Chapitre VI : Les Fondations

1. Généralités.

1.1. Définition

Une fondation est constituée par des semelles en béton armé. La semelle est un organe de transmission des charges de la superstructure au sol. Elle ne peut être calculée que si l'on connait la superstructure et les charges d'une part et les caractéristiques du sol d'autre part.

Les caractéristiques mécaniques du sol varient avec les conditions climatiques sur le premier mètre.
La profondeur (ancrage) de la fondation dépend de la valeur de la résistance du sol σ_{sol} ainsi que des caractéristiques de ce sol (sol humide - compressible - gonflant poreux...).

La distance minimale entre la sous-face de la semelle et le niveau 0,0 m du sol peut être estimée à 80 cm à 1 m.

Pour ne pas perdre la sauce du béton (ciment + eau), la semelle de fondation doit être posée sur une plateforme dure pour cela on pose, sur le sol, une couche de Gros-béton (béton de propreté de 10 cm d'épaisseur, la semelle de fondation viendra se repose sur le Gros béton. La couche de gros-béton se compose de (tout-venant (TVO) + Ciment + Eau).

1.2. Classification des Fondations.

Les fondations peuvent être classées en 3 types.

a/ Fondations superficielles

b/ Fondations semi-profondes

c/ Fondations profondes.

a/ Fondations superficielles :

Elles se composent de semelles uniquement supportant directement les poteaux ou les voiles. Elles peuvent être
* des semelles isolées sous poteaux isolées.
* des semelles filants sous murs (voiles)
* des semelles filantes sous plusieurs poteaux
* des semelles isolées sous joint.
* des Radiers.

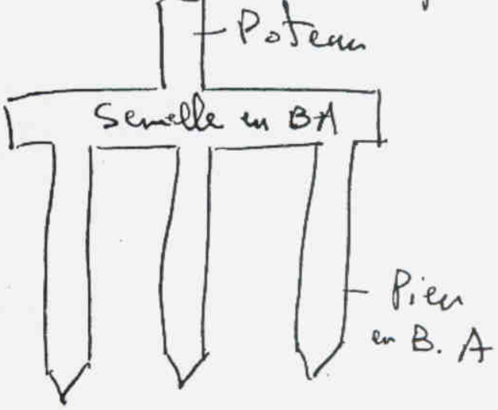
b/ Fondations semi-profondes :

Dans le cas de nécessité de grande profondeur d'ancrage mais pas plus que 8 m, la semelle peut être coulée à jusqu'à 2m de profondeur mais ne reposant pas directement sur le sol. Entre le sol et la semelle, on construit un puit en Béton non armé qui peut avoir jusqu'à 2m de diamètre.

c/ Fondations profondes :

Pour des profondeurs de grande importance, dépassant les 8 m (par exemple pour les batiments de grands hauteur ou les piliers de ponts), la fondation sera composée de semelle et de pieux en dessous de la semelle pour atteindre le bon sol.

Les pieux seront considérés comme des poteaux circulaires en Béton Armé. Ils seront soumis aux charges axiales (sous l'effet du poids du Batiment) ainsi qu'aux pressions latérales du sol.



2. Dimensionnement et Ferraillage des Semelles de Fondations superficielles.

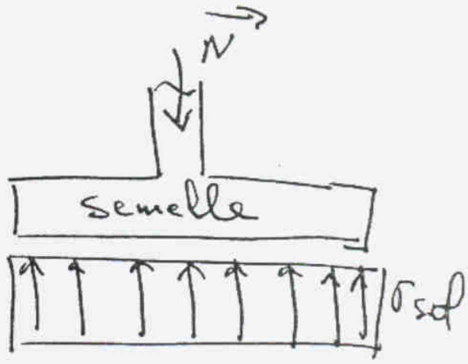
Les semelles de fondations superficielles subiront la réaction du sol sous forme de charge répartie, sous l'effet des efforts provenant de la superstructure. Ces efforts peuvent être résumés en :

- Soit la force axiale uniquement
- Soit la force axiale plus le moment de flexion.

La réaction du sol sur la semelle peut prendre trois formes differents selon la présence ou non et la grandeur du moment de flexion.

a/ Absence de Moment de Flexion.

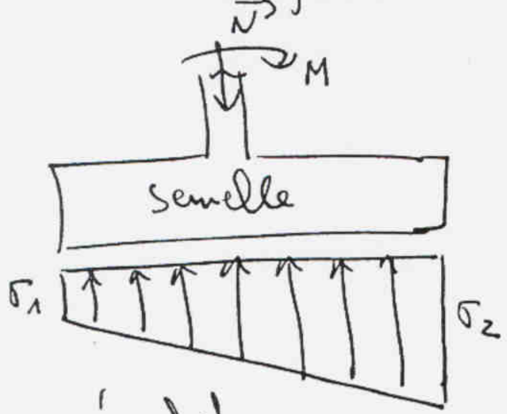
Sous l'effet ~~de~~ l'effort axial seul, la réaction du sol sera uniformément répartie



b/ Présence du moment de flexion :

Deux cas sont possibles ;

b1/ Moment faible



répartition trapézoïdale

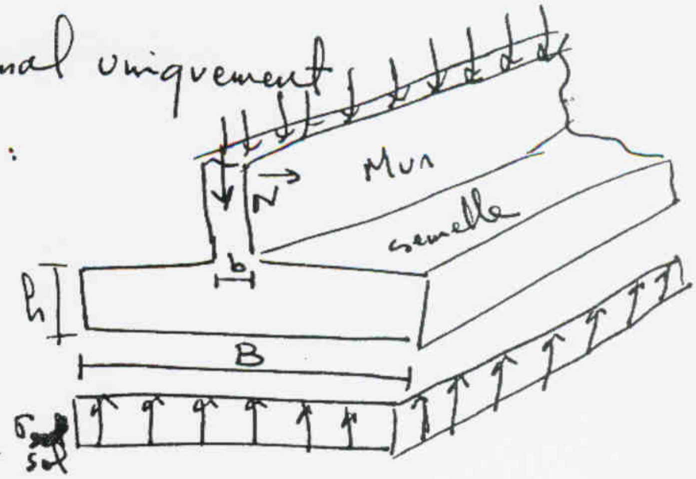
b2/ Moment fort

répartition triangulaire

Les calculs de dimensionnement et de ferraillage de la semelle se ferait en conséquence.

2.1. Semelle support un effort normal uniquement

2.1.1. Semelle filante sous mur.



a/ Dimensionnement :

- Enrobage : le sol ne peut donner qu'une fissuration préjudiciable ou très préjudiciable, pour cela, l'enrobage ne peut être inferieur à 3 cm.

$$\boxed{e \geq 3\,cm}$$

- Largeur B de la semelle :

Le calcul de la Largeur B de la semelle se fait sur la base de l'inéquation d'Equilibre station somme des contraints du sol inferieures ou égals à la contrainte admissible.

$$\Sigma \sigma_{sol} \leq \overline{\sigma}_{sol}$$

$\overline{\sigma}_{sol}$ st généralement donnée par le rapport du sol.

$$\Sigma \sigma_{sol} = \frac{N(N)}{S(mm^2)}$$

vue la longueur de la semelle, les calculs se ferait pour 1 m de longueur :

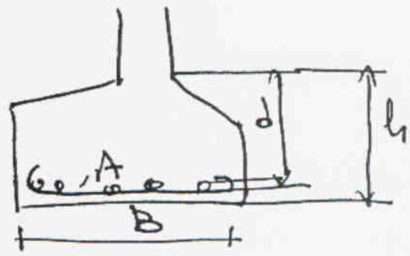
$$S = 1000 \times B \ (mm^2)$$

Il faut satisfaire l'inégalité suivante :

$$\Sigma \sigma_{sol} = \frac{N}{1000 \cdot B} \leq \overline{\sigma}_{sol} \Rightarrow \boxed{B \geq \frac{N}{1000 \cdot \overline{\sigma}_{sol}}}$$

- Hauteur h de la semelle :

Pour que les contraintes soient uniformément réparties et pour que le béton seul puisse assurer la résistance à l'effort tranchant sans qu'il ait nécessité de prévoir des armatures verticales :

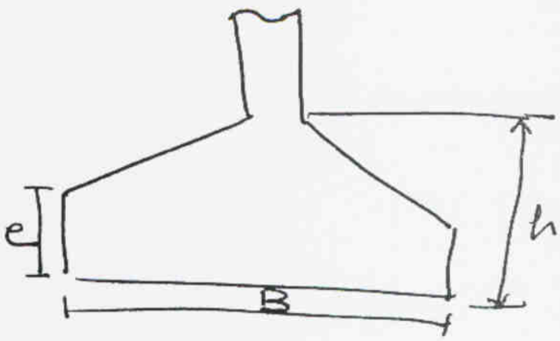


La hauteur utile d doit être au moins égale au demi-débord de la semelle : $\boxed{d \geq \dfrac{B-b}{4}}$ b = largeur du mur.

et donc $\boxed{h = d + c}$

- Hauteur e du patin :

La hauteur e du patin doit être suffisante pour que le bétonnage de la semelle puisse se faire de manière homogène et pour que les crochets d'ancrage des armatures soient bien enrobés : $e \simeq \frac{h}{2}$ à $h/3$



On prendra : $\boxed{e \geq 6 \cdot \phi + 6}$ e et ϕ en [cm].

