

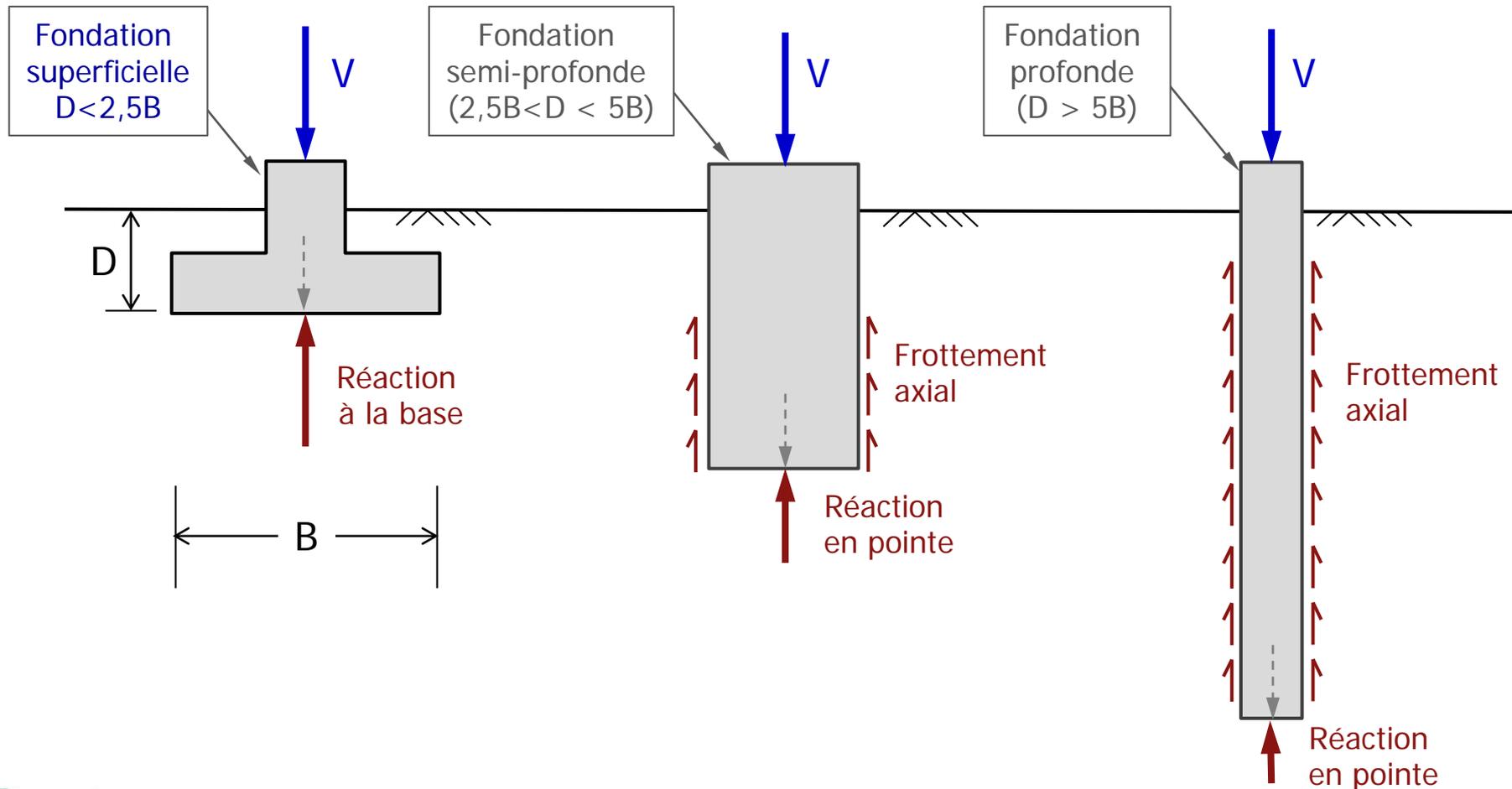
FONDSUP : Justification d'une fondation superficielle rigide selon la NF P 94 261

# Sommaire

- ⇒ Domaine d'application
- ⇒ Aspects normatifs
- ⇒ Mise en œuvre dans Foxta v4
- ⇒ Exercices d'application

