ST 15 C	5,30	2,65	2,27	2,08	1,77	1,59	1,45	1,33
ST 20	3,98	2,36	1,99	1,85	1,59	1,45	1,33	1,22
ST 25 ou ST 25 C	3,41	2,15	1,84	1,71	1,49	1,36	1,26	1,16
ST 30	2,65	1,82	1,59	1,49	1,33	1,22	1,14	1,06
ST 35 ou ST 40 C	2,27	1,63	1,45	1,36	1,22	1,14	1,06	0,99
ST 50 ou ST 50 C	1,99	1,48	1,33	1,26	1,14	1,06	0,99	0,94
ST 60 ou ST 65 C	1,77	1,35	1,22	1,16	1,06	0,99	0,94	0,88

(*) dimension inverse d'une longueur (m^{-1})

Tableau III-2. — Valeurs de k' (*) dans le sens de la section la plus faible en cm^2/m .

Panneau standard	Utilisé seul	Superposé parallèlement à un panneau								
		ST 10	ST 15 C	ST20 / ST 25 ST 30 / ST 35	ST 50	ST 60	ST 25 C	ST 40 C	ST 50 C	ST 65 C
ST 10	5,79	2,89	2,77	3,13	2,94	2,36	2,15	1,63	1,48	1,35
ST 15 C	5,30	2,77	2,65	2,98	2,81	2,27	2,08	1,59	1,45	1,33
ST 20 ST 25 ST 30 ST 35	6,82	3,13	2,98	3,41	3,18	2,51	2,27	1,71	1,54	1,40
ST 50	5,97	2,94	2,81	3,18	2,98	2,39	2,17	1,65	1,49	1,36
ST 60	3,98	2,36	2,27	2,51	2,39	1,99	1,84	1,45	1,33	1,22
ST 25 C	3,41	2,15	2,08	2,27	2,17	1,84	1,71	1,36	1,26	1,16
ST 40 C	2,27	1,63	1,59	1,71	1,65	1,45	1,36	1,14	1,06	0,99
ST 50 C	1,99	1,48	1,45	1,54	1,49	1,33	1,26	1,06	0,99	0,94
ST 65 C	1,77	1,35	1,33	1,40	1,36	1,22	1,16	0,99	0,94	0,88

(*) dimension inverse d'une longueur (m^{-1}).

La contrainte d'adhérence calculée par la formule [3.2] doit être comparée à $\tau_{su} = 1,35 f_{t28}$ (f_{t28} , chapitre 1, titre 2.1,4) :

- si $\tau_s > \tau_{su}$, les extrémités des fils doivent être munies de crochets normaux ou équivalents ;
- si $0,5 \tau_{su} < \tau_s \leq \tau_{su}$, les fils sont droits et s'étendent d'un bord à l'autre de la semelle ;
- si $\tau_s \leq 0,5 \tau_{su}$, il est possible de prévoir deux panneaux superposés, avec fils de longueurs différentes (b' et $0,75 b'$) ou de même longueur ($0,85 b'$) mais disposés « en portefeuille ».

4.2.4. fils parallèles au mur

Si le sol est homogène, les diamètres et espacements peuvent être déterminés en fonction de la largeur b' de la semelle au moyen du diagramme de la figure 3.24 (entrée dans le diagramme par la gauche), sans que la section par mètre puisse être inférieure à $A/5$ (entrée dans le diagramme par la droite).

Si le sol est hétérogène ou s'il existe des ouvertures à la base du mur, la semelle est à calculer comme une poutre encastree franchissant la zone de mauvais terrain ou s'appuyant sur les deux parties du mur encadrant l'ouverture, et chargée par les réactions du sol à l'aplomb de celle-ci.

4.2.5. exemple de calcul

Semelle sur sol homogène fondée à - 1 m, supportant un voile de 0,20 m de largeur ($b = 0,20$).

Données: Charge ultime à la base du voile $p_u = 0,22$ MN/m
 Contrainte limite du sol $q_u = 0,35$ MPa d'où $\sigma_q = 0,175$ MPa
 Béton $f_{c28} = 25$ MPa d'où $f_{t28} = 2,1$ MPa (chapitre 1.2.1,4)
 Poids volumique des terres : 18 kN/m³
 Fissuration de la semelle peu préjudiciable

a) Dimensionnement :

- Largeur estimée

$$b' \geq \frac{p_u}{\sigma_q} = \frac{0,22}{0,175} = 1,25 \text{ m. On prend } b' = 1,5 \text{ m}$$

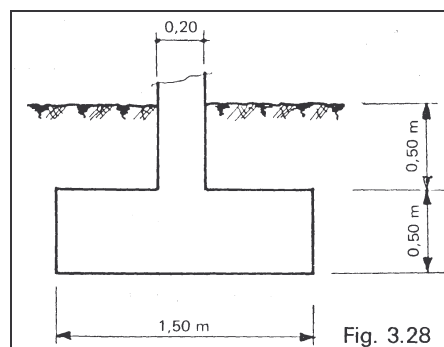
$$\frac{b'-b}{4} \leq d \leq b'-b \text{ donne } 0,33 \leq d \leq 1,30 \text{ m. On prend } h \approx (d + 0,03) = 0,50 \text{ m}$$

b) Vérification :

g_o = poids propre de la semelle et poids propre des terres situées au-dessus
 $= 0,025 \times 1,5 \times 0,5 + 0,018 \times 1,3 \times 0,5 = 0,0305$ MN/m

$$p_u + 1,35 g_o = 0,261 \text{ MN/m}$$

$$\frac{p_u + 1,35 g_o}{b'} = \frac{0,261}{1,5} = 0,174 \text{ MPa} < \sigma_q$$



La formule [3.1] donne, avec $k = 2,87$ (tableau II), $p_u = 0,22 \text{ MN/m}$, $b - b' = 1,30 \text{ m}$ et $d = 0,47 \text{ m}$, pour les armatures perpendiculaires au mur :

$$A = 2,87 \times 0,22 \times \frac{1,30}{0,47} = 1,75 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

En utilisant l'abaque 3.27, on trouve directement, pour $p_u = 0,22 \text{ MN/m}$ et $\frac{d_o}{d} = \frac{b'-b}{2d} = 1,38$:

$A = 1,8 \text{ cm}^2/\text{m}$, avec les combinaisons possibles 5,5/125 ou 5,5/100, 6/150 ou 6/125 ou 6/100, etc... (lecture des espacement à droite du diamètre). La combinaison 6/150 correspond à un panneau standard ST 20. Il faut voir si ce panneau fournit la section nécessaire pour les armatures parallèles au mur. Le diagramme de la figure 3.24 indique que, pour le sens parallèle au mur, la section doit être d'au moins $1,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ (valeur supérieure à $A/5 = 0,36 \text{ cm}^2/\text{m}$). Or le panneau ST 20 ne fournit qu'une section de $1,28 \text{ cm}^2/\text{m}$. Il ne convient donc pas.

Finalement, on retient pour le ferrailage de la semelle deux panneaux ST 10 superposés parallèlement ($\varnothing 5,5$, $E = 200 \text{ mm}$ pour chacun et dans chaque sens), ce qui conduit à :

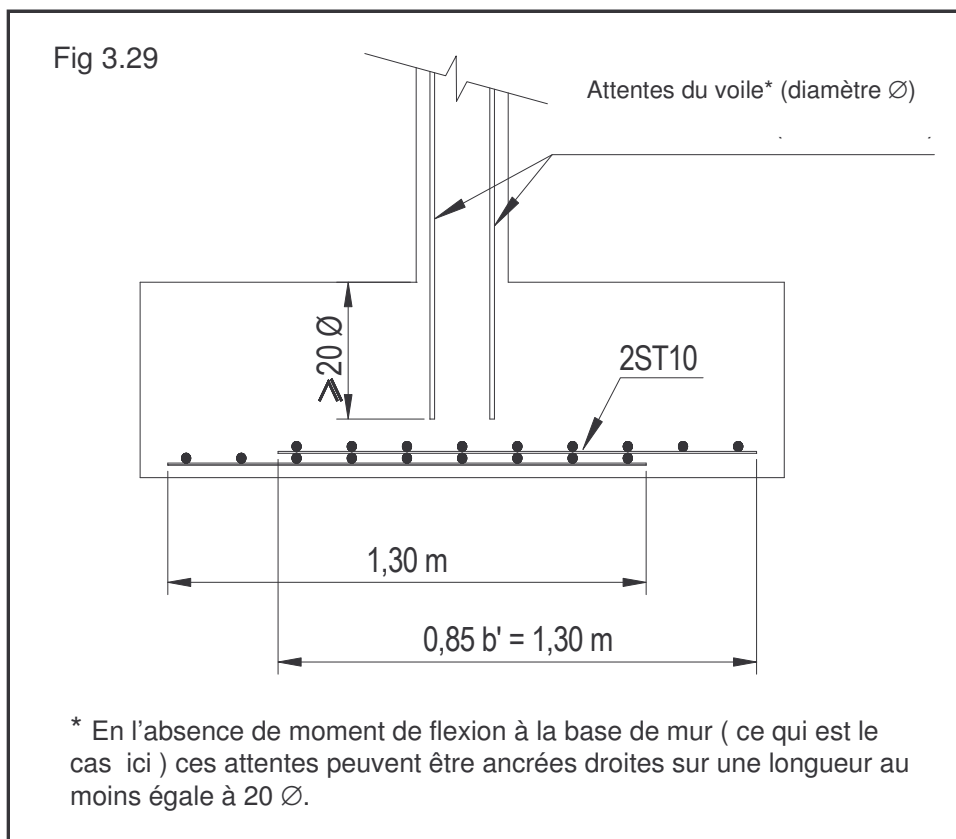
- perpendiculairement au mur, une section de $2 \times 1,19 = 2,38 \text{ cm}^2/\text{m} > 1,8$ requis,
- parallèlement au mur, une section de $2 \times 1,19 = 2,38 \text{ cm}^2/\text{m} > 1,6$ requis.

c) Arrêt des fils :

La formule [3.2] avec $k' = 2,89$ correspondant aux deux ST 10 choisis (tableau III-1) conduit à :

$$\tau_s = 2,89 \times \frac{0,22}{1,5} \times \frac{1,30}{0,47} = 1,17 \text{ MPa}$$

Cette valeur est inférieure à $0,5 \tau_{su} = 0,5 (1,35 f_{t28}) = 1,42 \text{ MPa}$. En conséquence on peut mettre les deux panneaux en portefeuille (fig.3.29), en disposant chacun d'eux sur $0,85 b' = 1,30 \text{ m}$.



4.3. SEMELLES CONTINUES SOUS MURS SOUMIS À UN MOMENT DE FLEXION

Dans ce cas il convient d'appliquer la méthode générale.