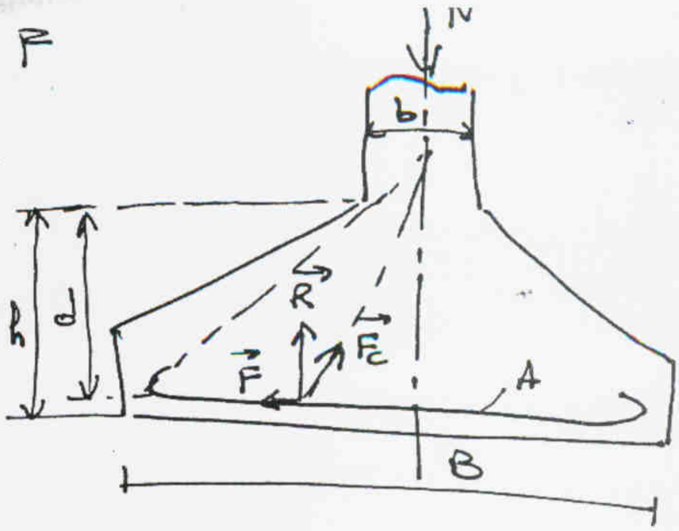
b/ Ferraillage de la semelle.

La semelle n'est pas sollicitée longitudinalement car l'action du mur s'annule avec la réaction du sol, par contre, elle est sollicitée transversalement, c'est à dire qu'elle fléchit autour d'un axe parallèle au mur.

Parmi les méthodes de calcul de sollicitations pour la détermination du ferraillage de la semelle, la méthode des bielles.

La méthode des bielles admet que la charge N centrée agissant par unité de longueur du mur est transmise au sol par l'intermédiaire de bielles de béton inclinées. Les armatures jouent le rôle de tirant puisqu'elles doivent équilibrer la composante horizontale de l'effort de compression dans la bielle.

La force de traction horizontale F sera donc equilibrée par les armatures, elle aura pour valeur



$$F = \frac{N}{8}\frac{(B-b)}{d}$$

avec aussi

$$F = A \cdot \overline{\sigma}_s \Rightarrow A = \frac{F}{\overline{\sigma}_s}$$

$$\boxed{A = \frac{N(B-b)}{8 \cdot d \cdot \overline{\sigma}_s}}$$

Remarques :

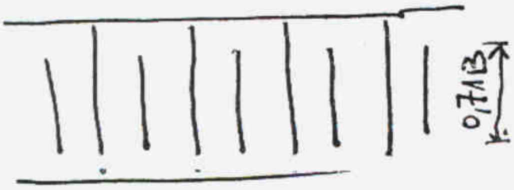
1/ Le calcul de A se fait aux 2 Etats Limites, ultime et de service, on retiendra le maximum de 2 resultats
$$A = \mathrm{Max}\left[A_{ELU} \text{ et } A_{ELS}\right].$$

2/ Parallèlement à l'axe longitudinal de la semelle, on doit prévoir des armatures de repartition

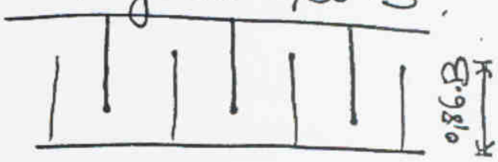
$$\boxed{A_{rép} = \frac{A \times B}{4}}$$ B en [m]
A et Arép en [cm^2].

3/ Pour determiner la longueur des barres, en pratique, on Compare la longueur de scellement $l_s = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_e}{\overline{\tau}_s}$ à B

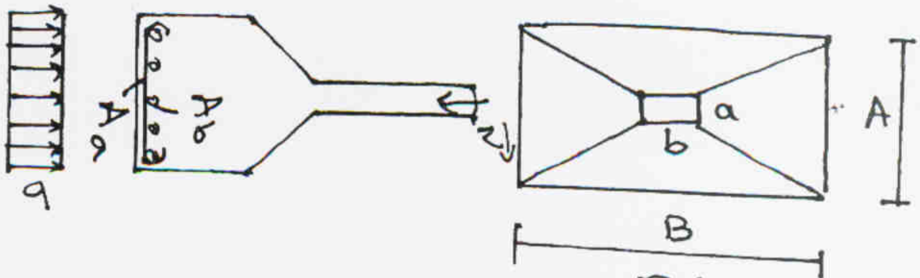
* $l_s > B/4 \Rightarrow$ touts les barres doivent être prolongées jusqu'aux extrémités de la semelle et Comporter des ancrages Courbes.
* $\frac{B}{8} < l_s \leq \frac{B}{4} \Rightarrow$ touts les barres doivent être prolongées jusqu'aux extremité mais peuvent ne pas comporter de crochets.
* $l_s \leq \frac{B}{8} \Rightarrow$ on n'utilise pas de crochets et on peut arrêter une barre sur deux à la longueur 0,71.B ou alterner des barres de longueur 0,86 .B.



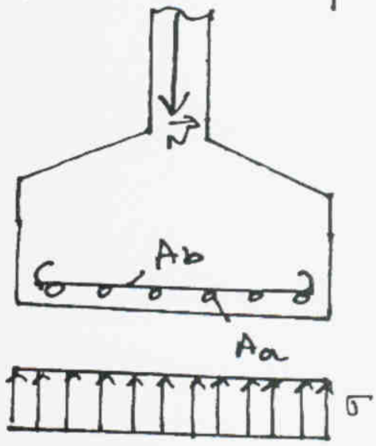
ou bien



2.1.2 Semelle rectangulaire isolée sous poteau rectangulaire



a/ Dimensionnement :



Il faut vérifier que $\sigma \leq \sigma_{sol}$

avec $\sigma = \dfrac{N}{A \times B}$

relation entre (a,b) et (A,B)

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B} \Rightarrow B = \frac{b}{a} \cdot A.$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{N}{\frac{b}{a} \cdot A^2}.$$

$$\sigma = \frac{N}{\frac{b}{a} A^2} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow A^2 \geq \frac{N}{\left(\frac{b}{a}\right) \cdot \sigma_{sol}} \Rightarrow \boxed{A \geq \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{N}{\sigma_{sol}}}}$$

