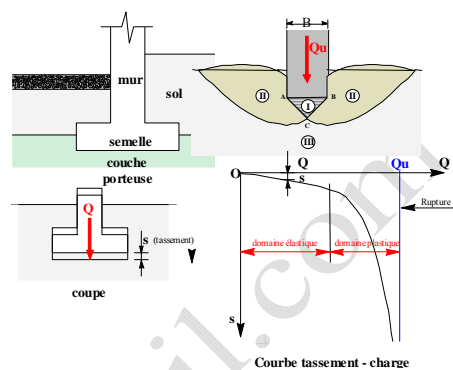


LES FONDATIONS SUPERFICIELLES



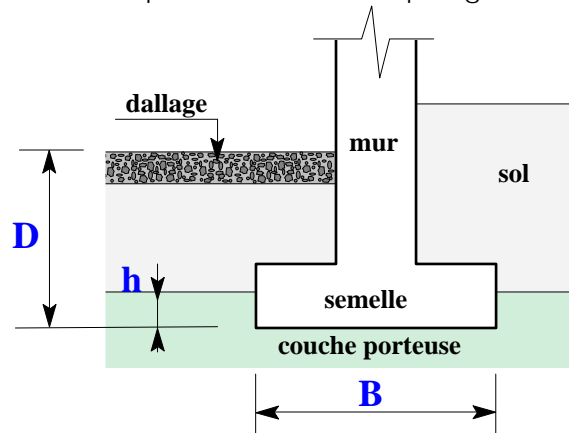
Cours réalisé par Alain Meilhac et Alain BURON

SOMMAIRE

01 DEFINITIONS - TERMINOLOGIE	1
02 TEXTES REGLEMENTAIRES	2
03 ANALYSE QUALITATIVE DE LA RUPTURE DU SOL SOUS UNE FONDATION SUPERFICIELLE.....	2
04 DETERMINATION DE LA CONTRAINTE ULTIME	3
04.01 Détermination de q_u à partir des essais en laboratoire	3
04.02 Détermination de q_u à partir des essais pénétrométriques.....	4
04.02.01 Détermination de q_u à partir de l'essai au pénétromètre statique	4
04.02.02 Détermination de q_u à partir de l'essai au pénétromètre dynamique	5
04.03 Détermination de q_u à partir de l'essai pressiométrique	5
05 DETERMINATION DE LA CONTRAINTE DE CALCUL q	5
06 DETERMINATION DE LA VALEUR REPRESENTATIVE DE LA CONTRAINTE NORMALE au sol.....	5
07 JUSTIFICATION D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE.....	6
08 DIMENSIONNEMENT BETON ARME.....	7

01 DEFINITIONS - TERMINOLOGIE

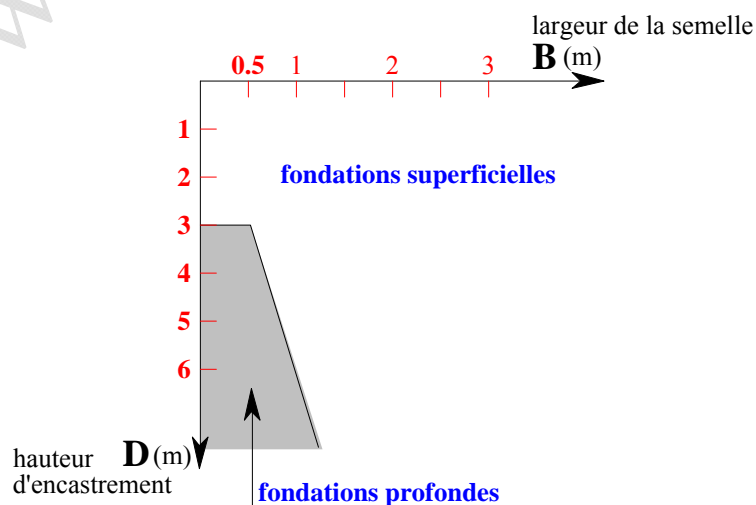
Une fondation superficielle est définie par des caractéristiques géométriques.