Dans cette méthode, on admet que, sous la combinaison d'actions la plus défavorable à l'état-limite ultime, la pression sur le sol :

- est uniforme et au plus égale à la contrainte limite σ_q ;
- s'exerce sur une aire dont le centre de gravité est confondu avec le point de passage de la résultante des forces extérieures dans la section de base de la semelle.

4.3,1. choix des dimensions

– hauteur h : $\frac{d_0}{2} \leq h \leq 2d_0$

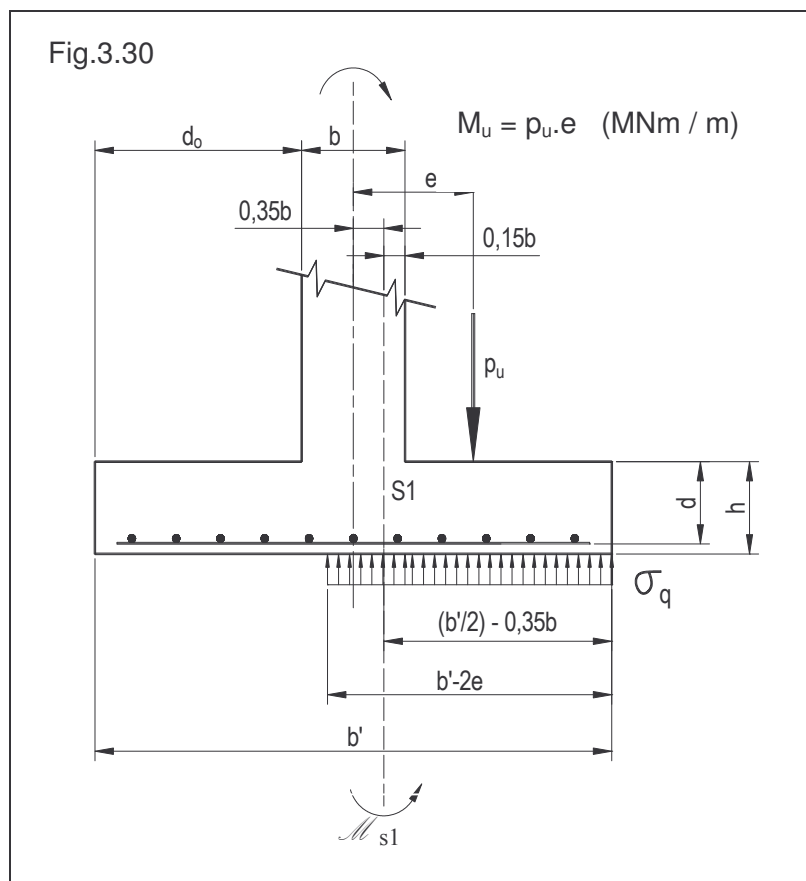
– Largeur b' : $b' \geq 2e + \frac{1,35g_0 + p_u}{\sigma_q}$

avec g_0 poids propre par unité de longueur de la semelle et des terres qui la surmontent
 p_u résultante des forces verticales par unité de longueur, à la base du mur,
à l'état-limite ultime

e excentricité de p_u , y compris l'excentricité additionnelle et les effets du second ordre
(fig. 3.30)

σ_q voir 3.3,1

d_0 voir 3.6,a



4.3,2. moment fléchissant dans la section S_1

L'armature transversale (perpendiculaire au mur) inférieure de la semelle est déterminée par les sollicitations agissant dans la section S_1 définie conventionnellement comme suit :

La section S_1 est la surface plane normale à la surface d'appui et située à une distance du plan axial du mur égale à $0,35 b$, du côté où s'exerce p_u , b étant l'épaisseur du mur.

Remarque :

On ne considère pas la section au nu du mur, car la valeur du moment croît entre ce nu et le plan axial du mur. Le décalage de $0,15 b$ en retrait par rapport au nu du mur, permet de tenir compte de ce fait.

Deux cas peuvent se présenter :

a) Si $e < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$: la section S_1 coupe le diagramme des réactions du sol (fig. 3.31) :

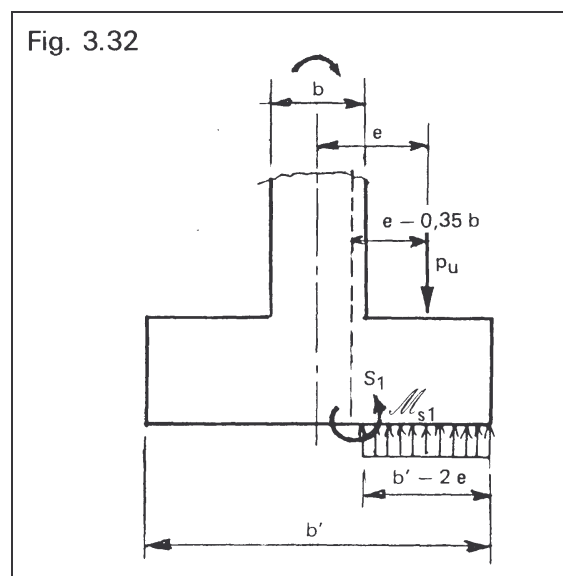
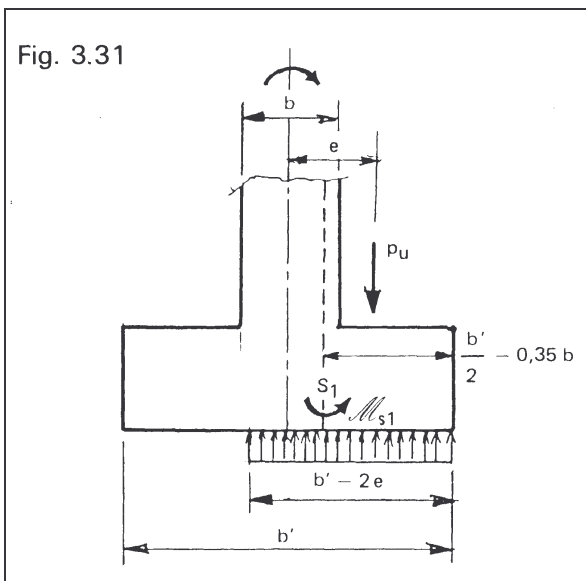
Dans ce cas :

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right)^2 \frac{p_u}{2(b' - 2e)} \quad (\text{MNm/m, MN/m, m}) \quad \text{formule [3.3]}$$

b) Si $e \geq \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$: le diagramme des réactions du sol est tout entier au-delà de la section S_1 (voir fig. 3.32).

Dans ce cas :

$$\mathcal{M}_{s1} = p_u (e - 0,35b) \quad (\text{MNm/m, MN/m, m}) \quad \text{formule [3.4]}$$



La section du treillis soudé déterminée à l'état-limite ultime à partir de \mathcal{M}_{s1} est valable dans le cas où la fissuration est peu préjudiciable. Elle doit être majorée :

- de 10% lorsque la fissuration de la semelle est considérée comme préjudiciable ;
- de 50 % lorsque cette fissuration est considérée comme très préjudiciable.

4.3.3. arrêt des fils du treillis soudé

Les bandes de treillis soudé doivent couvrir la totalité de la largeur de la semelle (une disposition «en portefeuille», par exemple, comme sur la fig.3.29, n'est pas autorisée). En outre :

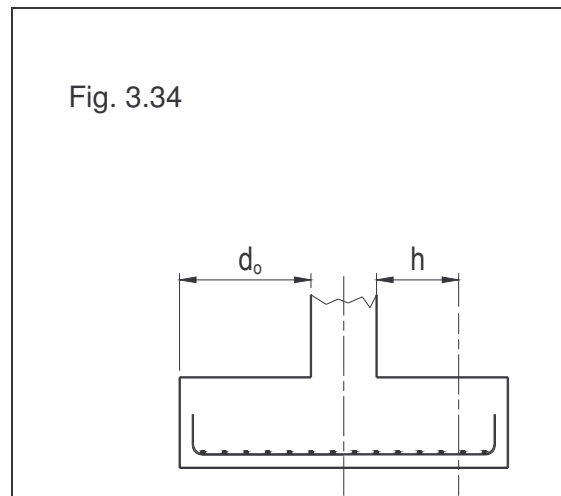
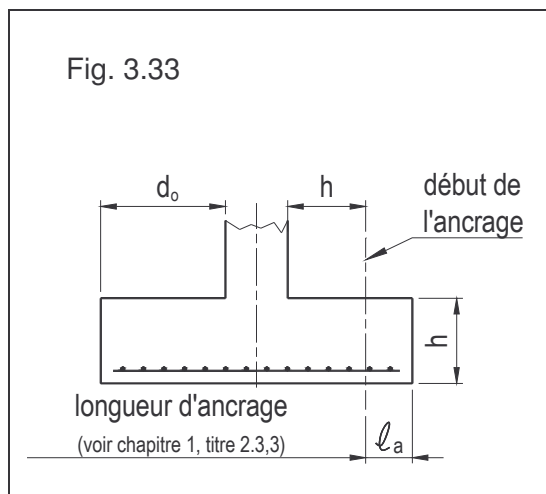
a) si $d_o \leq h$

Les fils du treillis doivent être munis de crochets normaux ou d'ancrages courbes équivalents, et s'étendre jusqu'au voisinage immédiat du bord extérieur de la semelle.

Dans ce cas, il n'y a pas à vérifier la condition d'adhérence des fils s'il a été prévu au moins quatre fils par mètre de largeur de semelle.

b) si $d_o > h$

Dans ce cas, l'ancrage total des fils du treillis doit être assuré au-delà de la section située à la distance h du nu du mur (figures 3.33 et 3.34).



On doit de plus vérifier la condition d'adhérence qui s'écrit :

$$V_{u1} \leq \frac{0,675 d_1 f_{t28}}{k'} \quad (\text{MN/m, m, MPa})$$

V_{u1} effort tranchant dans la section S_1 étant égal à :

$$V_{u1} = \frac{p_u}{2} \cdot \frac{b' - 0,7b}{b' - 2e} \quad \text{si } e < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$$

$$V_{u1} = p_u \quad \text{si } e \geq \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$$

La hauteur d_1 est prise égale à :

$$d_1 = \text{Min} \left[d ; 1,5 \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right) \right]$$

k' coefficient défini en 4.2-c, tableau III-1.

4.3.4. fils parallèles au mur

La section en cm^2/m des fils longitudinaux (parallèles au mur) doit être au moins égale au cinquième de la section en cm^2/m des fils dans le sens perpendiculaire. Des vérifications

complémentaires sont à faire dans le cas d'un sol de mauvaise qualité ou d'ouvertures à la base du mur (voir 4.2,4).

4.3,5. armatures supérieures

Dans le cas où la résultante des actions extérieures est très excentrée, il y a lieu de déterminer les tractions qui s'exercent à la partie supérieure de la semelle sous l'effet de son poids propre et de celui des terres qui la surmontent, et de les équilibrer par des armatures placées à la partie supérieure, perpendiculairement au mur (calcul en console, figure 3.35).