et aussi $\boxed{d_a \geq \dfrac{A-a}{4}}$ et $\boxed{d_b \geq \dfrac{B-b}{4}}$

Il faut prendre $\boxed{d = \mathrm{Max}(d_a \text{ et } d_b)}$

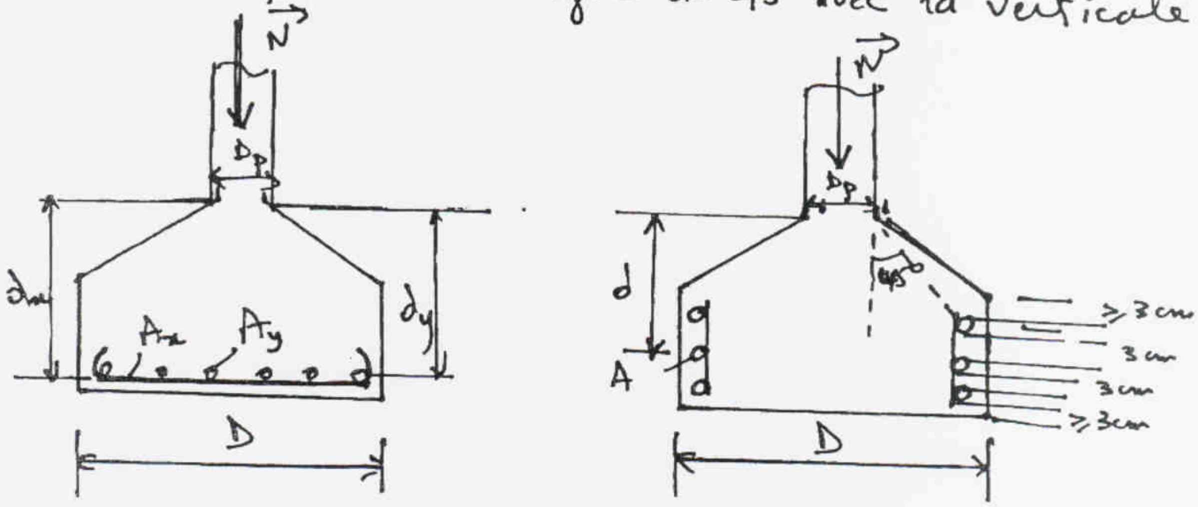
et $\boxed{e \geq 6 \cdot \phi + 6}$

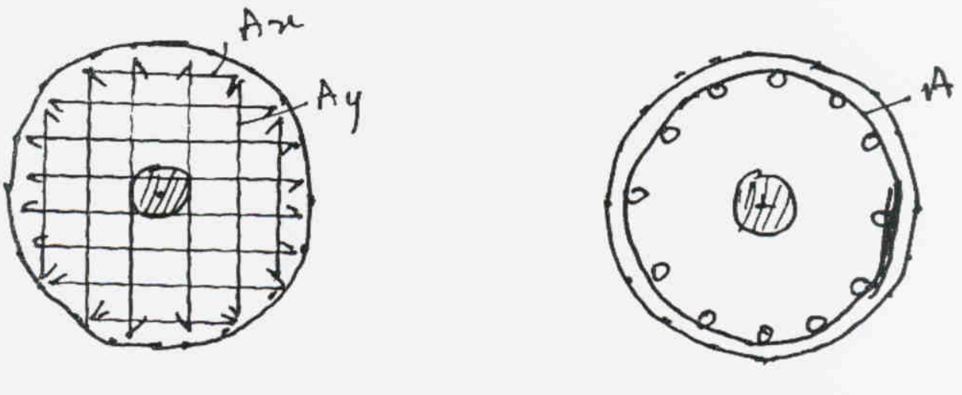
b/ Ferraillage : (Methode des bielles)

$$\boxed{A_a = \frac{N(A-a)}{8 d_a \cdot \sigma_s}} \quad \text{et} \quad \boxed{A_b = \frac{N(B-b)}{8 d_b \cdot \sigma_s}}$$

2.1.3. Semelle isolée circulaire sous poteau circulaire.

Une semelle circulaire sous poteau circulaire constitue un tronc de cône et peut être armée par un quadrillage de deux nappes orthogonales ou par des cerces. Dans ce dernier cas, on dispose généralement des armatures verticales liées aux cerces, qui assurent, pendant le bétonnage, le maintien des cerces dans leurs positions. On dispose le cercle supérieur de manière que son axe se trouve sur une droite passant par le collet de la semelle et faisant un angle de 45° avec la verticale.





a) Dimensionnement :

$$\sigma = \frac{N}{S} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow \sigma = \frac{N}{\pi D^2/4} \leq \sigma_{sol}$$

$$\Rightarrow \boxed{D \geq 1{,}13\sqrt{\frac{N}{\sigma_{sol}}}}$$

- $\boxed{d_x \geq \dfrac{D - D_p}{4}}$ et $\boxed{d_y = d_x - \dfrac{\phi_x + \phi_y}{2}}$

- $\boxed{e \geq 6\phi + 6}$ pour nappes orthogonals

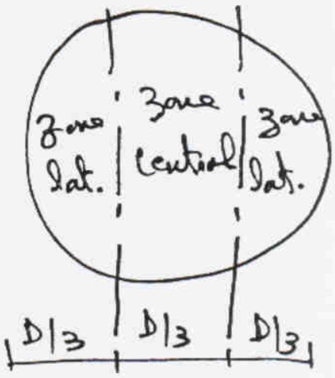
et $\boxed{e \geq m.\phi + 3(m+1)}$ pour les cerces avec m = nbre de cerces

b/ Ferraillage : (Méthode des Bielles)

* nappes orthogonals : $\boxed{A_x = \dfrac{N(D - D_p)}{3\pi . d_x . \sigma_s}}$ $\boxed{A_y = \dfrac{N(D - D_p)}{3\pi . d_y . \sigma_s}}$

Remarque :

* si $D \leq 1m \Rightarrow$ répartition uniforme d'armatures.
* si $1m < D \leq 3m \Rightarrow$ - zone centrale = $0,5 \cdot A_x$ et $0,5 A_y$
  - zones laterals = $0,25 A_x$ et $0,25 A_y$

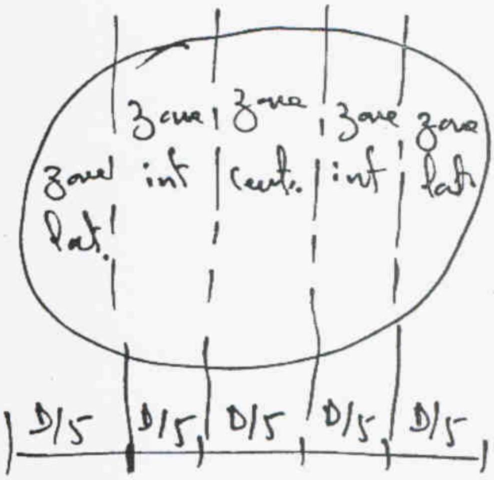


* si $D > 3m \Rightarrow$ 5 zones :

zone centrale = $0,3 A_x$ et $0,3 A_y$

zone intermédiaire = $0,25 A_x$ et $0,25 A_y$

zone laterale = $0,1 A_x$ et $0,1 A_y$



* Armatures constituées par des cerces.

$$\boxed{A = \frac{N(D - D_p)}{6\pi \cdot d \cdot \sigma_s}}$$

2.2. Semelle supportant un effort normal et un moment.

2.2.1. Semelle isolée rectangulaire sous poteau rectangulaire

Comme il a été précisé précédemment, en présence de moment, deux cas sont possibles :

* réaction trapézoïdale du sol
* réaction triangulaire du sol.

Ce problème peut être résolu en connaissant l'excentricité $e_o = \frac{M}{N}$. Ce problème se pose pour les deux directions A et B.

La semelle rectangulaire peut avoir :

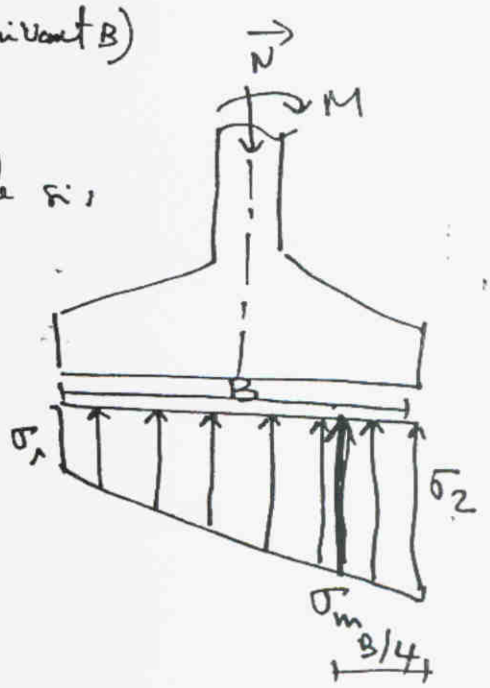
* Un seul moment, soit suivant A, soit suivant B
* Deux moments.

a/ Réaction trapézoïdale du sol (suivant B)

a1/ Dimensionnement.