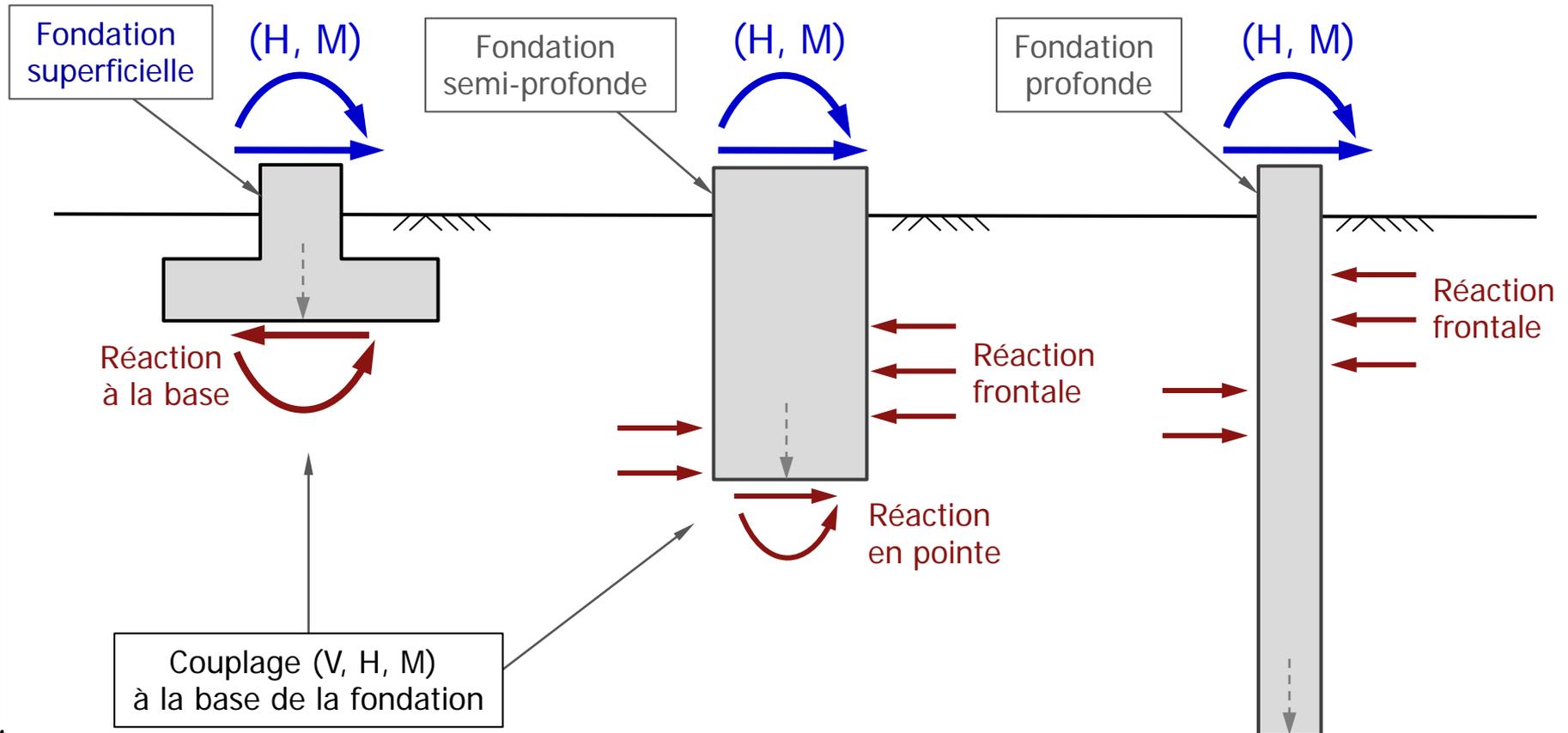
# Domaine d'application

⇒ Concept de fondation superficielle



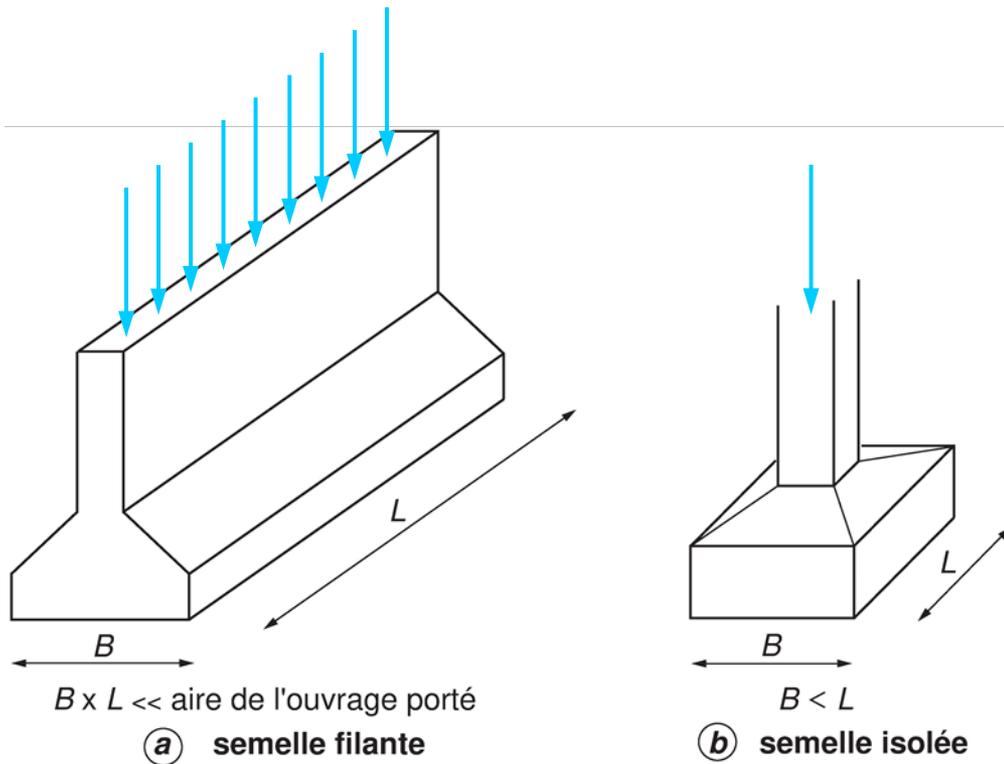
# Domaine d'application

⇒ Concept de fondation superficielle

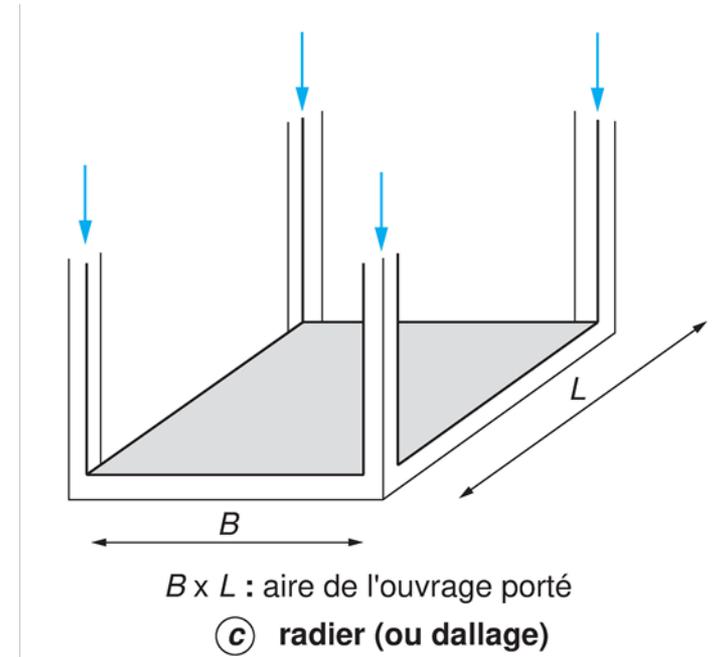


# Domaine d'application

⇒ Concept de semelle rigide : largeur  $< 5 \times$  épaisseur