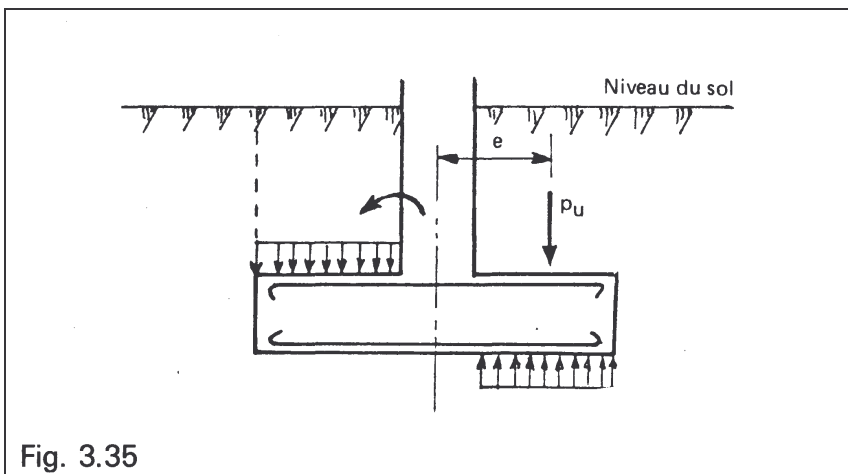


Fig. 3.35

4.3,6. effort tranchant

L'effort tranchant de référence V_{u2} , évalué par unité de longueur de semelle, est la résultante des composantes normales à la surface d'appui des forces appliquées à la semelle d'un même côté de la section de référence S_2 définie ci-après.

a) Section de référence S_2 :

La section de référence S_2 , perpendiculaire à la surface d'appui de la semelle, est située à une distance $\frac{d}{2}$ du nu du mur. Sa largeur est prise égale à l'unité de longueur de la semelle (fig. 3.36).

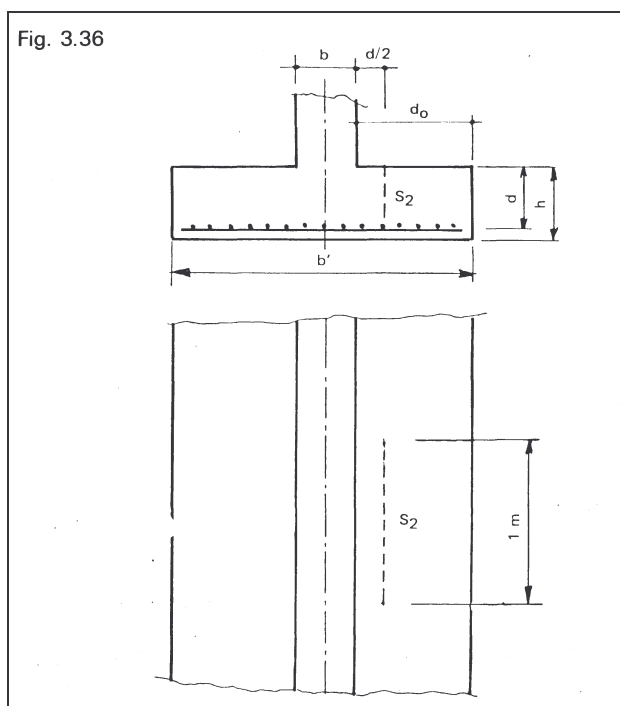


Fig. 3.36

b) Effort tranchant ultime de référence V_{u2} :

Deux cas peuvent se présenter :

$$- \text{si } e \geq \frac{1}{4}(b' + b + d) \quad V_{u2} = p_u \text{ (MN/m)}$$

$$- \text{si } e < \frac{1}{4}(b' + b + d) \quad V_{u2} = \frac{p_u}{2} \cdot \frac{b' - b - d}{b' - 2e}$$

Une armature d'effort tranchant n'est pas nécessaire si $V_{u2} \leq \bar{V}_{u2} = 0,067df_{c28}$.

4.3,7. exemple de calcul

Données:

Contrainte limite du sol	$q_u = 0,27 \text{ MPa}$
Résultante des forces verticales à l'état-limite ultime (durée d'application supérieure à 24 h)	$p_u = 200 \text{ kN / m}$
Moment de flexion sollicitant la base du mur à l'état-limite ultime	$M_u = 50 \text{ kNm / m}$
Largeur du mur	$b = 0,20 \text{ m}$
Fissuration de la semelle considérée comme préjudiciable	
Résistance caractéristique spécifiée	$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

a) Dimensionnement de la semelle :

$$- \text{Excentricité} \quad e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{M_u}{p_u} = \frac{50}{200} = 0,25 \text{ m}$$

$$- \text{Largeur de la semelle} \quad b' \geq 2e + \frac{1,35g_0 + p_u}{\sigma_q} = 2 \times 0,25 + \frac{1,35 \times 0,05 + 0,2}{0,135} = 2,48 \text{ m}$$

(en estimant *a priori* g_0 à $50 \text{ kN/m} = 0,05 \text{ MN/m}$)

$$\text{Prenons} \quad b' = 2,50 \text{ m}$$

$$\text{Débord} \quad d_o = \frac{b' - b}{2} = \frac{2,50 - 0,20}{2} = 1,15 \text{ m}$$

$$\text{Hauteur} \quad h \geq \frac{d_o}{2} = 0,575 \text{ m} ; \text{ on prend : } h = 0,60 \text{ m.}$$

b) Vérification de la portance du sol :

Poids propre exact de la semelle compte tenu de ses dimensions :

$$g_0 = 0,25 \times 0,6 \times 2,5 = 37,5 \text{ kN/m} = 0,0375 \text{ MN/m} (< 0,050 \text{ MN/m estimés a priori pour déterminer la largeur } b')$$

$$\text{Contrainte du sol : } \sigma = \frac{p_u + 1,35g_0}{b' - 2e} = \frac{0,200 + 1,35 \times 0,0375}{2,5 - 2 \times 0,25} = 0,125 \text{ MPa}$$

On a bien $\sigma = 0,125 \text{ MPa} < \sigma_q = \frac{q_u}{2} = 0,135 \text{ MPa}$

c) Armatures

$$\frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right) = \frac{1}{2} (1,25 + 0,07) = 0,66 \text{ m}$$

$$e = 0,25 \text{ m} < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right) = 0,66 \text{ m} \text{ d'où par la formule [3.3] :}$$

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right)^2 \frac{p_u}{2(b'-2e)} = (1,25 - 0,07)^2 \frac{0,2}{2(2,5 - 0,5)} = 0,0696 \text{ MNm/m}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{bu} &= \frac{0,85}{\theta} \cdot \frac{f_{c28}^{(1)}}{1,5} = 14,2 \text{ MPa} \\ d &= 0,60 - 0,03 = 0,57 \text{ m} \\ \mu_u &= \frac{0,0696}{(0,57)^2 \times 14,2} = 0,0151 \end{aligned} \right\} k = 23,2 \text{ valeur donnée par l'abaque 2.44 du chapitre 2}$$

d'où $A = 23,2 \times \frac{0,0696}{0,57} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m}$ pour une fissuration peu préjudiciable, mais comme, dans le cas considéré, la fissuration est considérée comme préjudiciable, cette section doit être majorée de 10%. On retient donc : $A \geq 1,10 \times 2,83 = 3,11 \text{ cm}^2/\text{m}$

Pour réaliser cette section on peut prendre un panneau standard ST 35,

$$S = 3,85 \text{ cm}^2/\text{m} (\text{Ø } 7 \text{ E} = 100)$$

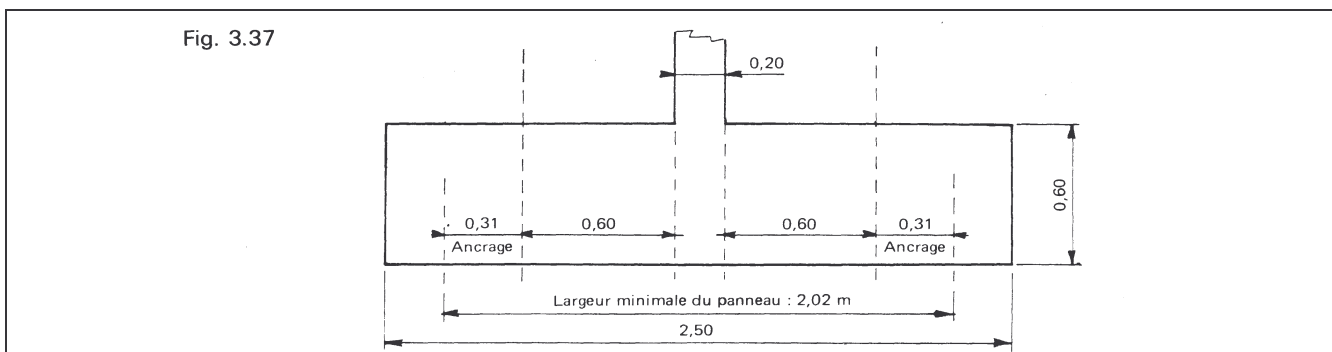
$$s = 1,28 \text{ cm}^2/\text{m} (\text{Ø } 7 \text{ e} = 300)$$

Comme $d_0 = 1,15 \text{ m}$ est supérieur à $h = 0,60 \text{ m}$, l'armature principale doit être totalement ancrée à partir de la section située à $h = 0,60 \text{ m}$ du nu du mur. Or pour des panneaux dont les fils ont un diamètre de 7 mm, la longueur d'ancrage des fils principaux est $\ell_s = 44 \text{ Ø} \approx 0,31 \text{ m}$ (chapitre 1, titre 2.3.3).

La longueur minimale du panneau à prévoir doit donc être de :

$$2(0,60 + 0,31) + 0,20 = 2,02 \text{ m}$$

valeur inférieure à la largeur de la semelle. Il n'est pas nécessaire de prévoir des ancrages courbes, mais on couvrira toute la largeur de la semelle en disposant des panneaux de 2,40 m de longueur.