La réaction du sol sera trapézoïdale si,

$$\boxed{e_{ob} = \frac{M_b}{N} \leq B/6}$$



D'après les résultats de la RDM.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A.B} \pm \frac{M_b \cdot v}{I}$$

avec $M_b = N \cdot e_{ob}$. $v = B/2$

et $I = AB^3/12$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{N}{A.B}\left(1 - \frac{6 \cdot e_{ob}}{B}\right) \\ \sigma_2 &= \frac{N}{\dots}\left(1 + \frac{6\, e_{ob}}{\dots}\right) \end{aligned}}$$

On appelle contrainte moyenne σ_m la contrainte située à une distance $B/4$ de la contrainte maximale σ_2

$$\boxed{\sigma_m = \frac{3\sigma_2 + \sigma_1}{4} = \frac{N}{A.B}\left(1 + \frac{3 . e_{ob}}{B}\right)}$$

Cette contrainte moyenne doit rester toujours inférieure ou égale à la contrainte admissible σ_{sol}.

$$\sigma_m \leq \sigma_{sol} \Rightarrow \boxed{\frac{N}{A.B}\left(1 + \frac{3 e_{ob}}{B}\right) \leq \sigma_{sol}}$$

Cette inégalité donnera comme limite inférieure une équation du $3^{ème}$ degré en B si on remplace A par :

$$A = \left(\frac{a}{b}\right) \cdot B. \quad : \quad \frac{N}{\left(\frac{a}{b}\right) \cdot B^2}\left(1 + \frac{3 . e_{ob}}{B}\right) \leq \sigma_{sol}$$

$$\Rightarrow N . B + 3 e_{ob} \cdot N \leq \left(\frac{a}{b}\right) \cdot B^3 . \sigma_{sol}.$$

Il faut résoudre : $\boxed{\left[\left(\frac{a}{b}\right) \cdot \sigma_{sol}\right] \cdot B^3 - [N] \cdot B - [3 e_{ob} \cdot N] \geq 0}$

L'inégalité est de la forme $\boxed{a . y^3 + b . y + c \geq 0}$

Remarque :

Une fois l'inégalité résolue, on détermine B puis A, sans oublier que suivant la deuxième direction deux cas sont possibles :

* Moment nul : alors on adopte A et B calculées.
* Moment M_a existe : alors il faut vérifier la deuxième inégalité :

$$\left[\left(\frac{b}{a}\right) \sigma_{sol}\right] A^3 - [N] \cdot A - [3 e_{oa} \cdot N] \geq 0$$

a2/ Ferraillage :

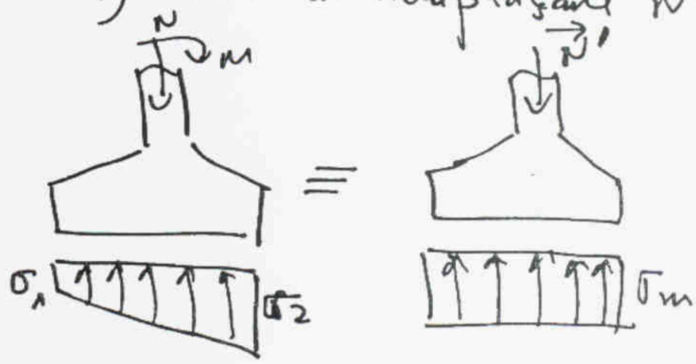
Pour la détermination du ferraillage de la semelle, la méthode des bielles ne peut être appliquée que si la différence entre la contrainte maximale σ_2 et la contrainte minimale σ_1 est inférieure au $2/3$ de la contrainte moyenne σ_m.

$$\sigma_2 - \sigma_1 \leq \frac{2}{3}\sigma_m \Rightarrow \boxed{e_{ob} \leq B/18} \text{ et } \boxed{e_{oa} \leq A/18}$$

1er cas : $e_{ob} \leq B/18$

On utilise la méthode des bielles pour le cas des charges centrées uniquement (sans moment) mais en remplaçant N par N'.

avec $N' = N\left(1 + \frac{3 \cdot e_{ob}}{B}\right)$



d'où

$$\boxed{A_b = N\left(1 + \frac{3e_{ob}}{B}\right)\frac{(B-b)}{8 d_b \cdot \sigma_s}}$$

Remarque :

- S'il n'y a pas de moment M_a dans l'autre direction :

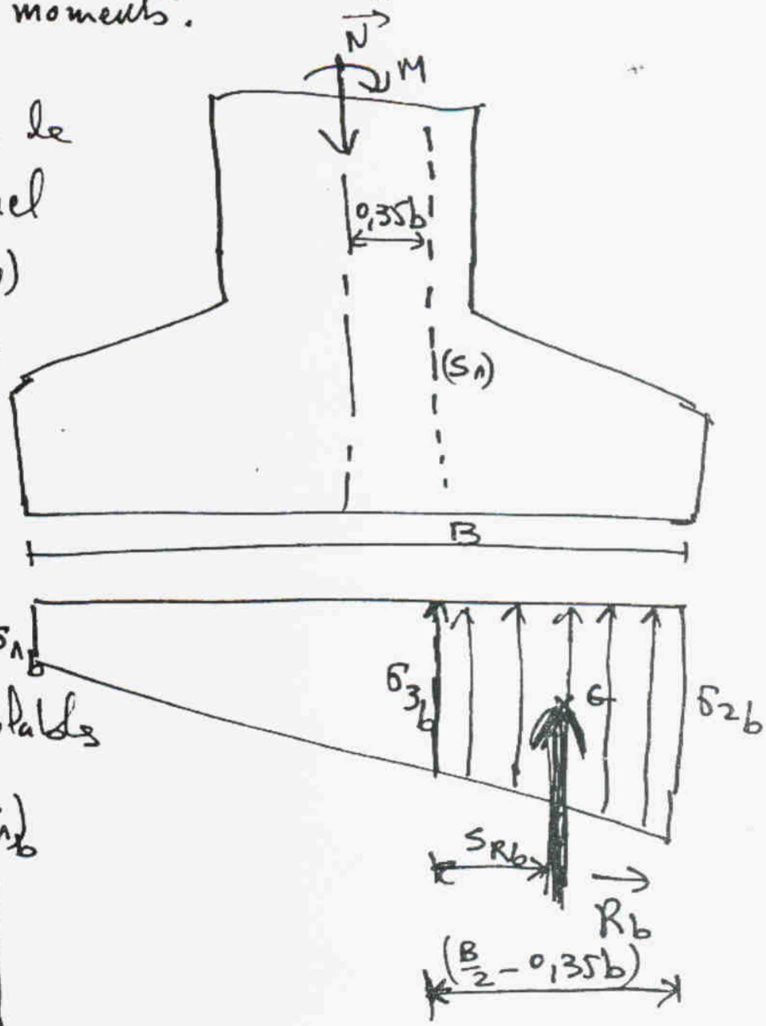
$$\boxed{A_a = N\left(1 + \frac{3e_{ob}}{B}\right)\frac{(A-a)}{8 d_a \sigma_s}}$$

- Si le moment M_a dans l'autre direction existe et si la répartition est trapézoïdale c'est-à-dire $e_{oa} \leq A/18$.

$$\boxed{A_a = N\left(1 + \frac{3e_{oa}}{A}\right)\frac{(A-a)}{8 d_a \sigma_s}}$$

$2^{ème}$ Cas : $e_{ob} > B/18$

Alors la méthode des bielles n'est plus applicable, on utilisera la méthode des moments.



Il s'agira de déterminer le moment de flexion M_{1b} auquel sera soumise la section (S_1) située à la distance 0,35b de l'axe du poteau.

Pour cela, on aura besoin de déterminer d'abord :

σ_{3b} ; R_b et S_{R_b}.