COUPE VERTICALE SUR SEMELLE SUPERFICIELLE

- **L** : longueur de la semelle ou plus grand côté d'une semelle.
- **B** : largeur de la semelle ou plus petit côté de la semelle.
 - semelle circulaire : $B = 2 R$
 - semelle carrée : $B = L$
 - semelle rectangulaire : $B < L < 5 B$
 - semelle continue ou filante : ... $L > 5 B$
- **D** : hauteur d'encastrement de la semelle. hauteur minimum au dessus du niveau de la fondation. Si un dallage ou une chaussée surmonte la fondation ceux-ci sont pris en considération dans la hauteur d'encastrement.
- **h** : ancrage de la semelle. Il correspond à la hauteur de pénétration de la semelle dans la couche porteuse

Elle est aussi définie par le rapport B/D . Au delà d'un rapport de $1/6$, nous sommes dans le domaine des fondations profondes.



La **FONCTION** d'une **FONDATION** est de **TRANSMETTRE** au **SOL** les **CHARGES** qui résultent des **ACTIONS** appliquées sur la **STRUCTURE** qu'elle supporte.

Cela suppose donc que le **concepteur** connaisse :

- la **capacité portante de la semelle** de fondation. Le sol ne doit pas **rompre**, ni **tasser** de façon inconsidérée sous la semelle.
- les **actions** amenées par la **structure** au niveau du sol de fondation. la semelle doit **résister** aux actions auxquelles elle est soumise.

02 TEXTES REGLEMENTAIRES

Dans l'attente de la mise en application de L'EUROCODE 7. *Calcul géotechnique*, il existe **deux textes réglementaires** :

- le **D.T.U. 13.12**. - nov. 1988 *Règles pour le calcul des fondations superficielles* qui s'applique aux travaux de bâtiment.
- le **fascicule 62 - titre V** - déc. 1993 qui s'applique aux travaux de Génie Civil, ouvrages d'art notamment.

Actuellement ces deux textes, rédigés à des époques différentes, ne sont pas homogènes, y compris dans les termes et symboles.

Pour ce qui suit nous présentons essentiellement les directives du D.T.U. 13.12.

03 ANALYSE QUALITATIVE DE LA RUPTURE DU SOL SOUS UNE FONDATION SUPERFICIELLE

Des études sur des modèles réduits ont permis de définir 3 zones de sol dans lesquelles le comportement est différent en phase de rupture.