Il reste à vérifier les conditions relatives à l'adhérence et à l'effort tranchant :

(1) $\theta = 1$, puisque la durée d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieure à 24 h.

d) Vérification de la condition d'adhérence :

$$V_{u1} = \frac{p_u}{2} \cdot \frac{b' - 0,7b}{b' - 2e} = \frac{0,2}{2} \times \frac{2,5 - 0,7 \times 0,2}{2,5 - 0,5} = 0,118 \text{ MN/m}$$

$$V_{u1}, \text{ doit être inférieur à } 0,675 \frac{d_1 f_{t28}}{k'}$$

$$\text{avec } d_1 = \text{Min} \left[d ; 1,5 \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right) \right]$$

$$= \text{Min} [0,57 ; 1,5 (1,25 - 0,35 \times 0,2)] = \text{Min} [0,57 ; 1,77] = 0,57 \text{ m}$$

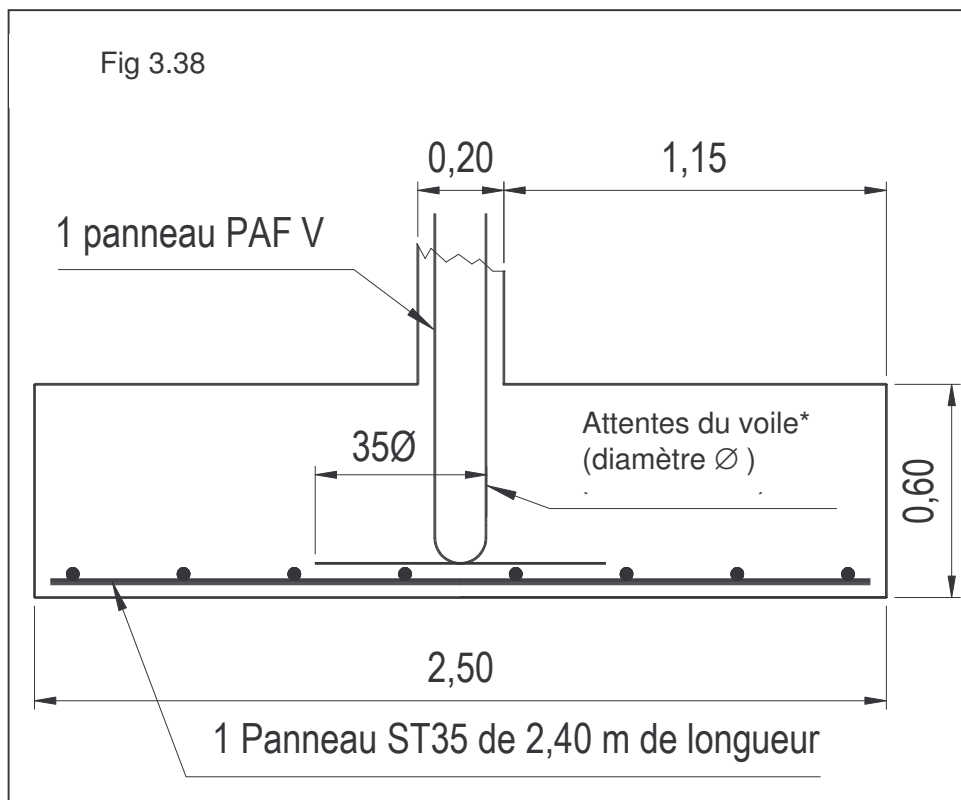
$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

$$k' = 2,27 \text{ voir tableau III-1}$$

On a bien

$$V_{u1} = 0,118 \text{ MN/m} < 0,675 \frac{0,57 \times 2,1}{2,27} = 0,356 \text{ MN/m}$$

La condition d'adhérence est donc vérifiée.



* Le retour d'équerre de longueur $35 \varnothing$ est indispensable pour ces attentes, étant donné le moment fléchissant à la base du mur ; on peut toutefois s'en passer si l'on donne à ces attentes une forme d'épingles à cheveux descendant jusqu'au niveau des armatures de la semelle.

e) Vérification de l'effort tranchant dans la section S_2

$$\text{Comme } e = 0,25 \text{ m} < \left(\frac{b' + b + d}{4} \right) = \frac{(2,5 + 0,2 + 0,57)}{4} = 0,817 \text{ m}$$

$$\text{On a } V_{u2} = \frac{p_u}{2} \cdot \frac{b'-b-d}{b'-2e} = \frac{0,2}{2} \cdot \frac{(2,5 - 0,2 - 0,57)}{2,5 - 0,5} = 0,086 \text{ MN/m}$$

$$\text{D'autre part : } \bar{V}_{u2} = 0,067 d f_{c28} = 0,067 \times 0,57 \times 25 = 0,955 \text{ MN/m}$$

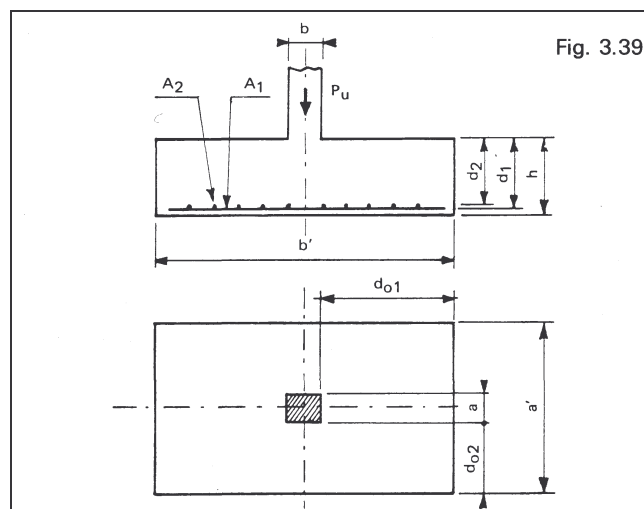
Par conséquent, on a bien $V_{u2} < \bar{V}_{u2}$ et des armatures d'effort tranchant ne sont pas nécessaires.

4.4. SEMELLES RECTANGULAIRES SOUS POTEAUX RECTANGULAIRES SOU MIS À UN EFFORT CENTRÉ

Pour traiter ce cas la méthode la plus simple et la plus rapide est la méthode des bielles. En toute rigueur cette méthode n'est applicable qu'au cas où la section de base de la semelle et celle du poteau sont homothétiques. On admet cependant que la méthode est encore applicable lorsque cette condition n'est pas remplie, sous réserve que les débords soient sensiblement égaux ($d_{o1} \approx d_{o2}$).

4.4,1. choix des dimensions

Les dimensions doivent être telles que la réaction du sol sous la semelle puisse être considérée comme uniforme et qu'elle soit admissible vis-à-vis des tassements.



a) Surface

Les dimensions a' et b' en plan de la semelle doivent être telles que :

$$a'b' \geq \frac{P_u + 1,35 G_o}{\sigma_q}$$

avec P_u résultante des forces verticales à l'état-limite ultime à la base du poteau et G_o poids propre de la semelle.

b) Hauteur

Soit d_{o1} le grand débord : $d_{o1} = \text{Max} \left[\frac{a'-a}{2}; \frac{b'-b}{2} \right]$ et d_{o2} le petit.

La hauteur doit être telle que les hauteurs utiles des lits d'armatures parallèles à chaque côté vérifient la condition :

$$\frac{d_{o1}}{2} \leq (d_1 \text{ et } d_2) \leq 2d_{o2} \quad \text{formule [3.4 bis]}$$

De plus dans le cas où les pressions sur le sol sont très élevées, à moins que $d_1 \geq d_{o1}$, il y lieu de procéder à la vérification de non-poinçonnement :

$$(P_u + 1,35 G_o) \left[1 - \frac{(a+2h)(b+2h)}{a'b'} \right] \leq 0,09h(a+b+2h) \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

avec f_{c28} résistance du béton à la compression. ($\gamma_b = 1,5$ en général).

4.4,2. treillis soudé

Le treillis soudé doit être disposé en sorte que les fils les plus bas soient placés dans le sens du grand débord.

Dans le cas où la fissuration de la semelle est considérée comme peu préjudiciable, la section des fils à disposer par mètre est :

$$\left. \begin{array}{l} \text{– parallèlement au grand côté } A_1 = 5,75 \frac{P_u}{a'} \times \frac{d_{o1}}{d_1} \\ \text{– parallèlement au petit côté } A_2 = 5,75 \frac{P_u}{a'} \times \frac{d_{o2}}{d_2} \end{array} \right\} \quad (\text{cm}^2/\text{m}, \text{MN}, \text{m}) \quad \text{formules [3.5]}$$

Ces sections doivent être majorées de :

- 10% dans le cas où la fissuration de la semelle est considérée comme préjudiciable.
- 50% dans le cas où la fissuration est considérée comme très préjudiciable.

L'abaque 3.27 donne directement pour chaque sens les couples diamètre/espacement possibles, ce qui permet de choisir le panneau le mieux approprié (lecture des espacements à *droite* de la ligne verticale correspondant au diamètre choisi).

4.4,3. arrêt des fils du treillis soudé

De même que pour les semelles continues sous mur les fils s'étendent dans chaque sens sur toute la dimension de la semelle et sont terminés par des crochets normaux ou autres ancrages courbes équivalents.

Dans chaque direction on peut soit se dispenser des ancrages courbes soit disposer les panneaux en deux lits dont l'un ne couvre pas toute la surface de la semelle, si l'on vérifie dans chaque sens les conditions définies au paragraphe 4.2,3, avec cependant une minoration de 20 % de τ_{su} , ce qui conduit, à $\tau_{su} = 1,1 f_{t28}$.

4.4,4. exemple de calcul

Données

- Contrainte limite du sol $q_u = 0,4 \text{ MPa}$
- Résultante des forces verticales à l'état-limite ultime $P_u = 700 \text{ kN} = 0,7 \text{ MN}$
- Dimensions du poteau $\begin{cases} a = 0,25 \text{ m} \\ b = 0,40 \text{ m} \end{cases}$
- La fissuration de la semelle est considérée comme très préjudiciable
- Résistance caractéristique spécifiée du béton $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

a) Dimensionnement de la semelle :

- Réponse du sol $\sigma_q = \frac{q_u}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ MPa}$
- Surface de la semelle $a'b' \geq \frac{P_u + 1,35 G_o}{\sigma_q} = \frac{0,700 + 1,35 \times 0,05}{0,2} = 3,84 \text{ m}^2$

(en estimant *a priori* G_o à $50 \text{ kN} = 0,05 \text{ MN}$)

Prenons $a' = 1,60 \text{ m}$
 $b' = 2,50 \text{ m}$ (fig. 3.40)

ce qui correspond à $a' b' = 4,0 > 3,84 \text{ m}^2$

et $\frac{b'}{a'} = 1,56 \approx \frac{b}{a} = 1,6$

Les débords valent

$$d_{o1} = \frac{b'-b}{2} = \frac{2,50 - 0,4}{2} = 1,05 \text{ m}$$

$$d_{o2} = \frac{a'-a}{2} = \frac{1,60 - 0,25}{2} = 0,675 \text{ m}$$

La condition [3.4 bis] donne

$$\frac{1,05}{2} \leq (d_1 \text{ et } d_2) \leq 2 \times 0,675 \text{ m}$$

soit : $0,525 \text{ m} \leq (d_1 \text{ et } d_2) \leq 1,35 \text{ m}$.

En adoptant $h = 0,65 \text{ m}$, on aura : $d_1 = 0,61 \text{ m}$
 $d_2 = 0,60 \text{ m}$

valeurs qui satisfont à la double condition ci-dessus.