Fondation relativement indéformable par rapport au terrain = FONDSUP



Fondation relativement déformable par rapport au terrain = TASPLAQ

# Norme NF P 94-261

⇒ Les points clés à vérifier

## Etats limites ultimes (ELU)

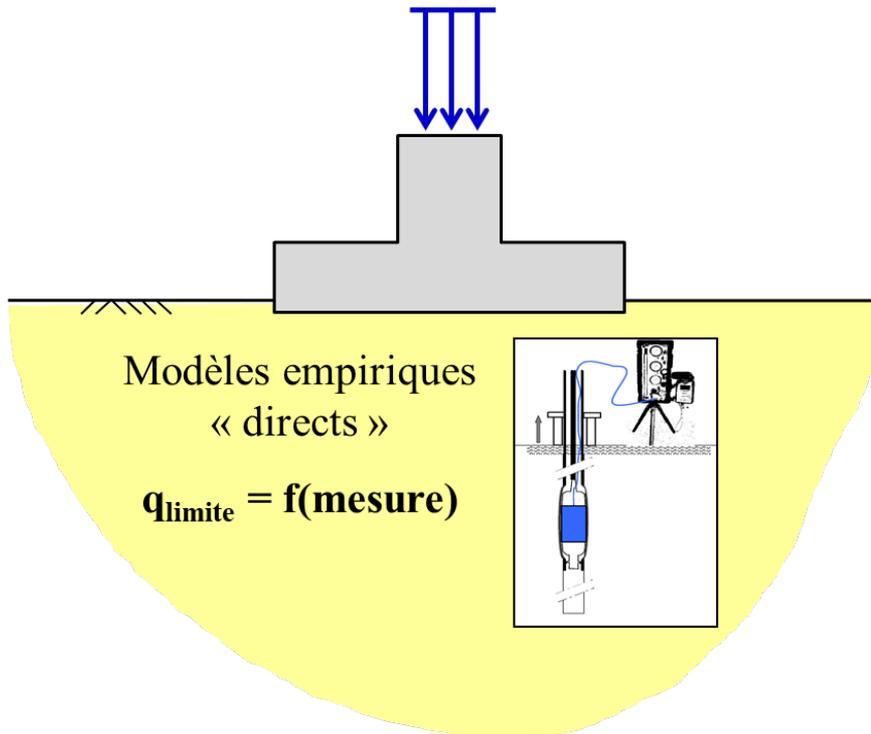
- Portance combinée
- Limitation de l'excentrement
- Glissement