à l'aide des triangles semblables

$$\sigma_{3b} = \sigma_{1b} + \left[\frac{\frac{B}{2} + 0,35b}{B}\right](\sigma_{2b} - \sigma_{1b})$$

$$\boxed{\sigma_{3b} = \frac{N}{A \cdot B}\left(1 + \frac{4,2\, e_{ob} \cdot b}{B^2}\right)}$$

$$\boxed{R_b = \left(\frac{B}{2} - 0,35 \cdot b\right)\left(\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right) \cdot A}$$

$$\boxed{S_{R_b} = \frac{\left(\frac{B}{2} - 0,35 \cdot b\right)}{3} \cdot \frac{(\sigma_3 + 2\sigma_2)}{(\sigma_3 + \sigma_2)}}$$

d'où le moment M_{1b}

$$M_{1b} = R_b \times S_{R_b} = A\left(\frac{B}{2} - 0,35b\right)^2 \left(\frac{\sigma_{3b} + 2\sigma_{2b}}{6}\right).$$

et $\boxed{A_b = \frac{M_{1b}}{\beta \cdot d_b \, \bar{\sigma}_s}}$ avec β à prendre entre 0,85 et 0,9.

Remarque :

- S'il n'y a pas de moment M_a dans l'autre direction

$$\boxed{A_a = N\left(1 + \frac{3e_{ob}}{B}\right)\frac{(A-a)}{8\, d_a\, \overline{\sigma_s}}}$$

- Si le moment M_a existe et si $e_{oa} > A/18$, on calcule :

$$e_{oa} = M_a / N$$

$$\sigma_{3a} = \sigma_{1a} + \frac{\left(A/2 - 0{,}35.a\right)}{A}\left(\sigma_{2a} - \sigma_{1a}\right)$$

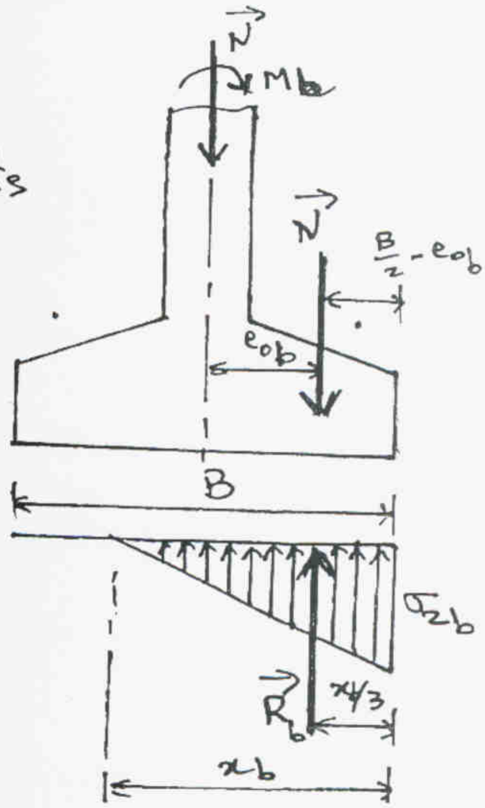
$$\sigma_{3a} = \frac{N}{AB}\left(1 + \frac{4{,}2 \cdot e_{oa} \cdot a}{A^2}\right)$$

$$M_{1a} = B\left(\frac{A}{2} - 0{,}35.a\right)^2\left(\frac{\sigma_{3a} + 2\,\sigma_{2a}}{6}\right)$$

et donc : $\boxed{A_a = \dfrac{M_{1a}}{B \cdot d_a\, \overline{\sigma_s}}}$

b/ Réaction triangulaire du sol

b1/ Dimensionnement : (suivant B)



Dans le cas où $e_{ob} = \frac{M_b}{N} \geq \frac{B}{6}$ (à l'extérieur du noyau central), le diagramme des contraintes est triangulaire, ce qui ne permet pas de faire les calculs de ferraillage avec la méthode des bielles, on utilisera la méthode des moments.

D'après le diagramme des contraintes et si on remplace le système (N, M) par N appliqué à e_o de l'axe de la fondation, on aura :

$R_b = N = \frac{1}{2}(\sigma_{2b} \times x_b) \cdot A$ avec $\frac{x_b}{3} = \left(\frac{B}{2} - e_{ob}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{x_b = 3\left(\frac{B}{2} - e_{ob}\right)}$$

$$\Rightarrow R_b = N = \frac{\sigma_2}{2} \cdot 3 \cdot \left(\frac{B}{2} - e_{o_b}\right) \cdot A \Rightarrow \boxed{\sigma_{2_b} = \frac{2 \cdot N}{3\left(\frac{B}{2} - e_{o_b}\right) \cdot A}}$$

Cette contrainte doit rester inférieure ou égale à $1{,}33\ \sigma_{sol}$.

$$\boxed{\sigma_{2b} \leq 1{,}33\ \sigma_{sol}}$$

A partir de cette inégalité, on pourra déterminer A et B en posant aussi $A = \frac{a}{b} \cdot B$. (a et b les dimensions du poteau).

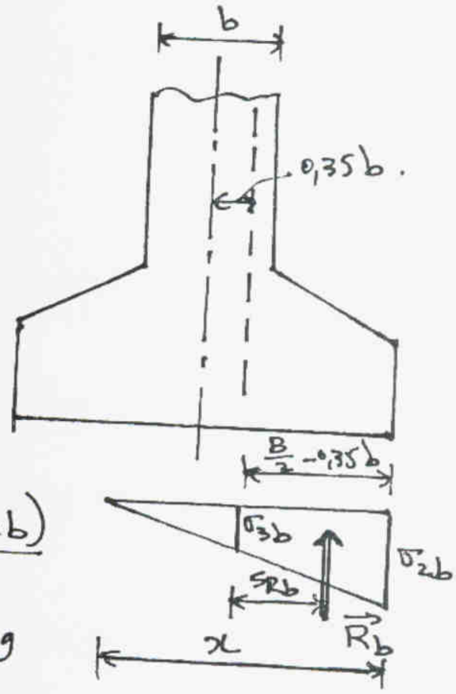
$$\frac{2 \cdot N}{3\left(\frac{B}{2} - e_{o_b}\right) \cdot A} \leq 1{,}33\ \sigma_{sol} \Rightarrow 2N \leq 3{,}99\ \sigma_{sol}\left(\frac{B}{2} - e_{o_b}\right) \cdot \frac{a}{b} \cdot B.$$

$$\Rightarrow \boxed{\left[1{,}995 \cdot \frac{a}{b}\,\sigma_{sol}\right] \cdot B^2 - \left[3{,}99 \cdot \frac{a}{b} \cdot e_{o_b} \cdot \sigma_{sol}\right] \cdot B - 2 \cdot N \geq 0}$$

c'est une inégalité du $2^{ème}$ degré, elle admet une infinité de solutions. Il suffit de choisir des dimensions convenables de telle manière à revérifier $\sigma_2 \leq 1{,}33\ \sigma_{sol}$.

b2/ <u>Ferraillage</u> : (Méthode des Moments).

Triangles semblables : $\frac{\sigma_{3b}}{\sigma_{2b}} = \frac{x - \left(\frac{B}{2} - 0{,}35b\right)}{x}$



$$\Rightarrow \sigma_{3b} = \frac{\left(B - 0{,}35b - 3 \cdot e_{o_b}\right)}{3\left(\frac{B}{2} - e_{o_b}\right)} \cdot \sigma_{2b}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_b = \left(\frac{B}{2} - 0{,}35b\right) \frac{(\sigma_{2b} + \sigma_{3b})}{2} \cdot A \\ S_{R_b} = \frac{\left(\frac{B}{2} - 0{,}35b\right)}{3} \cdot \frac{(\sigma_{3b} + 2\sigma_{2b})}{(\sigma_{3b} + \sigma_{2b})}. \end{cases}$$

$$\Rightarrow M_{1b} = R_b \times S_{R_b} = A \cdot \left(\frac{B}{2} - 0{,}35b\right)^2 \cdot \frac{(\sigma_{3b} + 2\sigma_{2b})}{6}$$

et donc $\boxed{A_b = \frac{M_{1b}}{\beta\, d_b \cdot \bar{\sigma}_s}}$ avec $\beta \simeq 0{,}85$ à $0{,}9$

Remarques :

1/ S'il n'y a de moment dans l'autre direction ($M_{a} = 0$), les armatures parallèles au côté A sont calculées par la méthode des bielles avec la charge fictive $N' = N\left(1 + \frac{3 e_{0b}}{B}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{A_a = N\left(1 + \frac{3 e_{0b}}{B}\right)\frac{(A - a)}{8 d_a \cdot \overline{\sigma_s}}}$$