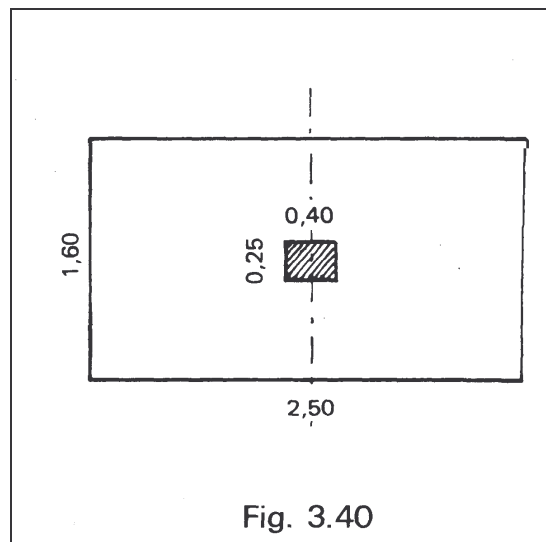


Fig. 3.40

Avec la valeur de h choisie, $G_o = 65 \text{ kN} > 50 \text{ kN}$ estimé *a priori*. Pour cette nouvelle valeur de G_o , on trouve que la semelle doit avoir une surface au moins égale à $3,94 \text{ m}^2$, ce qui est le cas (4 m^2). On ne change donc rien.

b) Choix du treillis soudé :

1 - Si la fissuration avait été peu préjudiciable on aurait eu (formules [3.5]) :

$$A_1 \geq 5,75 \times \frac{0,7}{1,6} \times \frac{1,05}{0,61} = 4,33 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_2 \geq 5,75 \times \frac{0,7}{2,5} \times \frac{0,675}{0,6} = 1,82 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

2 – Comme la fissuration est très préjudiciable, il faut prendre (majoration de 50%):

$$A_1 \geq 1,50 \times 4,33 = 6,5 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ parallèlement au grand côté ;}$$

$$A_2 \geq 1,50 \times 1,82 = 2,73 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ parallèlement au petit côté.}$$

ce qui correspond sensiblement à un panneau ST 50 et à un panneau ST 20 superposés parallèlement, le panneau ST 50 ($\varnothing 8$) placé le plus bas (voir chapitre 1, titre 2.2,2) :
($5,03 + 1,88 = 6,91 \text{ cm}^2/\text{m}$ et $1,68 + 1,28 = 2,96 \text{ cm}^2/\text{m}$).

En utilisant l'abaque 3.27 on aurait trouvé directement :

$$\text{– pour } 1,5p_u = \frac{1,5P_u}{a'} = \frac{1,5 \times 0,7}{1,6} = 0,656 \text{ MN/m}$$

$$\text{et } \frac{d_o}{d} = \frac{b'-b}{2d_1} = \frac{2,5-0,4}{2 \times 0,61} = 1,72$$

$$A_1 = 6,5 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\text{– pour } 1,5p_u = \frac{1,5P_u}{b'} = \frac{1,5 \times 0,7}{2,5} = 0,42 \text{ MN/m}$$

$$\text{et } \frac{d_o}{d} = \frac{a'-a}{2d_2} = \frac{1,6-0,25}{2 \times 0,6} = 1,125$$

$$A_2 = 2,7 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

c) Arrêt des fils du treillis soudé :

La contrainte d'adhérence limite vaut (voir 4.4,3)

$$\tau_{su} = 1,1 f_{t28} = 1,1 \times 2,1 = 2,3 \text{ MPa}$$

Or on a :

– pour les fils disposés dans le sens du grand débord (tableau III-1, avec k' en m^{-1}):

$$\tau_{su} = k' \cdot \frac{P_u}{b'} \cdot \frac{d_{o1}}{d_1} = 1,33 \times \frac{0,7}{2,5} \times \frac{1,05}{0,61} = 0,64 \text{ MPa}$$

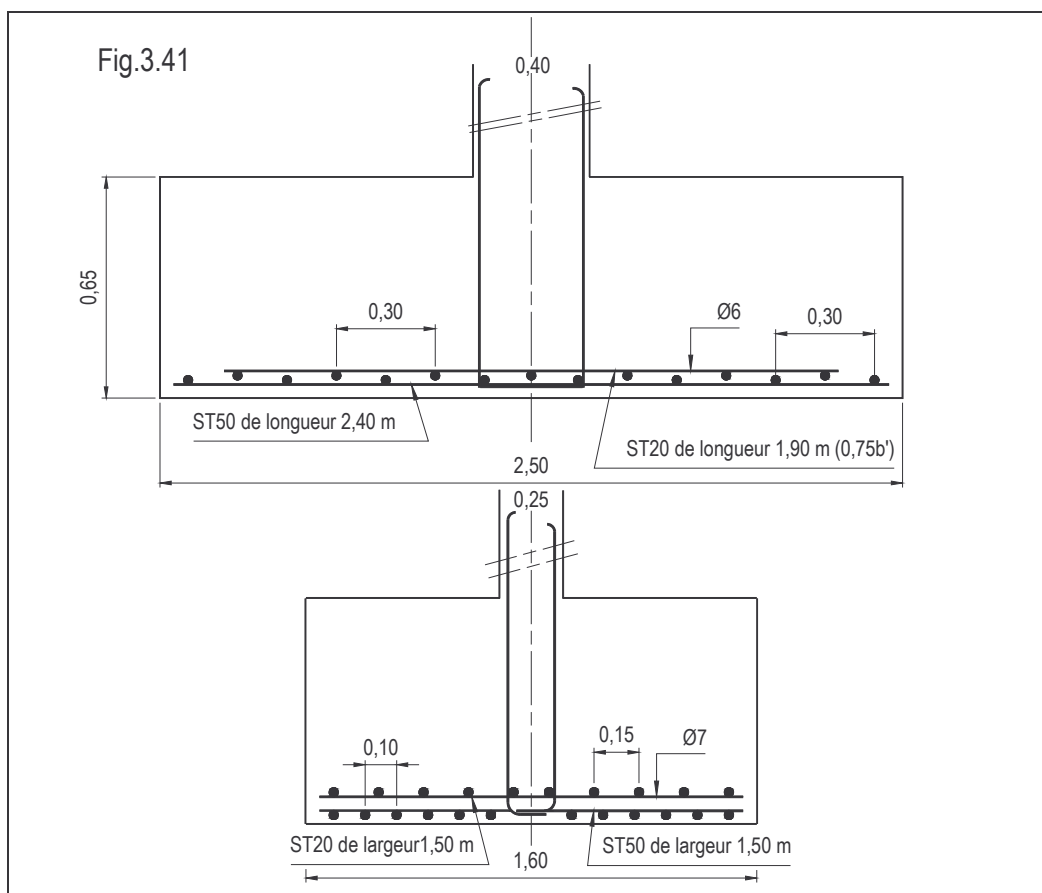
Comme $\tau_s < \frac{\tau_{su}}{2} = 1,15 \text{ MPa}$ on peut donner aux deux panneaux des longueurs différentes, et placer :

- en partie inférieure le panneau ST 50 en lui donnant une longueur ($b' - 0,10 \text{ m}$) = 2,40 m,
- et au-dessus, le panneau ST 20 sur une longueur de $0,75 b' = 1,90 \text{ m}$.
- pour les fils disposés dans le sens du petit débord (tableau III-2, avec k' en m^{-1}) :

$$\tau_s = k' \cdot \frac{P_u}{a'} \cdot \frac{d_{o2}}{d_2} = 3,18 \times \frac{0,7}{1,6} \times \frac{0,675}{0,6} = 1,57 \text{ MPa}$$

Comme, $1,15 < 1,57 < 2,3$ $\left(\frac{\tau_{su}}{2} < \tau_s < \tau_{su} \right)$, les deux panneaux doivent s'étendre d'un bord à l'autre de la semelle.

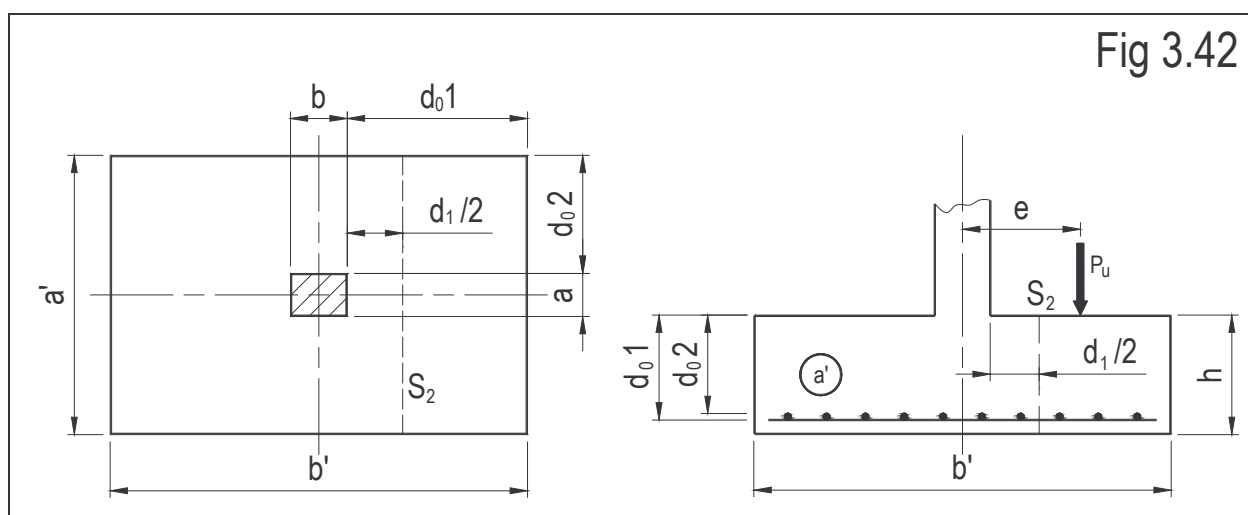
d) Disposition du ferrillage (fig. 3.41) :



4.5. SEMELLES RECTANGULAIRES SOUS POTEAUX RECTANGULAIRES SOUMIS À UN MOMENT DE FLEXION

Dans ce cas il convient d'appliquer la méthode générale.

4.5,1. choix des dimensions



a) Surface : elle doit être telle que : $a'(b'-2e) \geq \frac{1,35G_o + P_u}{\sigma_q}$

avec G_o : poids propre de la semelle et des terres qui la surmontent

P_u : résultante des forces verticales à l'état-limite ultime, dans la section de base du poteau

e : excentricité de P_u (y compris effets du second ordre et excentricité additionnelle).

b) Hauteur h : elle doit être telle que :

$$\frac{d_{o1}}{2} \leq h \leq 2d_{o1}$$

où d_{o1} représente le grand débord (fig. 3.42).