## Etats limites de service (ELS)

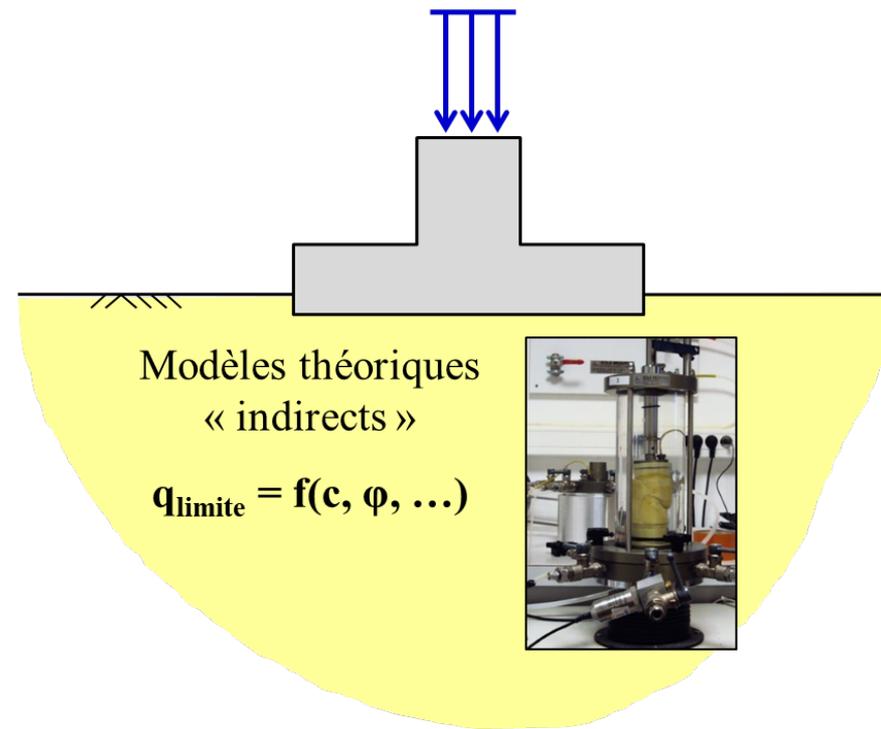
- Portance combinée
- Limitation de l'excentrement
- Tassements