2/ Si le moment dans l'autre direction existe ($M_a \neq 0$) :

a/ Dimensionnement :

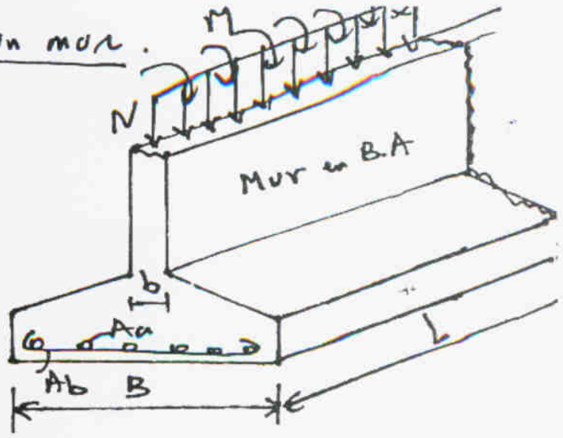
Il faut vérifier : $\boxed{\sigma_{2a} = \frac{2 \cdot N}{3\left(\frac{A}{2} - e_{0a}\right) \cdot B} \leq 1{,}33 \cdot \overline{\sigma}_{sol}}$

b/ $$\sigma_{3a} = \frac{(A - 0{,}35a - 3e_{0a})}{3\left(\frac{A}{2} - e_{0a}\right)} \cdot \sigma_{2a} \Rightarrow \begin{cases} R_a = \left(\frac{A}{2} - 0{,}35 \cdot a\right)\frac{(\sigma_{2a} + \sigma_{3a})}{2} \cdot B \\ S_{Ra} = \frac{\left(\frac{A}{2} - 0{,}35a\right)}{3} \cdot \frac{(\sigma_{3a} + 2\sigma_{2a})}{(\sigma_{3a} + \sigma_{2a})} \end{cases}$$

$$\Rightarrow M_{1a} = R_a \times S_{Ra} = B\left(\frac{A}{2} - 0{,}35a\right)^2 \cdot \frac{(\sigma_{3a} + 2\sigma_{2a})}{6}$$

et donc $\boxed{A_a = \frac{M_{1a}}{\beta \cdot d_a \cdot \overline{\sigma_s}}}$ avec $\beta \approx 0{,}85$ à $0{,}9$

2.2.2. Semelle filante (continue) sous un mur.



Dans le cas d'une semelle filante sous un mur soumise à un effort normal N et un moment de flexion M suivant la direction du mur, il suffit de poser la dimension ($A = 1\,m$) donc faire les calculs pour un mètre de longueur du mur et reprendre toutes les formules de dimensionnement et ferraillage d'une semelle isolée pour la détermination de la largeur B de la semelle et la quantité Ab de ferraille parallèle à B (par mètre).

Tout au long du mur, on prévoit des armatures de répartition tel que :

$$\boxed{A_a = A_{rép} = \frac{A_b \times B}{4}}$$

2.2.3. Semelle circulaire sous pilier circulaire :

a/ Dimensionnement :

On appliquera les mêmes principes que pour la semelle rectangulaire. Le diagramme des contraintes sera trapézoïdal si $\boxed{e_0 \leq \frac{D}{8}}$ avec :

$$\boxed{\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{N}{S}\left(1 - \frac{8 \cdot e_0}{D}\right) \\ \sigma_2 &= \frac{N}{S}\left(1 + \frac{8\, e_0}{D}\right) \end{aligned}}$$

La contrainte moyenne : $\sigma_m = \dfrac{3\sigma_2 + \sigma_1}{4} = \dfrac{N}{S}\left(1 + \dfrac{4 \cdot e_0}{D}\right)$

Il faut vérifier :

$$\boxed{\sigma_m = \frac{N}{S}\left(1 + \frac{4 \cdot e_0}{D}\right) \leq \sigma_{sol}}$$

avec $S = \dfrac{\pi D^2}{4}$.

b/ Ferraillage.

On pourra appliquer la méthode des bielles si :

$$\boxed{e_0 \leq \frac{D}{32}}$$

Dans ce cas :

* Ferraillage orthogonal :

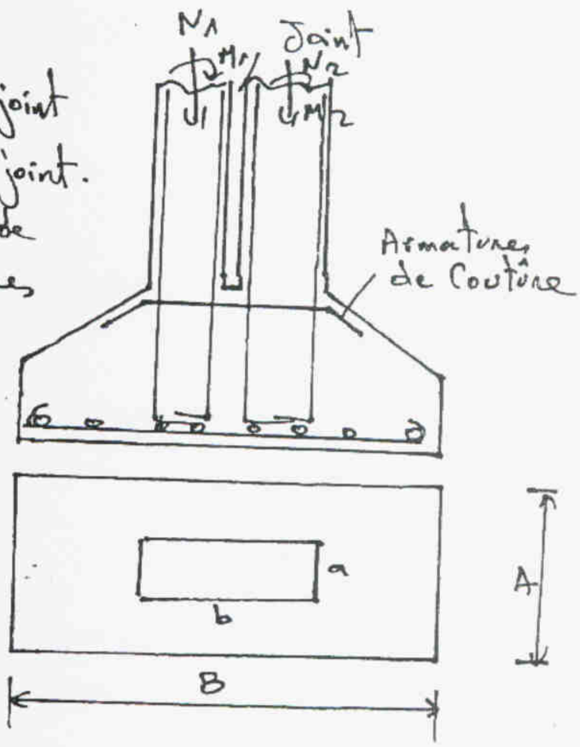
$$\boxed{\begin{aligned} A_x &= N\left(1+\frac{4\cdot e_0}{D}\right)\cdot\frac{(D-D_p)}{3\pi\cdot d_x\cdot\overline{\sigma_s}} \\ A_y &= N\left(1+\frac{4\cdot e_0}{D}\right)\cdot\frac{(D-D_p)}{3\pi\cdot d_y\cdot\overline{\sigma_s}} \end{aligned}}$$

* Ferraillage en Cerces :

$$\boxed{A = N\left(1+\frac{4\cdot e_0}{D}\right)\cdot\frac{(D-D_p)}{6\pi\cdot d\cdot\overline{\sigma_s}}}$$

2.3. Semelle sous Joint

Les semelles existantes au droit d'un joint ne sont pas coupées à la verticale de ce joint. Le joint est arrêté au niveau supérieur de la semelle. On admettra des armatures de couture sur la partie supérieure de la semelle.



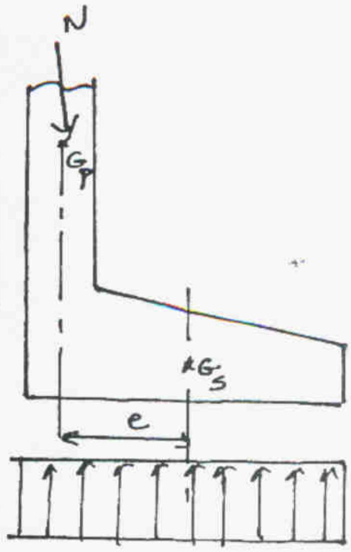
Le dimensionnement de la semelle se fera pour la charge cumulée des deux poteaux : $N = N_1 + N_2$

$M = M_1 + M_2$ (Somme Algébrique)

La semelle sera rectangulaire $(A \times B)$ pour un poteau rectangulaire $(a \times b)$ où b = somme des longueurs des 2 poteaux + largeur du joint.

Le calcul de ferraillage se fera de la même manière que pour une semelle rectangulaire sous un poteau rectangulaire.