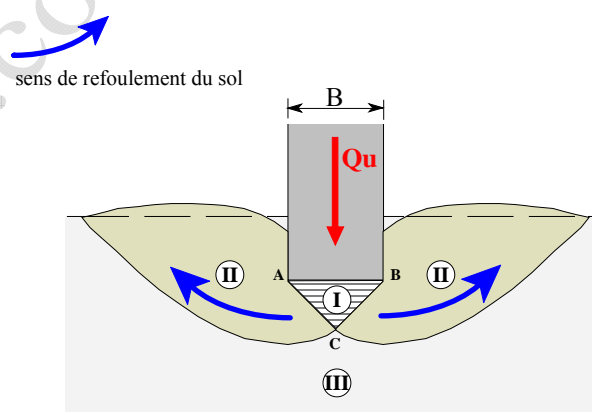


Schéma de rupture d'une semelle

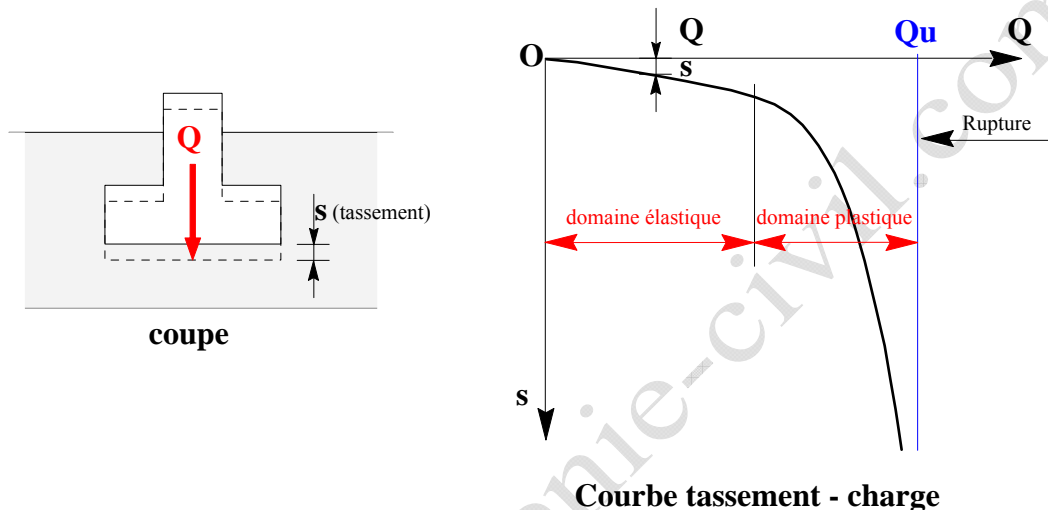
- **Zone I** : située directement sous la semelle, cette zone, formée d'un coin délimité par les points A, B, et C est fortement comprimée. Cette zone se déplace avec la semelle.
- **Zone II** : Le sol est refoulé vers la surface; les déplacements et cisaillements sont très importants. Il s'y produit une rupture généralisée.
- **Zone III** : le sol est peu ou pas perturbé par la rupture.

Voyons comment se comporte une semelle de fondation dont fait croître le chargement jusqu'à la rupture du sol.

Au fur et à mesure de l'application de la charge croissante, le sol tasse de façon quasi linéaire au début, pour augmenter rapidement de façon asymptotique à la valeur Q_u . Cette valeur limite n'est pas très précise; elle est conventionnellement définie pour $s = \frac{B}{10}$

Q_u est la **charge limite** ou **capacité portante** de la semelle. C'est la **charge maximale** que peut supporter celle-ci et qui **entraîne la rupture du sol**.

q_u est la **contrainte limite ultime** ou **contrainte de rupture**. $q_u = \frac{Q_u}{A}$ avec A aire de la semelle.



04 DETERMINATION DE LA CONTRAINTE ULTIME

La **contrainte limite ultime**, notée q_u , est déterminée à partir des **caractéristiques du sol** sur lequel elle repose.

q_u est déterminée à partir :

- d'essais en laboratoire
- d'essais pénétrométriques
- d'essais pressiométriques

04.01 Détermination de q_u à partir des essais en laboratoire

L'essai à la boîte à cisaillement ou l'essai triaxial permettent de déterminer l'**angle de frottement interne ϕ** , et la **cohésion c** d'un sol. La contrainte limite ultime, pour une semelle de largeur B soumise à une charge centrée verticale, est déterminée avec la formule suivante :

$$q_u = \frac{1}{2} S_\gamma \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D N_q + S_c c N_c \quad [1]$$

S_γ, S_q, S_c sont les coefficients de forme de la semelle

N_γ, N_q, N_c sont des paramètres fonction de ϕ

c : cohésion du sol

ϕ : angle de frottement interne du sol

γ : poids volumique du sol

Cette formule comporte **3 termes** :

- le premier terme est appelé **terme de surface**,; il est proportionnel à B
- le deuxième terme est appelé **terme de profondeur**,; il est proportionnel à D
- le troisième terme est appelé **terme de cohésion**, il est proportionnel à c

Pour une **semelle filante**, $S_\gamma = S_q = S_c = 1$; la formule [1] devient donc :

$$q_u = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + c N_c$$

Pour une **semelle isolée**,

$$S_\gamma = 1 - 0.2 \frac{B}{L}; \quad S_q = 1; \quad S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$

Valeurs des paramètres N_γ , N_q , N_c selon D.T.U. 13.12.