# Norme NF P 94-261

⇒ Modèles de calcul



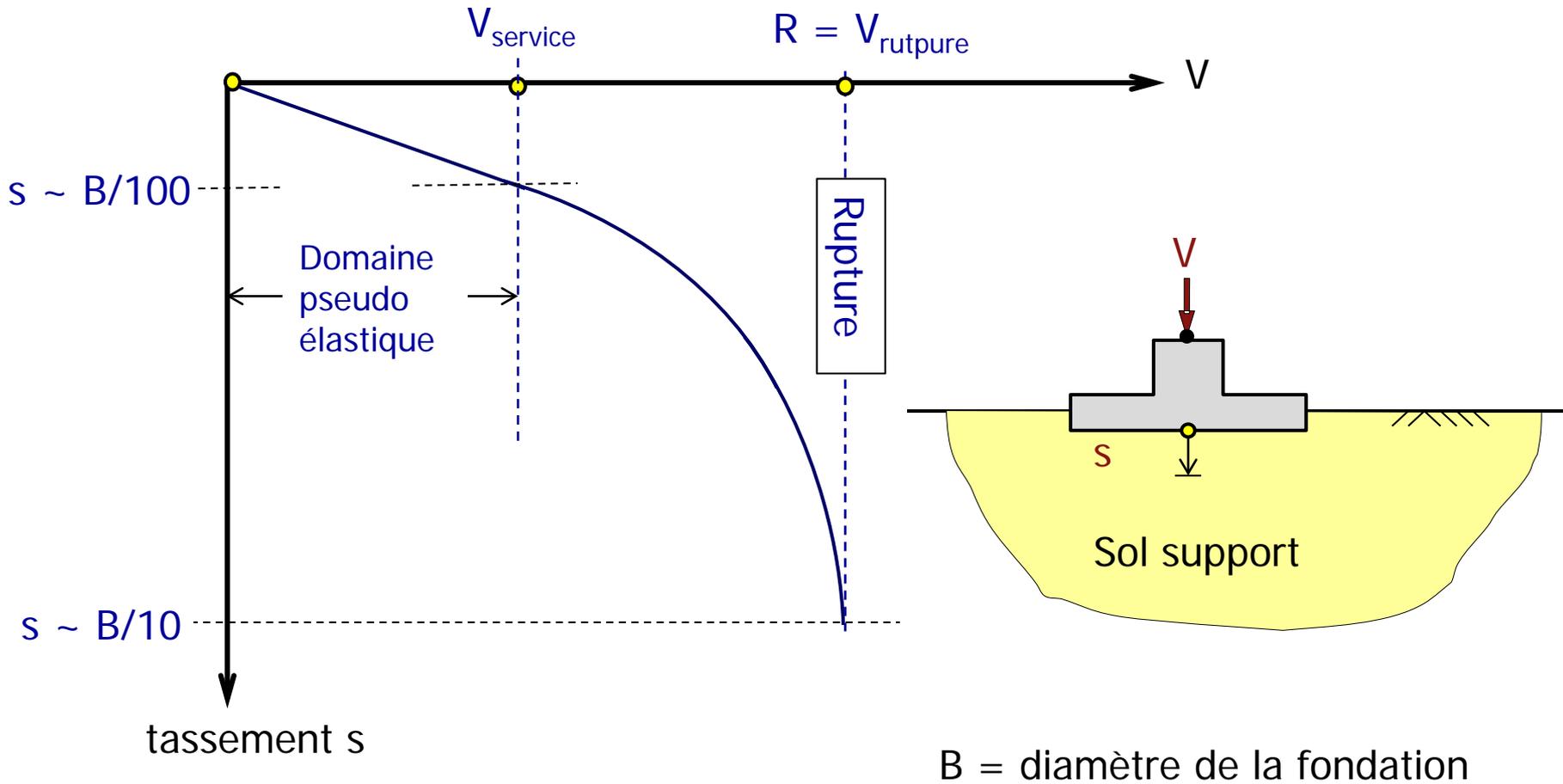
Approche basée sur l'exploitation de mesures en vraie grandeur d'ouvrages réels en ciblant un mécanisme bien précis : tassement, portance...



Approche basée sur une idéalisation du comportement « local » du terrain par des mesures en laboratoire visant à capter des propriétés intrinsèques du sol

