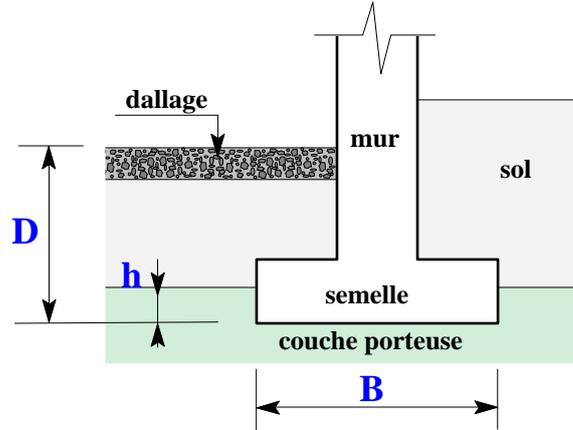


# SOMMAIRE

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

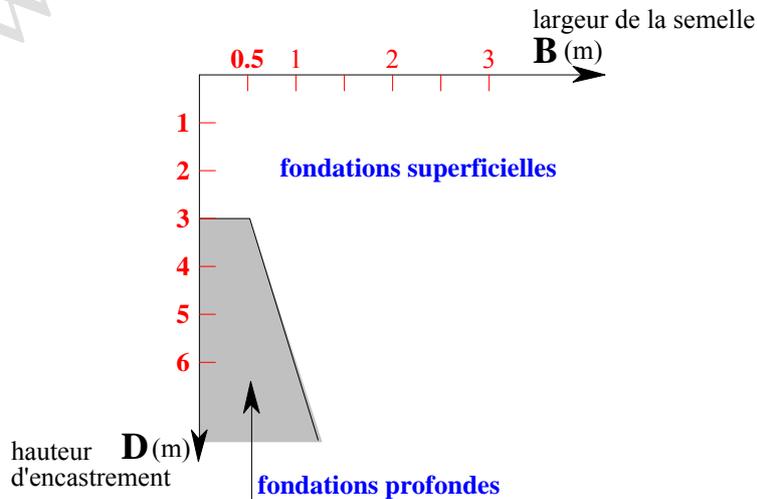
Une fondation superficielle est définie par des caractéristiques géométriques.



**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** :

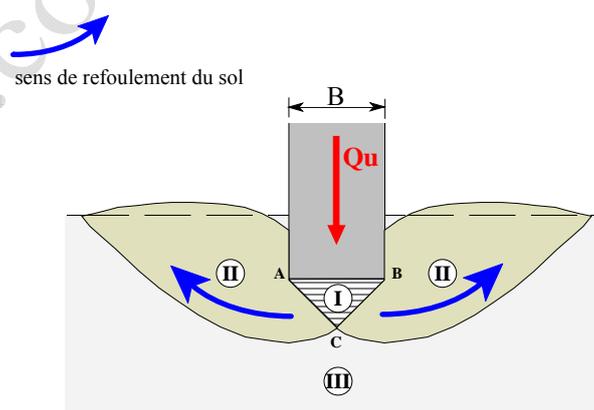
- le **D.T.U. 13.12.** - nov. 1988 *Règles pour le calcul des fondations superficielles* qui s'applique aux travaux de bâtiment.
- le **fascicule 62 - titre V** - déc. 1993 qui s'applique aux travaux de Génie Civil, ouvrages d'art notamment.

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**

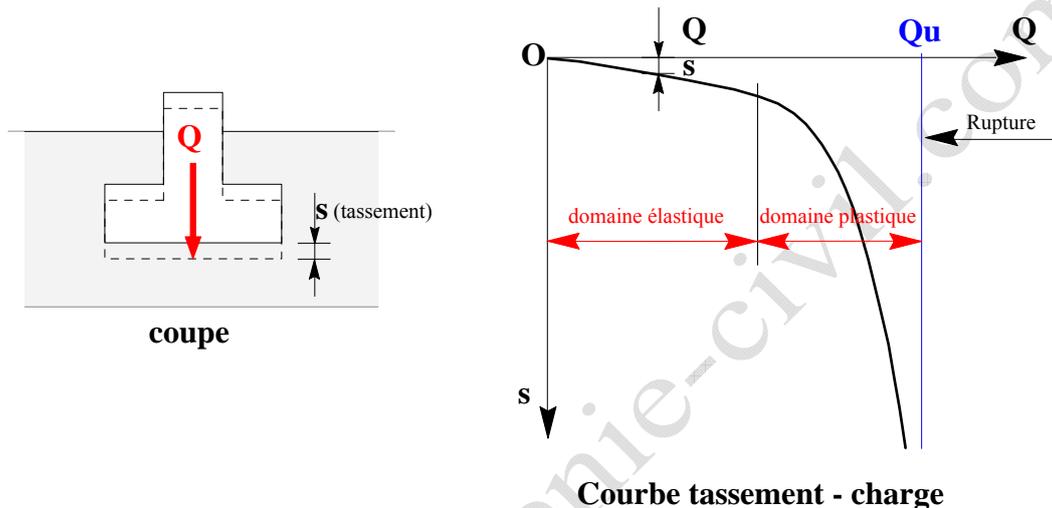
- **Zone I** : située directement sous la semelle, cette zone, formée d'un coin délimité par les points A, B, et C est fortement comprimée. Cette zone se déplace avec la semelle.
- **Zone II** : Le sol est refoulé vers la surface; les déplacements et cisaillements sont très importants. Il s'y produit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

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

$S_\gamma, S_q, S_c$  sont les coefficients de forme de la semelle

$N_\gamma, N_q, N_c$  sont des paramètres fonction de  $\varphi$

$c$  : cohésion du sol

$\varphi$  : angle de frottement interne du sol

$\gamma$  : 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  $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  selon D.T.U. 13.12.