ϕ (°)	N_γ	N_q	N_c
0	0	1.0	5.14
5	0.1	1.6	6.50
10	0.5	2.5	8.40
15	1.4	4.0	11.00
20	3.5	6.4	14.80
25	8.1	10.7	20.70
30	18.1	18.4	30.00
35	41.1	33.3	46.00
40	100	64.2	75.30
45	254	135	134.00

Attention : si la semelle de **fondation est inclinée**, ou si la **charge est inclinée** sur la semelle, ou si le **terrain est en pente**, le coefficients N_γ , N_q , N_c changent de valeur.

04.02 Détermination de q_u à partir des essais pénétrométriques

Les essais pénétrométriques permettent de déterminer un **effort de pointe** noté q_c ou q_d selon le type de pénétromètre.

04.02.01 Détermination de q_u à partir de l'essai au pénétromètre statique

Pour une semelle de largeur B soumise à une charge centrée verticale et d'encastrement D, la valeur de la contrainte limite ultime est :

$$q_u = k_c q_{ce} i_\delta + \gamma D$$

k_c : .. facteur de portance qui dépend des dimensions de la semelle, de la nature du sol, et de l'encastrement D

q_{ce} : résistance de pointe équivalente

i_δ : coefficient minorateur tenant compte de l'inclinaison de la charge sur la semelle

04.02.02 Détermination de q_u à partir de l'essai au pénétromètre dynamique

Pour une semelle de largeur B soumise à une charge centrée verticale et d'encastrement D, la valeur de la contrainte limite ultime est :

$$q_u = \frac{q_d}{5 \text{ à } 7}$$

04.03 Détermination de q_u à partir de l'essai pressiométrique

l'essai pressiométrique permet de déterminer une **pression limite nette** notée p_l^*

Pour une semelle de largeur B soumise à une charge centrée verticale et d'encastrement D, la valeur de la contrainte limite ultime est :

$$q_u = k_p p_{le}^* + \gamma D$$

k_p : .. facteur de portance qui dépend des dimensions de la semelle, de la nature du sol, et de l'encastrement D

p_{le}^* : pression limite nette équivalente (écrêtage des valeurs nettes)

05 DETERMINATION DE LA CONTRAINTE DE CALCUL Q

A partir de la contrainte limite ultime, on déduit la **contrainte de calcul** qui permettra de **justifier** le **dimensionnement** de la semelle de fondation. En général,