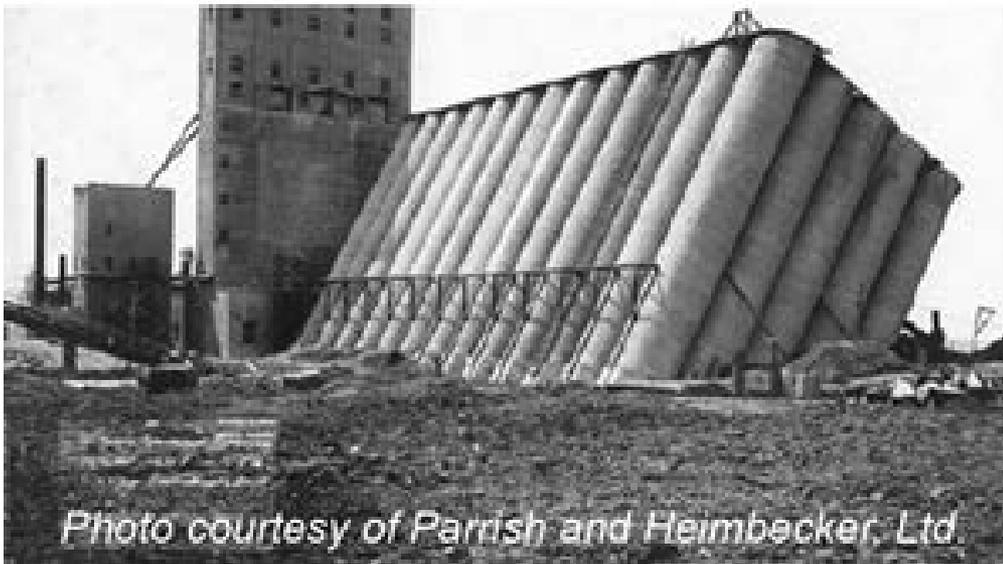
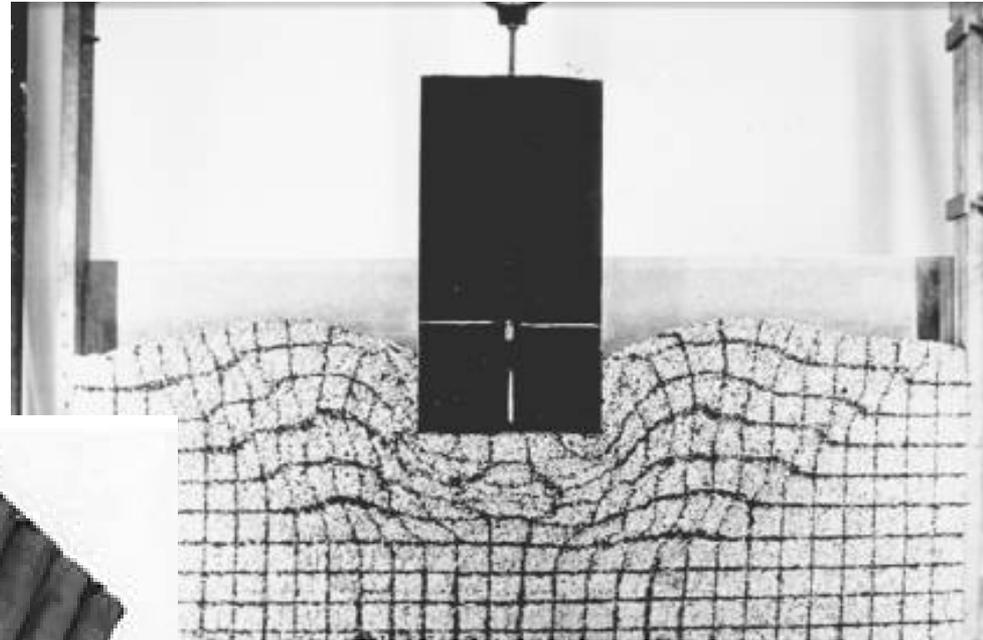
# Capacité portante