2.4. Semelle excentrée :



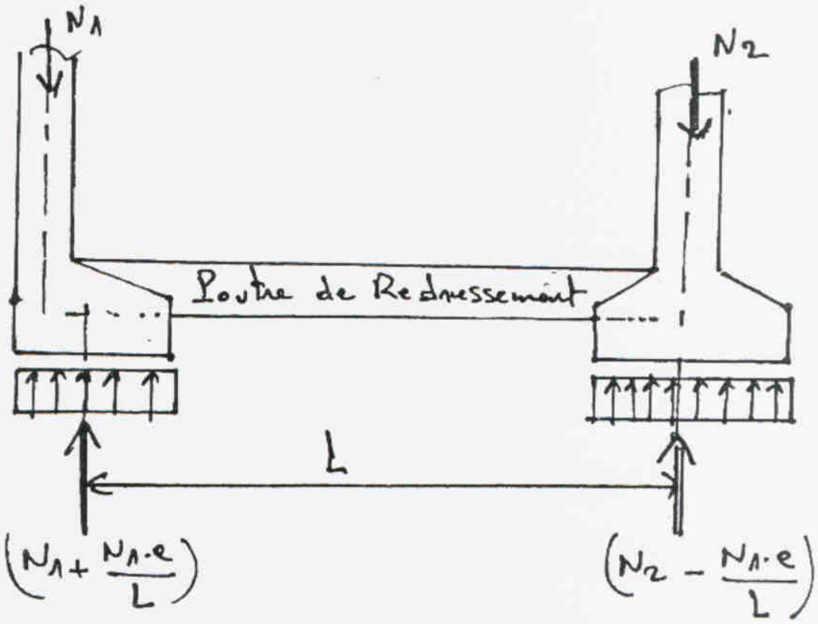
Une semelle est excentrée lorsque la résultante des efforts verticaux ne coïncide pas avec le centre de gravité de la semelle.
Lorsqu'il n'y a pas possibilité de prévoir une semelle centrée par exemple à proximité d'un mur existant ou une ancienne construction.

Pour régler le problème d'excentricité de la semelle il faut construire une poutre rigide appelée "Poutre de Redressement" pour la relier à la semelle voisine (adjacente) qui est centrée. Pour cela

* On cherche toujours à avoir une semelle dont le c.d.g. se trouve le plus près possible de l'axe du poteau (e = minimum possible).
* On suppose qu'on a une répartition uniforme des contraintes au sol sous la semelle.
* La semelle excentrée sera dimensionnée en fonction d'un effort $\left(N_1 + \frac{N_1 \cdot e}{L}\right)$ et le moment $(N.e)$ est repris par la poutre de redressement.

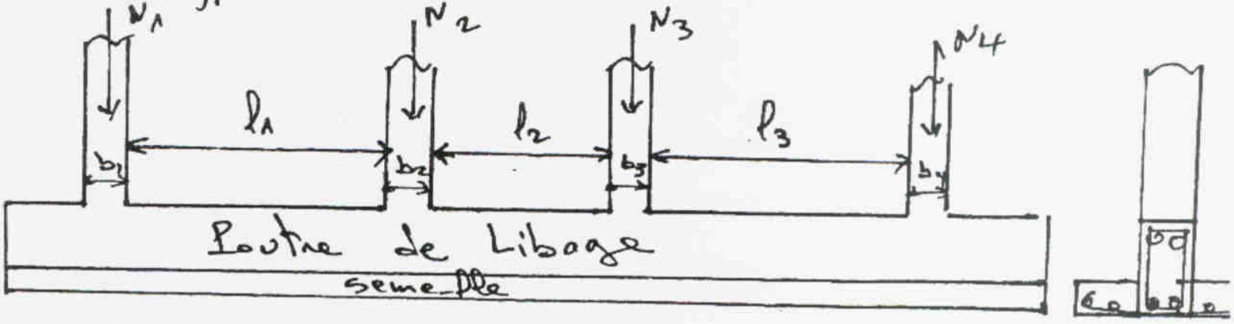
Le calcul se fera en deux Etapes :

1- Calcul de la semelle excentrée.
2- Calcul de la poutre de Redressement



2.5 Semelle filante (continue) sous plusieurs poteaux.

On retrouve ce type de semelle dans le cas de chevauchement des semelles isolées suivant une direction ou même suivant les 2 directions. Ce chevauchement peut être causé soit par des charges importantes, soit par une faible résistance du sol, ou même par la nature du sol qui pourra provoquer un tassement différentiel.



Pour faire la liaison de continuité entre les poteaux, la semelle à elle seule ne suffit pas car elle risque de se déformer dans la zone à mi-travée (entre les poteaux). Pour cela la fondation continue sera composée de deux éléments :

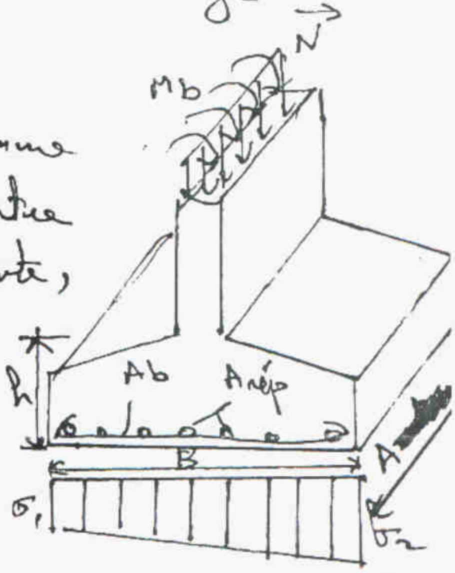
* la semelle continue.
* la poutre de libage.

Les calculs de dimensionnement et de détermination des armatures se diviseront en deux parties, transversalement pour dimensionner et ferrailler la semelle et longitudinalement pour dimensionner et ferrailler la poutre de libage.

a/ Transversalement.

Transversalement la semelle sera considérée comme isolée ayant pour Effort Normal N le maximum entre les efforts des poteaux liés à cette semelle filante, ainsi que le ~~moment~~ M_b parallèle à la dimension transversale B.

* La dimension longitudinale A sera prise comme la distance à mi-chemin entre les poteaux de part et d'autre.



$$\boxed{A = \frac{l_i + l_{i+1}}{2} + b.}$$

* Une fois A déterminée, en fonction des valeurs numériques de N et Mb, on déterminera si la répartition de la contrainte du sol est trapézoïdale ou triangulaire, ceci en déterminant la largeur B de la semelle.
* On déterminera ensuite la hauteur utile d et la hauteur totale h de la semelle.
* On terminera les calculs transversalement par la détermination des armatures Ab parallèles à B ainsi que les armatures de répartition Arép parallèle à A.

Au niveau de la semelle, les armatures Ab seront considérées comme des armatures transversales et les armatures Arép seront considérées comme des armatures longitudinales disposées en dehors de la zone réservée pour la poutre de libage généralement ayant la même largeur que la largeur des poteaux.

b/ Longitudinalement :

Les efforts pris en considération se limitent uniquement aux efforts normaux Ni, les moments n'auront aucun effet à cause de la grande rigidité de la poutre de libage.

Il s'agira donc de dimensionner et ferrailler cette poutre de libage qui aura généralement la même largeur b que les poteaux.

Pour cela la poutre de libage sera étudiée dans le cadre de la Théorie des poutres posées sur sol élastique.

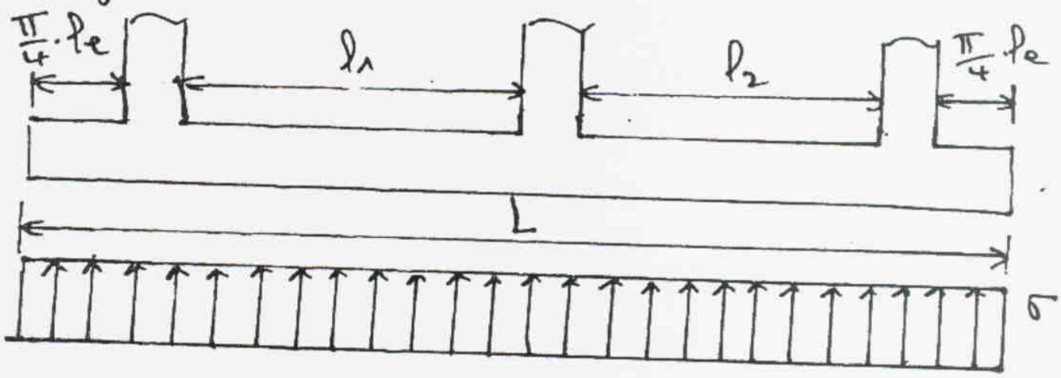
La théorie des poutres sur sol élastique précise que :