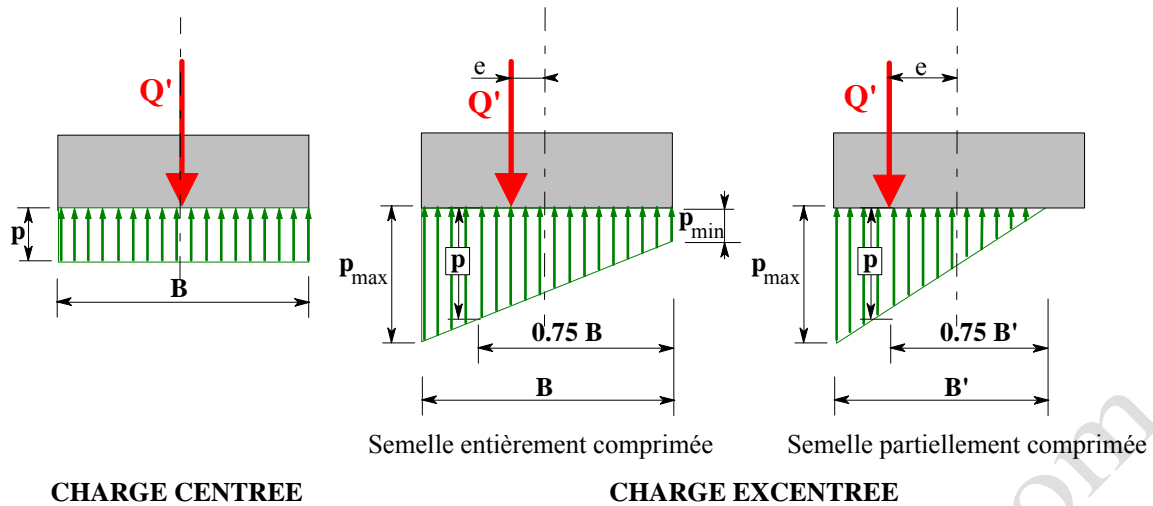
$$q = \frac{q_u}{2}$$

Ordre de grandeur des contraintes de calcul q admises en fonction de la nature du sol

NATURE DU SOL	Q (MPa)
Roches peu fissurées saines, non désagrégées et de stratification favorable	0.75 à 4.5
Terrains non cohérents à bonne compacité	0.35 à .75
Terrains non cohérents à compacité moyenne	0.2 à 0.4
Argiles sauf argiles très plastiques	0.1 à 0.3

06 DETERMINATION DE LA VALEUR REPRESENTATIVE DE LA CONTRAINTE NORMALE AU SOL

Cette contrainte notée **p** dans le D.T.U. 13.12, ou **q_{ref}** (contrainte de référence) dans le fascicule 62 - titre V, est déduite de la **résultante générale des forces** prise au niveau du **plan de contact sol - semelle**.



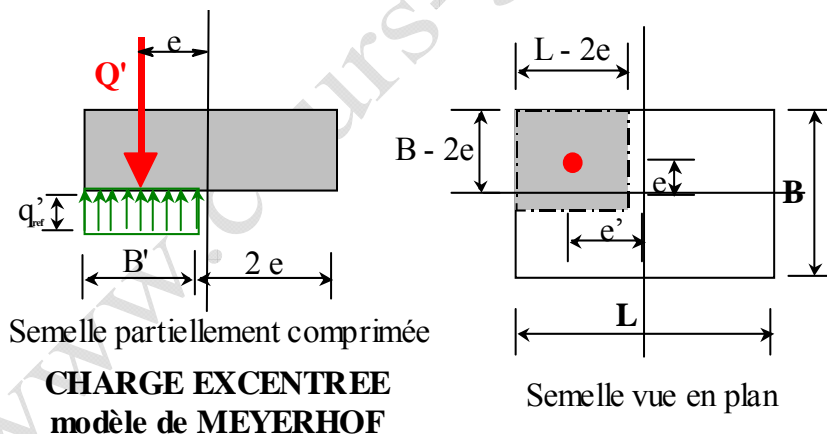
Pour une **semelle isolée** soumise à une **charge centrée**.

$$p = \frac{Q'}{B \times L}, \text{ si la semelle est } \textbf{filante} \text{ on prend } L = 1.00 \text{ m}$$

Pour une semelle soumise à une **charge excentrée**, on calcule p au $\frac{3}{4}$ de B .

$$p = \frac{3 p_{max} + p_{min}}{4} \text{ (notation D.T.U. 13.12)} \quad \text{ou} \quad q'_{ref} \leq \frac{3 q'_{max} + q'_{min}}{4} \text{ (notation Fascicule 62 titre V)}$$

Si la semelle n'est que partiellement comprimée, B est remplacé par $B' = B - 2e$. (modèle de MEYERHOF)



Le calcul de la contrainte de référence s'écrit alors

$$q'_{ref} \leq \frac{Q'}{(B - 2e)(L - 2e')}$$

07 JUSTIFICATION D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE

La justification d'une semelle de fondation est menée en considérant que les **contraintes transmises au sol** sont compatibles avec le **risque de rupture de ce dernier**, et que les **tassements** restent **acceptables** pour l'**ouvrage**.