- Le mécanisme en jeu



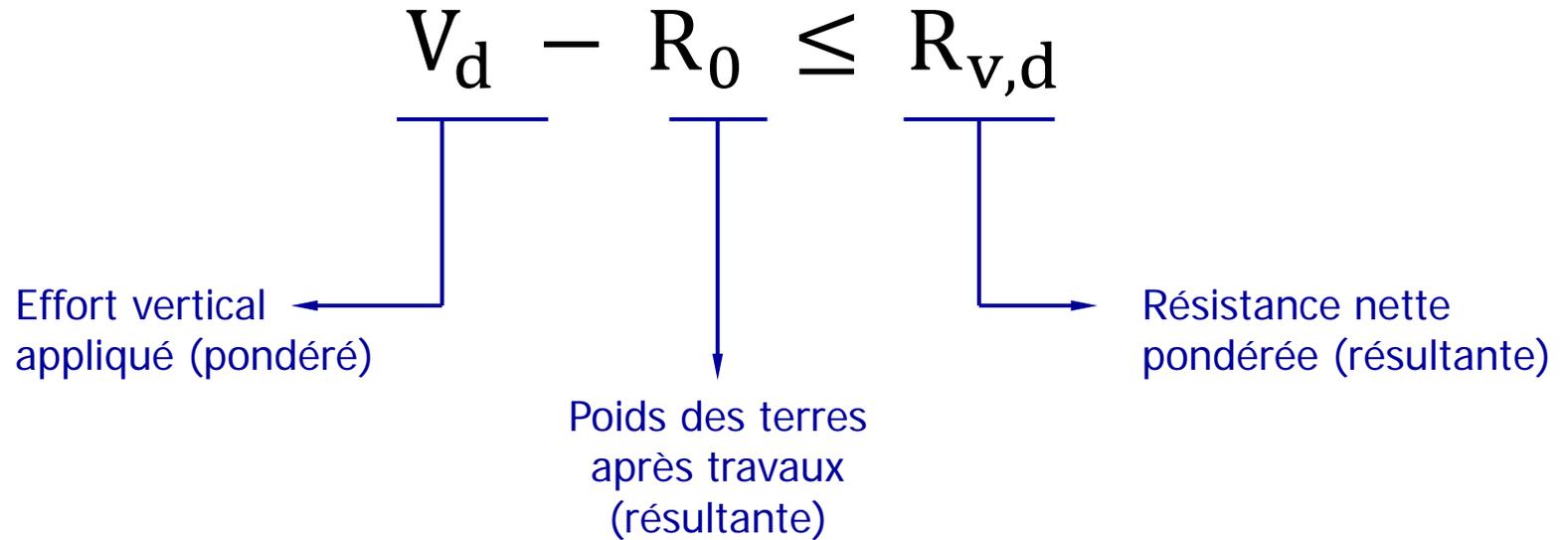
# Capacité portante

- Le mécanisme en jeu



# Capacité portante

- Formalisme de justification

$$V_d - R_0 \leq R_{v,d}$$


Effort vertical appliqué (pondéré)

Poids des terres après travaux (résultante)

Résistance nette pondérée (résultante)

Le tout est exprimé en valeurs de calcul !

# Capacité portante

- Formalisme de justification

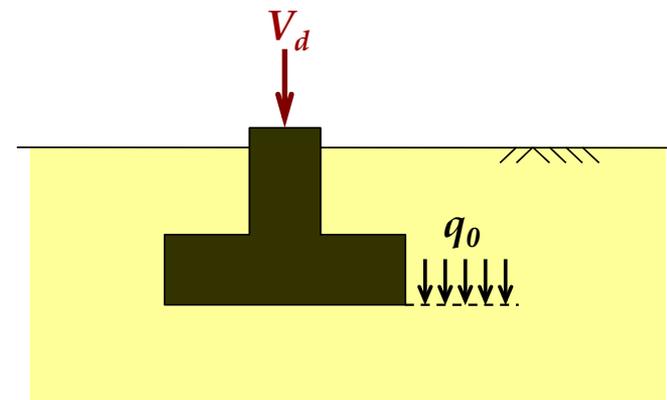
$$V_d - R_0 \leq R_{v,d}$$

Effort vertical appliqué (pondéré) ←

$$R_0 = Aq_0$$

$$R_{v,d} = \frac{A'q_{net}}{F_s}$$

- A aire d'assise totale de la fondation
- A' aire d'assise « effective » de la fondation
- $q_{net}$  contrainte de rupture du terrain
- $q_0$  poids des terres au dessus de la base (après travaux)
- $F_s$  facteur partiel combiné ( $= \gamma_{R,d} \cdot \gamma_{R,v}$ )



# Capacité portante

- Facteur partiel combiné  $F_s$

⇒ Modèles empiriques (CPT, PMT) et analytiques en conditions non drainées ( $c_u$ )

- $F_s = 2,76$  pour les combinaisons ELS
- $F_s = 1,68$  pour les combinaisons ELU fondamentales et sismiques
- $F_s = 1,44$  pour les combinaisons ELU accidentelles

⇒ Modèles analytiques en conditions drainées ( $c'$  et  $\phi'$ )

- $F_s = 4,60$  pour les combinaisons ELS
- $F_s = 2,80$  pour les combinaisons ELU fondamentales et sismiques
- $F_s = 2,40$  pour les combinaisons ELU accidentelles

# Capacité portante (PMT, CPT)

- Contrainte de rupture du terrain  $q_{net}$  : modèles empiriques

$$q_{net} = k_p p_{le}^* i_\delta i_\beta$$

$k_p$  facteur de portance pressiométrique

$p_{le}^*$  pression limite nette équivalente

$i_\delta$  coefficient réducteur lié à l'inclinaison des charges

$i_\beta$  coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus

$$q_{net} = k_c q_{ce} i_\delta i_\beta$$

$k_c$  facteur de portance pénétrométrique

$q_{ce}$  résistance de cône équivalente

$i_\delta$  coefficient réducteur lié à l'inclinaison des charges

$i_\beta$  coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus

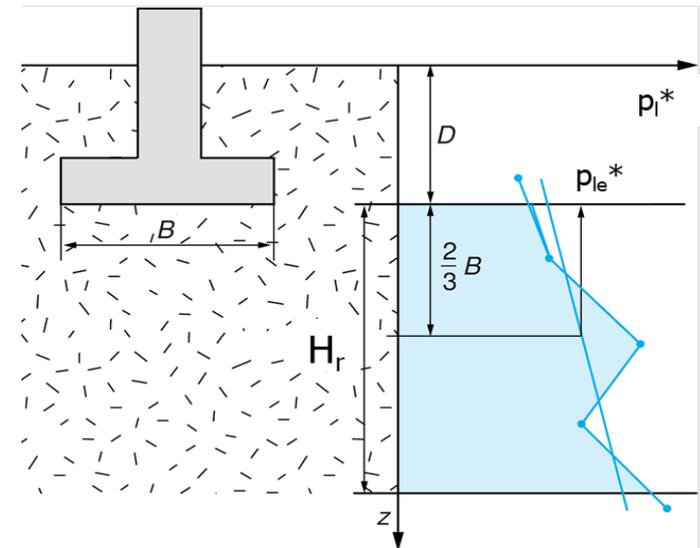
NF P 94 261 – Annexes D et E

# Capacité portante (PMT, CPT)

- Pression limite nette équivalente  $p_{le}^*$  (PMT)