4.5.2. moment fléchissant dans la section S_1

De même qu'au titre 4.3,2 du présent chapitre (voir fig 3.31 et 3.32, en remplaçant p_u par P_u), deux cas peuvent se présenter :

a) Si $e < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$:

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right)^2 \frac{P_u}{2(b'-2e)} \quad (\text{MNm, MN, m}) \quad \text{formule [3.6]}$$

b) Si $e \geq \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$:

$$\mathcal{M}_{s1} = P_u(e - 0,35b) \quad (\text{MNm, MN, m}) \quad \text{formule [3.7]}$$

La section totale des fils du treillis soudé déterminée à partir de \mathcal{M}_{s1} correspond au cas où la fissuration est peu préjudiciable ; elle est à majorer :

– de 10% si la fissuration de la semelle est considérée comme préjudiciable.

– de 50 % si cette fissuration est considérée comme très préjudiciable.

Dans le sens perpendiculaire a' (où $e = 0$), la section des fils peut être déterminée :

– soit par la même méthode, en prenant :

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{a'}{2} - 0,35a \right)^2 \frac{P}{2a'} \quad (\text{MNm, MN, m}) \quad \text{formule [3.8]}$$

– soit par la méthode des bielles, en appliquant la formule [3.5] avec $d_{o2} = \frac{a'-a}{2}$

La section mise en place (en cm^2/m) ne doit pas être inférieure au cinquième de la section (en cm^2/m) des fils parallèles au plan de flexion du poteau (sens b').

4.5.3. arrêt des fils du treillis soudé

Si $d_o \leq h$ les fils ne peuvent être arrêtés avant les extrémités de la semelle, où ils doivent être totalement ancrés.

Si $d_o > h$ l'ancrage total n'est exigé qu'au-delà de la section située à la distance h du nu du poteau.

Dans ce cas, la vérification de la condition d'adhérence s'effectue comme suit :

a) pour une section S_1 parallèle au côté a' (S_{1a}) :

$$V_{u1} = \frac{P_u}{2} \frac{b' - 0,7b}{b' - 2e} \quad \text{si } e < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$$

$$V_{u1} = P_u \quad \text{si } e \geq \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right)$$

Dans l'un ou l'autre cas il faut vérifier que :

$$V_{u1} \leq \frac{0,54 a' d_{1a} f_{t28}}{k'} \quad \text{formule [3.9]}$$

avec k' tiré du tableau III-1

$$\text{et } d_{1a} = \text{Min} \left[d_1 ; 1,5 \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right) \right]$$

d_1 hauteur utile dans la section S_{1a}

b) pour une section S_1 parallèle au côté b' (S_{1b})

$$V_{u1} = P_u \frac{a' - 0,7a}{2a'}$$

et la condition à vérifier est :

$$V_{u1} \leq \frac{0,54 b' d_{1b} f_{t28}}{k'} \quad \text{formule [3.10]}$$

avec k' tiré du tableau III-2

$$\text{et } d_{1b} = \text{Min} \left[d_2 ; 1,5 \left(\frac{a'}{2} - 0,35a \right) \right]$$

d_2 hauteur utile dans la section S_{1b}

4.5.4. armatures supérieures

Se reporter au titre 4.3,5 du présent chapitre.

4.5.5. effort tranchant dans la section S_2

La section de référence S_2 parallèle au côté a' est située à une distance $\frac{d_1}{2}$ du nu du poteau (voir fig. 3.42).

L'effort tranchant de référence est :

$$- \text{si } e \geq \frac{(b'+b+d_1)}{4} \quad V_{u2} = P_u$$

$$- \text{si } e < \frac{(b'+b+d_1)}{4} \quad V_{u2} = \frac{P_u}{2} \frac{(b'-b-d_1)}{b'-2e}$$

Il faut avoir :

$$V_{u2} \leq \bar{V}_{u2} = 0,067 (a + d_1) d_1 f_{c28}$$

4.5,6. exemple de calcul

Données

- Contrainte ultime du sol $q_u = 0,5 \text{ MPa}$
- Résultante des forces verticales à l'état-limite ultime (durée d'application supérieure à 24 h) $P_u = 0,500 \text{ MN}$
- Moment de flexion sollicitant la base du poteau à l'état-limite ultime (y compris effets du 2e ordre) $M_u = 0,150 \text{ MNm}$
- Dimensions du poteau $\begin{cases} a=0,40 \text{ m} \\ b=0,50 \text{ m} \end{cases}$
- La fissuration de la semelle est considérée comme peu préjudiciable
- Résistance caractéristique spécifiée du béton $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

a) Dimensionnement de la semelle :

– Réponse du sol $\sigma_q = \frac{q_u}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ MPa}$

– Excentricité $e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{150}{500} = 0,30 \text{ m}$

1 – Surface de la semelle

En estimant a priori à $30 \text{ kN} = 0,03 \text{ MN}$ le poids propre de la semelle, il faut avoir :

$$a'(b' - 2 \times 0,30) \geq \frac{0,500 + 1,35 \times 0,03}{0,25}$$

c'est-à-dire : $a'(b' - 0,60) \geq 2,162 \text{ m}^2$

Prenons $a' = 1,60 \text{ m}$; $b' = 2,00 \text{ m}$

2 – Hauteur de la semelle

Elle est choisie en fonction de la double condition :

$$\frac{d_{01}}{2} \leq h \leq 2d_{01} \text{ avec } d_{01} = \frac{b' - b}{2} = \frac{2 - 0,5}{2} = 0,75 \text{ m}$$

soit $0,375 \text{ m} \leq h \leq 1,50 \text{ m}$

Prenons $h = 0,45 \text{ m}$

Compte tenu de ces dimensions, le poids propre exact de la semelle est $0,036 \text{ MN}$.

b) Vérification de la portance

$$\sigma = \frac{P_u + 1,35 G_0}{a'(b' - 2e)} = \frac{0,5 + 1,35 \times 0,036}{1,6(2 - 2 \times 0,3)} = 0,245 \text{ MPa}$$

On a bien :

$$\sigma = 0,245 \text{ MPa} < \sigma_q = 0,25 \text{ MPa}$$

Les dimensions retenues : $a' = 1,60 \text{ m}$, $b' = 2,00 \text{ m}$ conviennent donc.

c) Choix du treillis soudé

1 – Sens parallèle au plan de flexion du poteau (sens b ')

$$\frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{2,00}{2} + 0,35 \times 0,5 \right) = 0,59 \text{ m}$$

Comme $e = 0,30\text{m} < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right) = 0,59\text{m}$ le moment dans la section S_1 est donné par la formule [3.6] :

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right)^2 \times \frac{P_u}{2(b' - 2e)}$$

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{2,00}{2} - 0,35 \times 0,5 \right)^2 \times \frac{0,5}{2(2,00 - 2 \times 0,3)} = 0,121 \text{ MNm}$$

$$f_{bu} = \frac{0,85}{\theta} \frac{f_{c28}}{1,5} = 14,2 \text{ MPa}$$

$$d_1 = 0,45 - 0,04 = 0,41 \text{ m}$$

$$\mu_u = \frac{0,121}{(0,41)^2 \times 14,2 \times 1,6} = 0,032$$

$k = 23,4$ d'après l'abaque 2.44 du chapitre 2

$$A = 23,4 \times \frac{0,121}{0,41} = 6,91 \text{ cm}^2 \text{ soit } A_1 = \frac{6,91}{1,6} = 4,32 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

2 – Sens perpendiculaire au plan de flexion du poteau (sens a ')

Dans ce sens, en appliquant la formule [3.8], on trouve :

$$\mathcal{M}_{s1} = \left(\frac{a'}{2} - 0,35a \right)^2 \times \frac{P_u}{2a'} = \left(\frac{1,6}{2} - 0,35 \times 0,4 \right)^2 \times \frac{0,5}{2 \times 1,6} = 0,068 \text{ MNm}$$

Avec $f_{bu} = 14,2 \text{ MPa}$, $d_2 = 0,40 \text{ m}$ et $b' = 2,00 \text{ m}$

$$\text{On a donc : } \mu_u = \frac{0,068}{(0,4)^2 \times 14,2 \times 2} = 0,015$$

d'où $k \approx 23,2$ (abaque 2.44 du chapitre 2)

$$\text{et } A = 23,2 \times \frac{0,068}{0,4} = 3,94 \text{ cm}^2 \text{ soit } A_2 = \frac{3,94}{2,0} = 1,97 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Remarque : en appliquant pour le calcul des armatures la méthode des bielles, on aurait trouvé par la formule [3.5] :

$$A \geq 5,75 \times 0,5 \times \frac{(1,6 - 0,4)}{2} \times \frac{1}{0,4} = 4,31 \text{ cm}^2 \text{ soit } 2,15 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

valeur comparable à la valeur précédente.

3 – Choix des panneaux de treillis soudé :

En résumé, il faut :

– parallèlement au sens b' : $A_1 \geq 4,32 \text{ cm}^2/\text{m}$

– parallèlement au sens a' : $A_2 \geq 1,97 \text{ cm}^2/\text{m}$

c'est-à-dire un ST 25 plus un ST 20 superposés parallèlement ($4,45 \text{ cm}^2/\text{m}$; $2,56 \text{ cm}^2/\text{m}$)

d) Arrêt des armatures

1 – Dans la section S_{1a} :

Comme d_{o1} ($= 0,75 \text{ m}$) $>$ h ($= 0,45 \text{ m}$), les fils doivent se poursuivre jusqu'à la distance h du nu du poteau et être totalement ancrés au-delà.

Dans la section S_{1a} l'effort tranchant vaut, puisque :

$$e = 0,30 \text{ m} < \frac{1}{2} \left(\frac{b'}{2} + 0,35b \right) = 0,59 \text{ m}$$
$$V_{u1} = \frac{P_u}{2} \frac{(b' - 0,7b)}{b' - 2e} = \frac{0,5}{2} \frac{(2 - 0,7 \times 0,5)}{(2 - 2 \times 0,3)} = 0,295 \text{ MN}$$

L'effort tranchant limite vaut avec $k' = 1,84$ (voir 4.5,3 et tableau III-1):

$$\bar{V}_{u1} = 0,54 \frac{a' d_{1a} f_{t28}}{k'} = 0,54 \times \frac{1,6 \times 0,41 \times 2,1}{1,84} = 0,404 \text{ MN}$$

avec

$$d_{1a} = \text{Min} \left[d_1 ; 1,5 \left(\frac{b'}{2} - 0,35b \right) \right] = \text{Min}[0,41 ; 1,23] = 0,41 \text{ m}$$

La condition d'adhérence est donc vérifiée.