Le **D.T.U. 13.12** ne retient qu'une justification aux E.L.U. Il propose l'inégalité suivante :

$$p \leq q$$

Le fascicule 62 - titre V propose la formule suivante :

$$q_{\text{ref}} \leq q_0 + i_{\delta\beta} \frac{q_u - q_0}{\gamma_q}$$

q_0 : contrainte minimale au niveau de l'assise de la fondation ($\gamma \cdot D$)

$i_{\delta\beta}$: coefficient minorateur dépendant de l'inclinaison δ de la charge sur la verticale et de la pente β du sol sur l'horizontale. $i_{\delta\beta} = 1$, si $\delta = 0$, et $\beta = 0$

γ_q : coefficient de sécurité ($\gamma_q = 2$ au E.L.U., $\gamma_q = 3$ au E.L.S.)

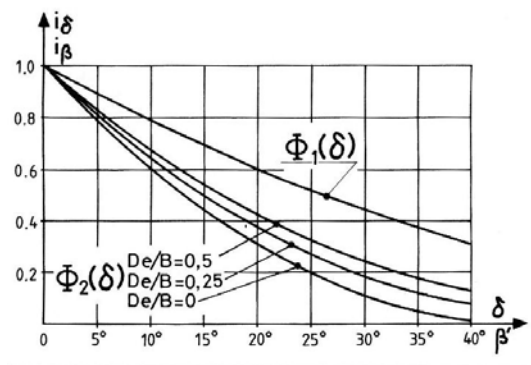
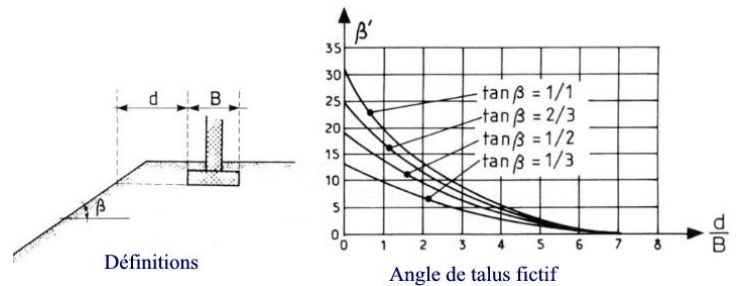


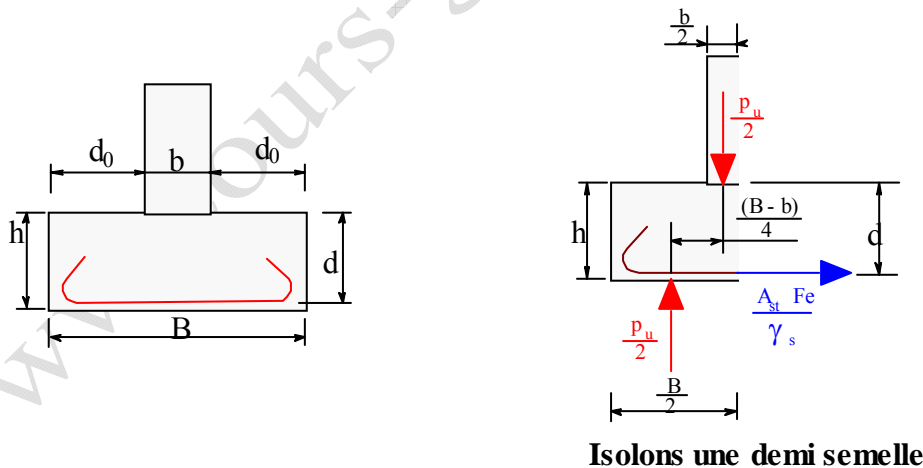
Fig. 10.14. Valeurs de i_{δ} en fonction de δ et de $i_{\delta\beta}$ en fonction de β



08 DIMENSIONNEMENT BETON ARME

La justification vis à vis des règles béton armé relève de la méthode des bielles, ou de la méthode des poutres.