1/ Lorsque la longueur l de la travée de la poutre ou l'écartemen[t] des charges qui la sollicitent est tel que :

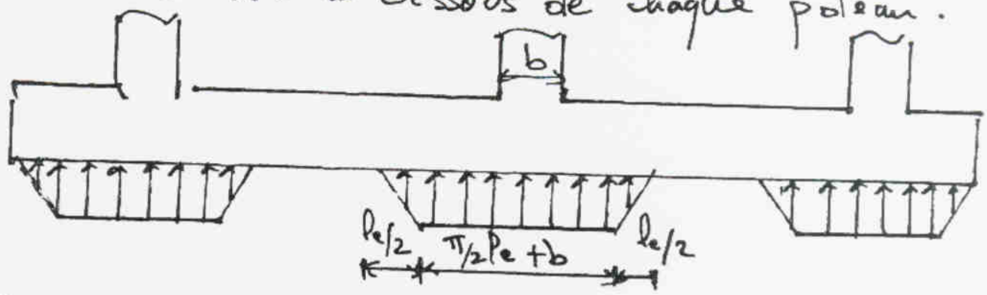
$$\left\{ \boxed{l \le \frac{\pi}{2} \times l_e} \right\}$$

où l_e = longueur élastique de la pou[tre]

le calcul peut être fait en supposant une répartition linéaire des contraintes sur le sol et il n'y a pas lieu de faire des calculs relatifs à la poutre sur sol élastique.



2/ Dans le cas contraire, la théorie de la poutre ~~élastique~~ sur sol élastique est applicable en supposant une répartition trapézoïdale de la contrainte du sol en dessous de chaque poteau.



3/ Pour un poteau de rive, on devra prévoir un débord de la poutre de $\frac{\pi}{4} \cdot l_e$ au minimum. S'il est impossible de prévoir un tel débord, il faudrait adopter une section de poutre entre le premier et le second poteau, telle que leur écartement soit sensiblement inférieur à $\frac{\pi}{2} \cdot l_e$.

Pour revenir au dimensionnement et ferraillage de la poutre de libage, et pour assurer une répartition linéaire de la contrainte du sol, il suffit de vérifier l'inégalité :

$$\boxed{l_{max} \leq \frac{\pi}{2} \cdot l_e}$$

avec $l_{max} = Max[l_i]$.

et $l_e = \sqrt[4]{\dfrac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}}$

où : I = Moment d'Inertie de la poutre de libage
E = Module d'Elasticité du Béton.
b = largeur de la poutre prise égale à la largeur b du poteau.
K = Coefficient de raideur du sol
En pratique K varie de 0,5 à 12 kg/cm^3
On pourra adopter les valeurs suivantes :
K = 0,5 pour un très mauvais sol
K = 4 pour un sol moyen ($\sigma_{sol} \simeq 0{,}2$ MPa)
K = 12 pour un très bon sol.

b)/ Dimensionnement de la poutre de Libage :

A partir de cette inégalité on pourra dimensionner la poutre de libage en déterminant sa hauteur h_p.

Avec $I = \dfrac{b\, h_p^3}{12}$, on aura :

$$l_{max} \leq \frac{\pi}{2} l_e \Rightarrow l_{max}^4 \leq \frac{\pi^4}{16} \cdot \frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}.$$

$$\Rightarrow l_{max}^4 \leq \frac{\pi^4}{4} \cdot \frac{E \cdot b\, h_p^3/12}{K \cdot b} \Rightarrow h_p^3 \geq \frac{48 \cdot K \cdot l_{max}^4}{\pi^4 \cdot E} \simeq \frac{0{,}5\, K}{E} \cdot l_{max}^4$$

$$\Rightarrow \boxed{h_p \geq \sqrt[3]{\frac{0{,}5 \cdot K \cdot l_{max}^4}{E}}}$$

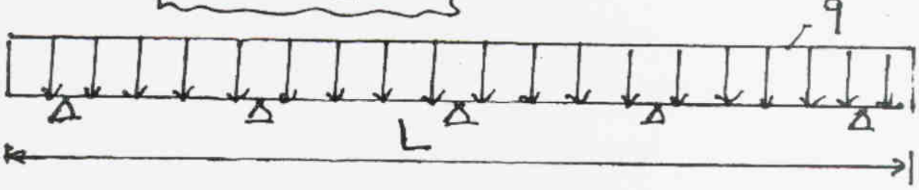
Remarque :

Cette hauteur h_p de la poutre de libage est généralement largement supérieure à la hauteur h de la semelle. Dans le cas contraire ($h_p < h$) on adoptera comme hauteur de la poutre de libage $h_p = h$.

b2/ Ferraillage de la poutre de libage.

La poutre de libage est considérée comme une poutre continue mais renversée soumise à une charge uniformément répartie q. Cette charge sera égale à la somme de toutes les charges concentrées (ΣN_i) dans les poteaux et provenant de la superstructure divisé par la longueur totale L de la poutre de libage.

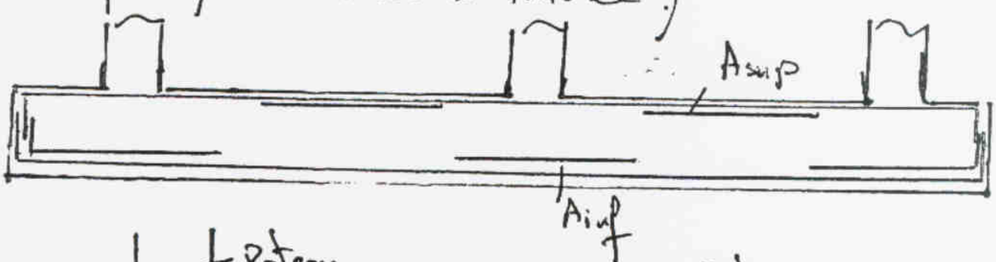
$$\boxed{q = \frac{\Sigma N_i}{L}}$$

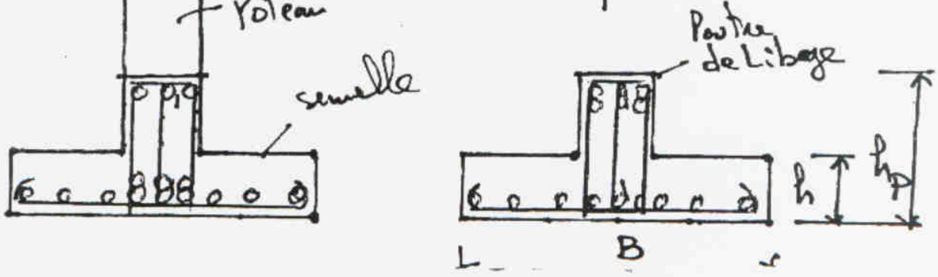


* On commencera en premier lieu par vérifier la contrainte dans le sol.

$$\boxed{\sigma = \frac{N}{L \times b} \leq \sigma_{sol}}$$ Avec $N = \Sigma N_i + P_{remblai} + PP_{poutre}$

* On determinera ensuite les moments de Flexion en travées et aux appuis.
* Puis on calculera les sections d'armatures, inférieures (à l'aide du moment négatif maximum à l'appui) et supérieures (à l'aide du moment positif maximum en travée)





2.6 Radier Général :

Le radier général est constitué par une semelle générale couvrant toute la surface au sol du Batiment.
Le radier général se trouve justifié si les semelle continues ou isolées deviennent très larges en raison :

* de la faible capacité portante du sol
* des charges élevée du batiment
* du rapprochement des poteaux
* de la profondeur à atteindre pour fonder sur un bon sol.
* des difficultés d'établir des pieux.

Pour pouvoir retenir ce mode de fondation, il faut que la construction ne supporte pas de charges d'exploitation présentant d'importantes dissymétries car cela pourrait causer des tassements differentiels entre les diverses zones du radier.

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les murs et les poteaux de l'ossature et qui est soumis à la réaction du sol diminuée du poids propre du radier.

La différence entre le radier général et le plancher dalle et que le radier aura une épaisseur h plus importante que celle du plancher dalle.
Le radier peut être constitué de dalle nervurée pour ressembler à un plancher nervuré.