Pour ancrer les fils par des ancrages droits, la longueur disponible jusqu'à l'extrémité de la semelle, compte tenu d'un enrobage de 4 cm à l'extrémité est égale à :

$$\left(\frac{b' - b}{2} - 0,04 \right) - h = 0,75 - 0,04 - 0,45 = 0,26 \text{ m}$$

Pour des fils droits, les longueurs de scellement droit sont, respectivement :

– pour le ST 25, avec $\varnothing = 7 \text{ mm}$:

$$\ell_a = 44 \times 0,007 = 0,308 \text{ m} > 0,26$$

Il faut donc prévoir des ancrages courbes aux extrémités (retours d'équerre, chapitre 1, titre 2.3,3)

– pour le ST 20, avec $\varnothing = 6 \text{ mm}$:

$$\ell_a = 44 \times 0,006 = 0,264 \text{ m}$$

Il n'est pas nécessaire de prévoir des ancrages courbes : le panneau ST 20 s'étend, droit, sur 1,92 m de longueur.

2 – Dans la section S_{1b}

$$d_{o2} = 0,6 \text{ m} > h = 0,45 \text{ m}$$

Dans ce sens

$$V_{u1} = P_u \left(\frac{a' - 0,7a}{2a'} \right) = 0,5 \left(\frac{1,6 - 0,7 \times 0,4}{2 \times 1,6} \right) = 0,206 \text{ MN} \quad \text{voir [4.5,3]}$$

et ici, pour les fils transversaux $k' = 3,41$ (voir tableau III-2). D'où :

$$\bar{V}_{u1} = 0,54 \frac{b' d_{1b} f_{t28}}{k'} = 0,54 \times \frac{2 \times 0,4 \times 2,1}{3,41} = 0,266 \text{ MN}$$

avec

$$d_{1b} = \text{Min} \left[d_2 ; 1,5 \left(\frac{a'}{2} - 0,35a \right) \right] = \text{Min} [0,4 ; 0,99] = 0,4 \text{ m}$$

La condition d'adhérence est donc vérifiée dans les deux sens.

Dans le sens a' , la longueur disponible pour placer des ancrages droits (voir ci-dessus) est de :

$$\left(\frac{a' - a}{2} - 0,04 \right) - h = 0,60 - 0,04 - 0,45 = 0,11 \text{ m}$$

Les deux panneaux ST 25 et ST 20 ont des fils transversaux de même diamètre, 7 mm. La longueur de scellement droit est de 0,308 m > 0,11.

Les deux panneaux doivent donc être ancrés au moyen d'ancrages courbes (retours d'équerre)

e) Effort tranchant dans la section S_2

$$\text{Comme } e = 0,30 \text{ m} < \left(\frac{b' + b + d_1}{4} \right) = \left(\frac{2,0 + 0,5 + 0,41}{4} \right) = 0,73 \text{ m}$$

$$\text{On a } V_{u2} = \frac{P_u}{2} \frac{b' - b - d_1}{b' - 2e}$$

$$V_{u2} = \frac{0,5}{2} \frac{2,0 - 0,5 - 0,41}{2 - 2 \times 0,3} = 0,195 \text{ MN}$$

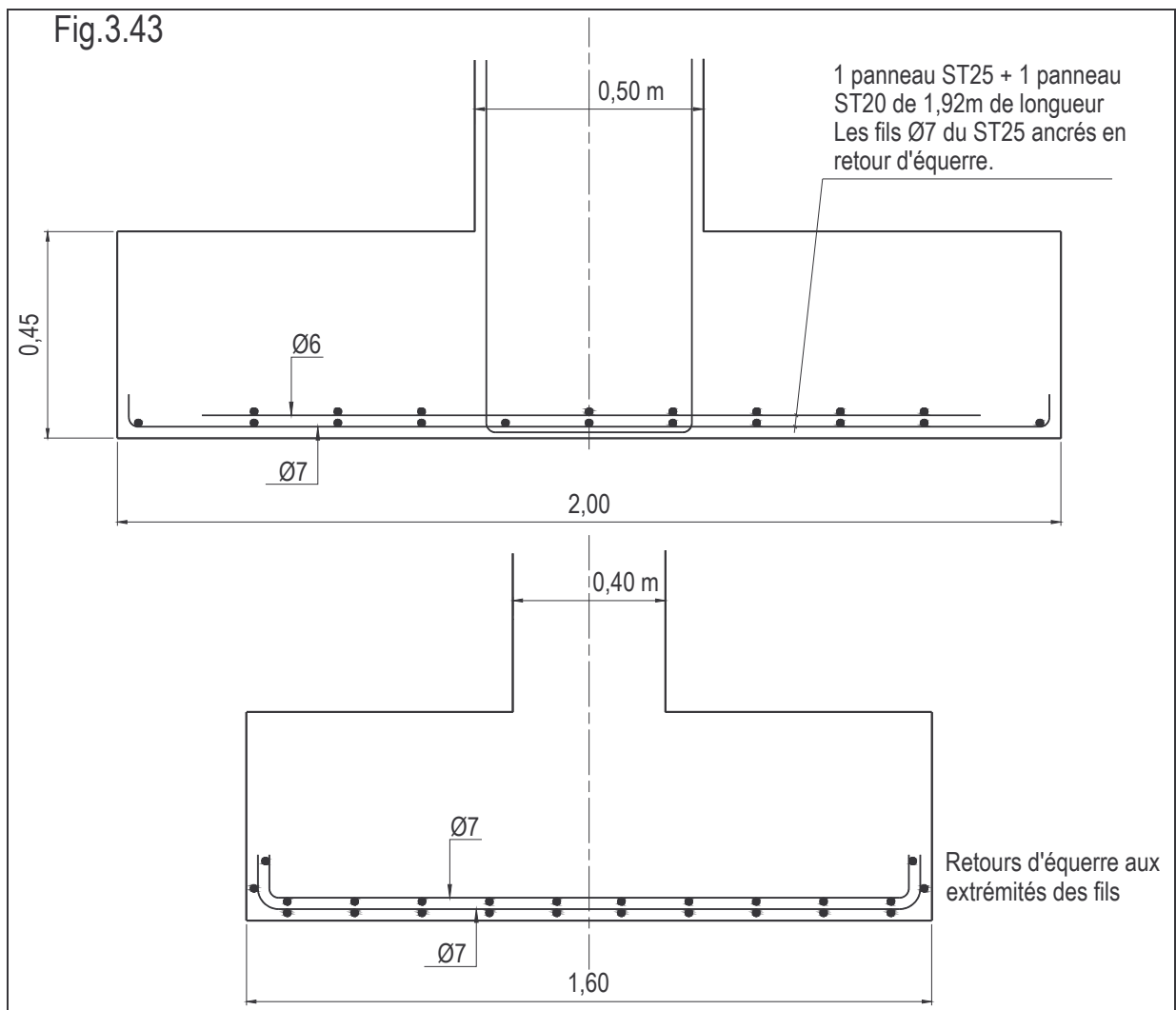
$$\text{et } \bar{V}_{u2} = 0,067 (a + d_1) d_1 f_{c28}$$

$$\bar{V}_{u2} = 0,067 (0,4 + 0,41) 0,41 \times 25 = 0,556 \text{ MN}$$

On a bien

$$V_{u2} < \bar{V}_{u2}$$

f) Disposition du ferrailage (fig. 3.43)

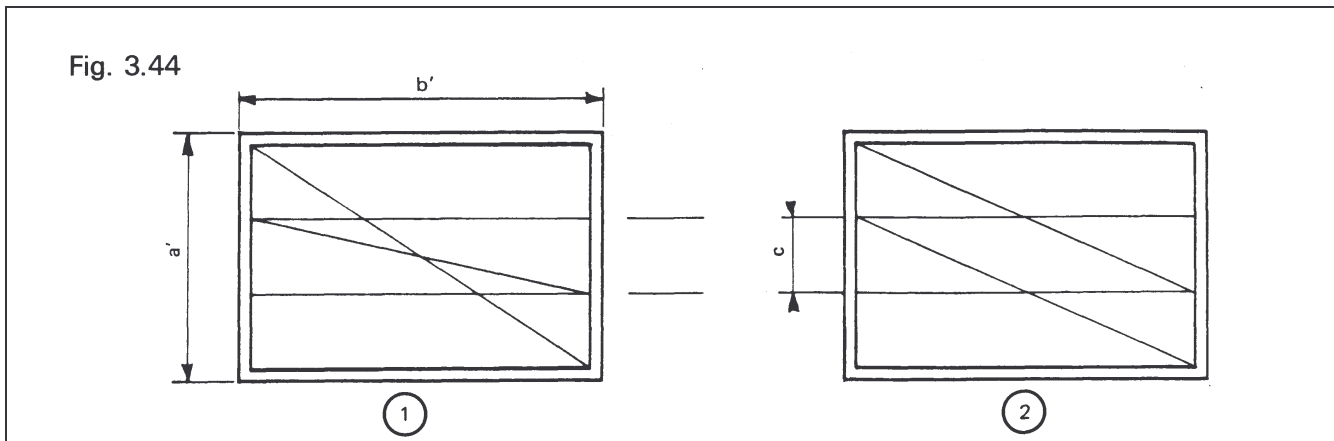


Pour le calcul des retours d'équerre, se reporter à l'exemple donné dans le chapitre 1, titre 2.3.3, page 38.

4.5,7. remarque sur la disposition des panneaux de treillis soudés

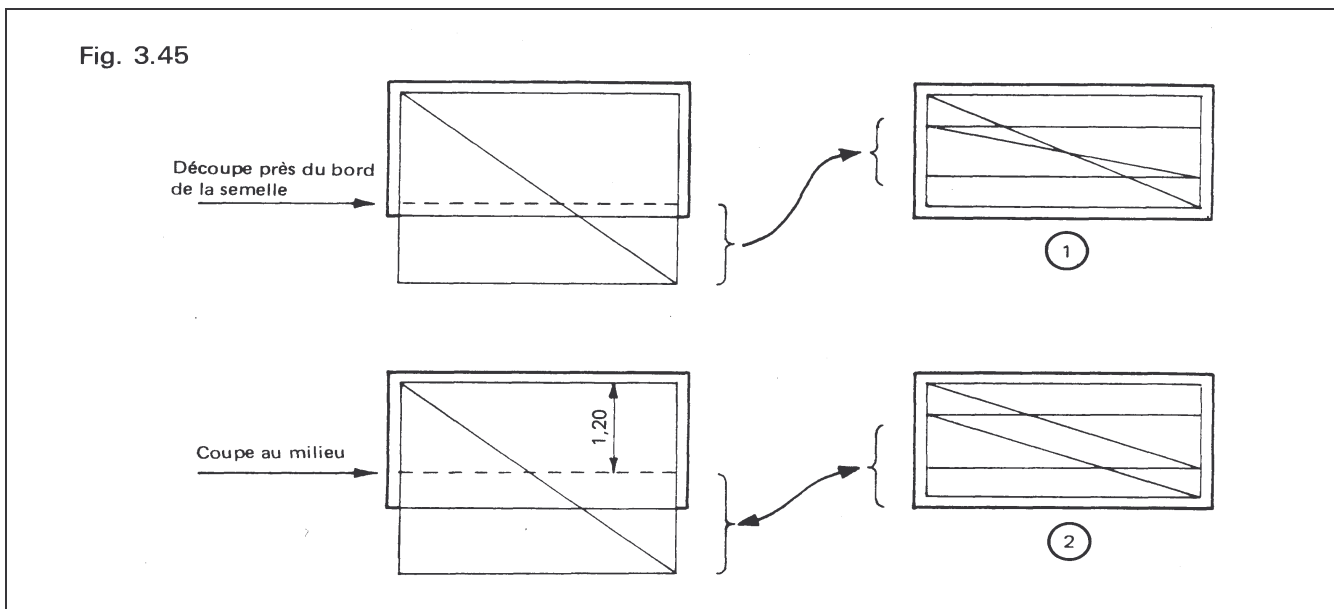
Dans les exemples qui précèdent, la solution choisie a été de disposer en partie inférieure des semelles soit un seul panneau, soit deux panneaux identiques ou différents superposés, couvrant l'un et l'autre la totalité de la surface.