METHODE DES BIELLES



Isolons une demi semelle

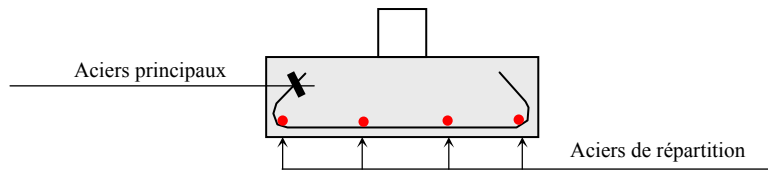
La condition des bielles impose que $\frac{B-b}{4} \leq d \leq B-b$

Le moment agissant doit rester inférieur au moment résistant : $\frac{p_u}{2} \cdot \frac{B-b}{4} \leq A_{st} \cdot \frac{F_e}{\gamma_s} \cdot d$

La section d'armature se déduit de l'inégalité précédente et vaut : $A_{st} \geq \frac{p_u (B-b) \gamma_s}{8 \cdot d \cdot F_e}$

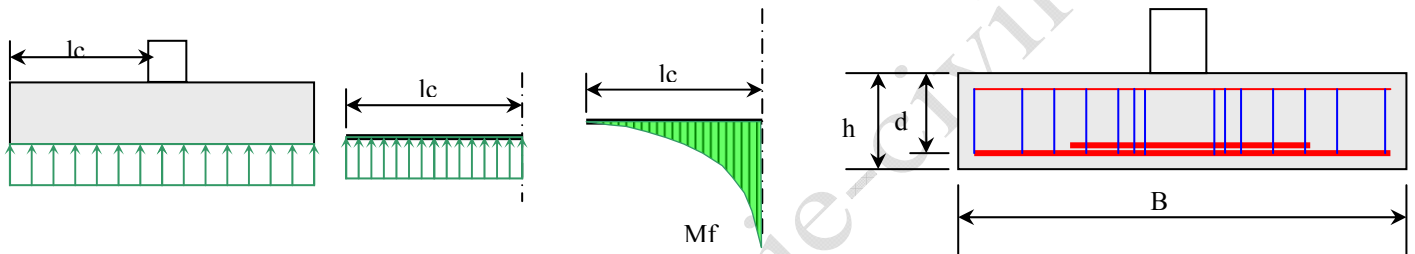
En aucun cas la **section d'aciers principaux** ne devra être inférieure à la **section minimum** fixée à 2 cm² (4 HA 8).

On prévoira des aciers de répartition $\min \left(\frac{A_{st}}{4} ; 2 \text{ cm}^2 \right)$



METHODE DES POUTRES

Elle concerne le dimensionnement des semelles souples, dont la hauteur utile. Ce type de semelle se dimensionne comme une console B.A.



ANCRAGE DES ACIERS PRINCIPAUX ET ARRET DES BARRES

On doit vérifier la condition d'ancrage des barres. La contrainte d'adhérence acier – béton vaut :

$$\tau_s = \frac{p_u (B - b)}{2 B d} \cdot \frac{1}{n \pi \phi_a}$$

avec n : nombre d'aciers au mètre
 ϕ_a : diamètre des aciers principaux

On compare τ_s à τ_{su} avec $\tau_{su} = 0.6 \psi^2 f_{ij}$ (article A.6.1, 21 du règlement B.A.E.L. 91)

Si $\tau_s > \tau_{su}$, les **extrémités des barres** seront munies de **crochets**

si $0.5 \tau_{su} > \tau_s > \tau_{su}$, l'ancrage par courbure n'est pas nécessaire (barres droites)

si $\tau_s < 0.5 \tau_{su}$, il est possible d'arrêter les barres à une longueur de $0.70 B$ avec un minimum de 80ϕ .

CONDITION DE NON-POINÇONNEMENT DE LA SEMELLE

Lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- $h < 0.5 (B - b)$
- contrainte de calcul du sol très élevée $q > 0.6 \text{ MPa}$ (très bon sol)

Il convient de vérifier la condition de non poinçonnement de la semelle par la formule suivante :

$$p_u - \frac{p_u (b + 2h)}{B} < 0.13 h \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

[..\..\..\IUFM\TD Fondations superficielles.doc](#)

www.cours-genie-civil.com