$\varphi$ (°)	$N_\gamma$	$N_q$	$N_c$
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  $N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  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

$i_\delta$  : .... 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<sub>ref</sub>** (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**.



Le fascicule 62 - titre V propose la formule suivante :

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

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

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

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

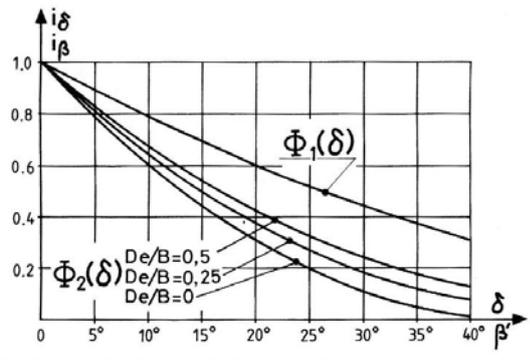
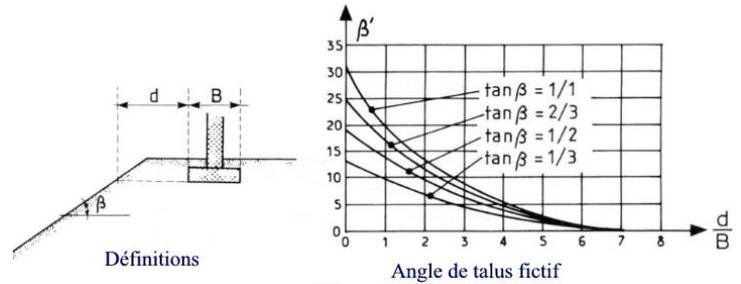


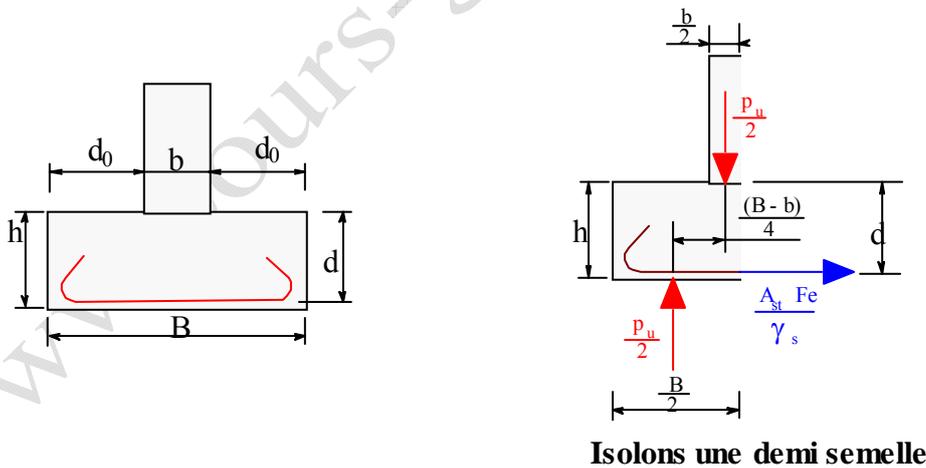
Fig. 10.14. Valeurs de  $i_{\delta}$  en fonction de  $\delta$  et de  $i_{\beta}$  en fonction de  $\beta'$



## 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



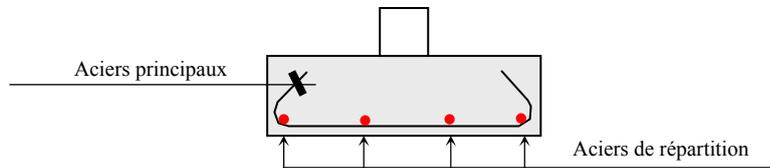
La condition des bielles impose que  $\frac{B-b}{4} \leq d \leq B-b$

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 :  $A_{st} \geq \frac{p_u (B-b) \gamma_s}{8 \cdot d \cdot F_e}$

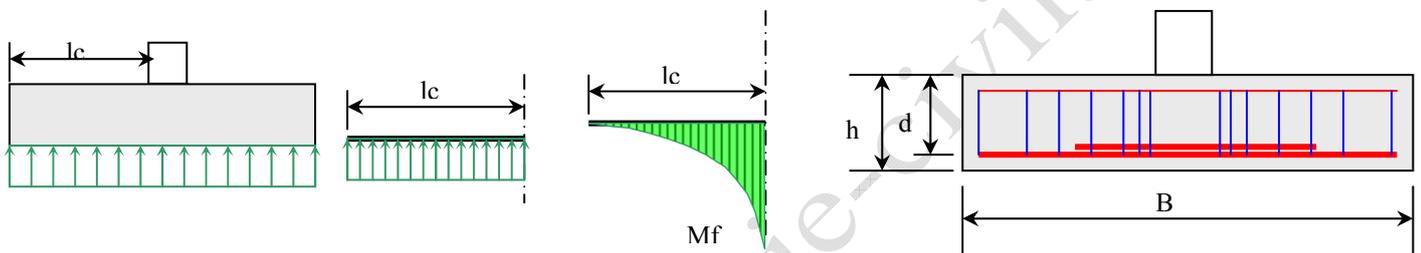
En aucun cas la **section d'aciers principaux** ne devra être inférieure à la **section minimum** fixée à 2 cm<sup>2</sup> (4 HA 8).

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  
 $\phi_a$  : diamètre des aciers principaux

On compare  $\tau_s$  à  $\tau_{su}$  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 80  $\phi$ .

## 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 :

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

[..\..\..\UFMNTD Fondations superficielles.doc](#)

www.cours-genie-civil.com