Dans certains cas, il est possible, pour utiliser les chutes, d'adopter une des deux dispositions représentées ci-dessous, sous réserve que les conditions relatives aux sections nécessaires, à l'adhérence et à l'effort tranchant soient, bien entendu, vérifiées **dans chaque sens**.



Dans la disposition 1, on suppose que $a' < 2,40$ m et que l'on utilise la chute correspondant à la différence $(2,4 - a')$ m pour constituer la bande centrale de deuxième lit (fig. 3.45-1).

Dans la disposition 2, le panneau est coupé en deux et les demi-panneaux obtenus sont disposés «en portefeuille» (fig. 3.45-2).



Dans chacun des deux cas, il faut que l'on ait (voir remarque à la fin du présent paragraphe):

$$c \geq \text{Max} \left[\frac{a'}{2}; 2l_a + 0,7a \right] \quad \text{formule [3.11]}$$

avec l_a longueur d'ancrage des fils parallèles au côté a' , $l_a = l_s \frac{A_{cal}}{A_{prévu}}$ (chapitre 1, titre 2.3,3)

a largeur du poteau dans le sens parallèle au côté a' .

Lorsque l'on adopte l'une ou l'autre des dispositions indiquées ci-dessus, les formules [3.9] et [3.10] qui font intervenir les sections de treillis par mètre ne sont plus directement applicables, et il est préférable de comptabiliser les sections réellement mises en place sur la largeur de la semelle, dans un sens comme dans l'autre, ce qui conduit aux conditions :

– pour la section S_{1a} parallèle au sens a' :

$$V_{u1} \leq \frac{3,4}{1000} d_{1a} f_{t28} \Sigma \varnothing_b \quad (\text{MN, m, MPa, mm}) \quad \text{formule [3.12]}$$

avec $\Sigma \varnothing_b (= \Sigma D$ de la désignation ADETS) somme des diamètres (en mm) des fils parallèles au sens b' ,

– pour la section S_{1b} parallèle au sens b' :

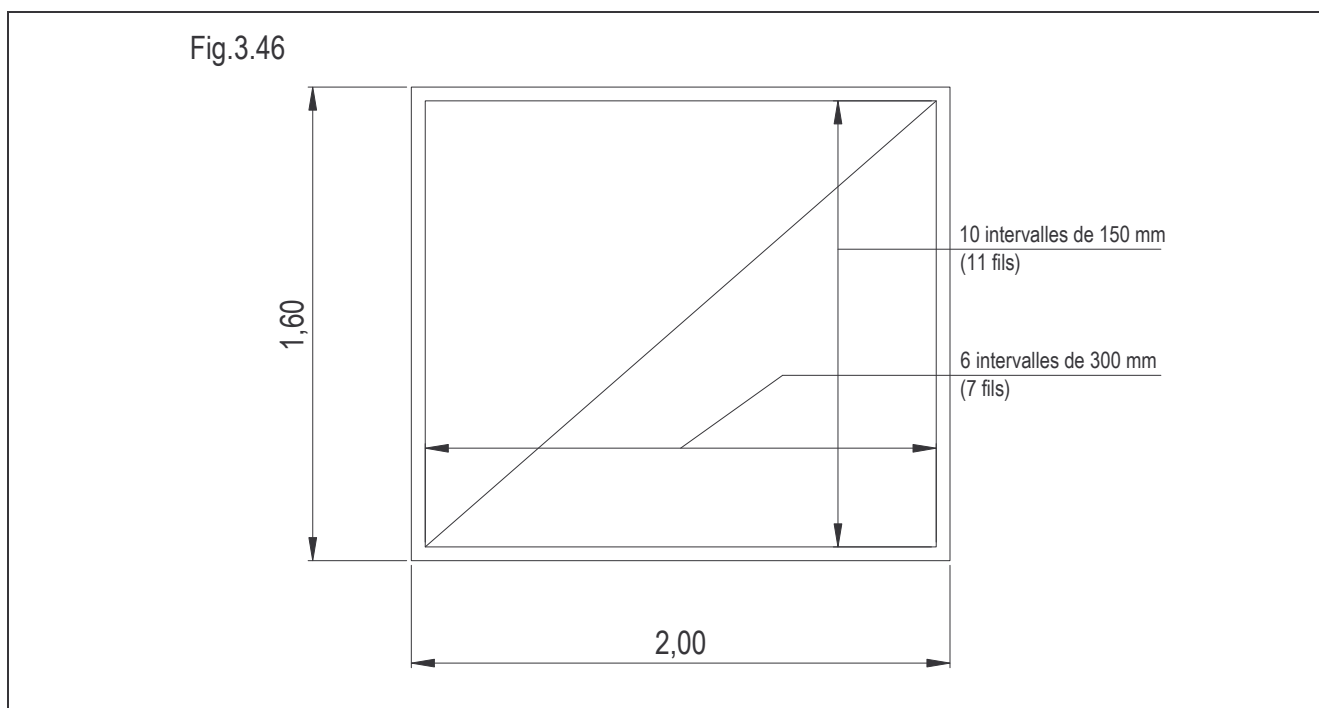
$$V_{u1} \leq \frac{3,4}{1000} d_{1b} f_{t28} \Sigma \varnothing_a \quad (\text{MN, m, MPa, mm}) \quad \text{formule [3.13]}$$

avec $\Sigma \varnothing_a (= \Sigma d$ de la désignation ADETS) somme des diamètres (en mm) des fils parallèles au sens a' , effectivement ancrés au-delà de la section S_{1b} (ce qui est le cas de tous les fils si la condition sur c est satisfaite).

Exemple :

Reprenons l'exemple traité précédemment en 4.5,6.

En choisissant a priori un treillis pour lequel $E = 150$ mm, il est possible, sans recouper l'un des abouts et en réservant une épaisseur d'enrobage à l'extrémité des fils transversaux, de disposer 11 fils dans la largeur $a' = 160$ cm de la semelle (10 intervalles de 15 cm).



La coupe du panneau donne une bande d'environ $c = 0,80$ m de largeur (à 5 fils), que l'on vient replacer au centre de la semelle (disposition 1 de la figure 3.45).

En prenant un panneau ST 25 avec $\varnothing_b = D = 7$ mm et $\varnothing_a = d = 7$ mm, la section totale mise en place parallèlement au sens b' est ainsi de (section $\varnothing 7 = 0,385$ cm²) :

$$(11 + 5) 0,385 = 6,16 \text{ cm}^2 > 4,32 \text{ cm}^2 \text{ nécessaires}$$

Parallèlement à a' avec e = 300 mm on peut disposer 7 fils dans la largeur de 2,0 m (6 intervalles de 300 mm) et puisque la section d'un $\varnothing 7$ est de $0,385 \text{ cm}^2$, la section totale dans la zone des deux nappes est : $14 \times 0,385 = 5,39 \text{ cm}^2 > 1,97 \text{ cm}^2$ nécessaires.

Comme, avec le béton choisi, la longueur de scellement droit est de $44 \varnothing$ c'est-à-dire 30,8 cm pour un fil de 7 mm, la largeur c = 80 cm satisfait aux conditions :

$$c \geq \frac{a'}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ cm}$$

$$\text{et } c \geq 2l_a + 0,7a = 2 \times 44 \times 0,7 \times \frac{1,97}{5,39} + 28 = 50,5 \text{ cm}$$

Vérification des conditions d'adhérence (formules [3.12] et [3.13]) :

* section S_{1a} parallèle au sens a' : $V_{u1} = 0,295 \text{ MN}$

$$\bar{V}_{u1} = \frac{3,4}{1000} \times 0,41 \times 2,1 \times (11 + 5)7 = 0,328 \text{ MN} > 0,295$$

* section S_{1b} parallèle au sens b' : $V_{u1} = 0,206 \text{ MN}$

Sur 2,00 m de largeur il y a 6 intervalles de 300 mm, soit 14 fils transversaux qui sont totalement ancrés au-delà de la section S_{1b} . On a donc :

$$\bar{V}_{u1} = \frac{3,4}{1000} \times 0,40 \times 2,1 \times (14 \times 7) = 0,280 \text{ MN} > 0,206$$

Les conditions relatives à l'adhérence sont donc bien vérifiées.

Remarques :

1) Un treillis ST 20 , avec $D = 6 \text{ mm}$ et $E = 150 \text{ mm}$ aurait permis de remplir toutes les conditions, sauf celle relative à la vérification de V_{u1} dans la section S_{1a} . On aurait en effet trouvé :

$$\bar{V}_{u1} = 0,281 \text{ MN} < 0,295$$

et il aurait fallu :

$$\text{– soit recourir à un béton tel que } f_{c28} = 30 \text{ MPa avec } f_{t28} = 2,4 \text{ MPa } \left[\bar{V}_{u1} = 0,281 \times \frac{2,4}{2,1} = 0,321 \text{ MN} \right]$$

– soit augmenter la hauteur de la semelle avec $h = 0,47 \text{ m}$ ($d = 0,43 \text{ m}$) au lieu de $0,45 \text{ m}$ ($d = 0,41 \text{ m}$),

$$\bar{V}_{u1} > 0,281 \times \frac{0,43}{0,41} = 0,295 \text{ MN}.$$

2) Les conditions énoncées pour c couvrent les cas les plus défavorables. Il est possible de réduire cette distance, sous réserve de se livrer à une étude soignée des sections et des longueurs de recouvrement nécessaires dans le sens «a'». On peut d'ailleurs aussi, à condition que les sections dans le sens «a'» soient suffisantes, remplacer le panneau central de la disposition 1 par des barres HA B500 de même section totale (c'est-à-dire égale à la section des fils du treillis sur la largeur c), disposées parallèlement au sens «b'».

Nota :

Il est recommandé de ne faire des recouvrements ou arrêts de panneaux que parallèlement au côté a' (comme représenté fig. 3.44). Dans ce cas il n'est plus nécessaire d'utiliser la formule [3.13] : on peut conserver la formule [3.10].