$$\log(p_{le}^*) = \frac{1}{H_r} \int_D^{D+H_r} \log(p_l^*) \quad (\text{moyenne géométrique})$$

- Moyenne géométrique entre  $z = D$  et  $z = D + H_r$
- $H_r$  : fonction de l'excentricité de la charge « e »
- Valeurs de  $H_r$  pour une semelle filante :
  - ⇒ ELS :  $H_r = 1,5 B$
  - ⇒ ELU :  $H_r = 1,5 B$  si  $e < B/4$
  - $H_r = 3B - 6e$  si  $e > B/4$
- Autres critères pour semelles rectangulaires et circulaires (explicités dans la norme)



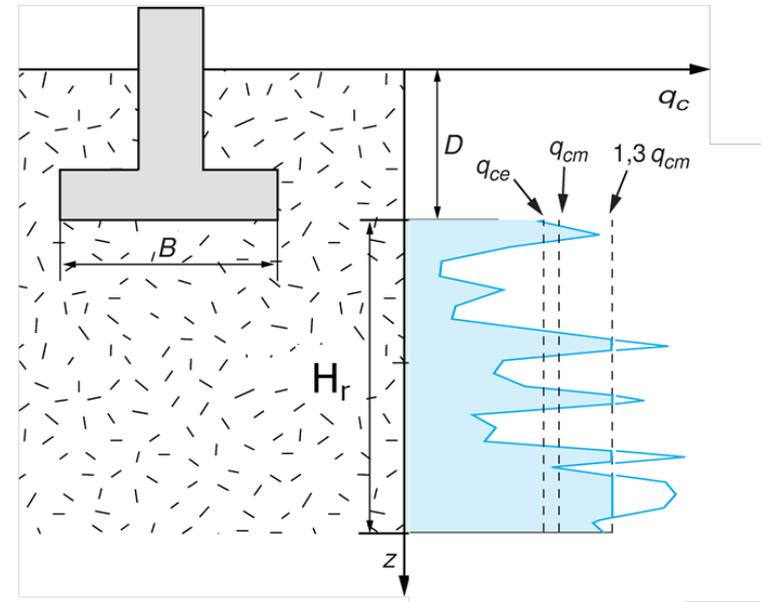
# Capacité portante (PMT, CPT)

- Résistance de cône équivalente  $q_{ce}$  (CPT)

$$q_{ce} = \frac{1}{H_r} \int_D^{D+H_r} q_{cc}(z) dz \quad (\text{moyenne arithmétique écrêtée})$$

- $H_r$  = mêmes modalités que méthode PMT
- $q_{cc}$  = résistance de cône écrêtée à  $1,3q_{cm}$

$$q_{cm} = \frac{1}{H_r} \int_D^{D+H_r} q_c(z) dz$$



# Capacité portante (PMT, CPT)

- Facteur de portance pressiométrique  $k_p$

$$k_p = k_p^1 \left( 1 - \frac{B}{L} \right) + k_p^2 \frac{B}{L}$$

$k_p^1$  facteur de portance pour semelle filante

$k_p^2$  facteur de portance pour semelle carrée

$$k_p^{1 \text{ ou } 2} = k_{p0} + \left[ a + b \frac{D_e}{B} \right] \cdot \left[ 1 - \exp \left( -c \frac{D_e}{B} \right) \right]$$

		a	b	c	$k_{p0}$
Argiles et limons	Semelle filante	0,20	0,02	1,3	0,8
	Semelle carrée	0,30	0,02	1,5	0,8
Sables et graves	Semelle filante	0,30	0,05	2,0	1,0
	Semelle carrée	0,22	0,18	5,0	1,0
Craies	Semelle filante	0,28	0,22	2,8	0,8
	Semelle carrée	0,35	0,31	3,0	0,8
Marnes et marno-calcaires	Semelle filante	0,20	0,20	3,0	0,8
Roches altérées	Semelle carrée	0,20	0,30	3,0	0,8

# Capacité portante (PMT, CPT)

- Facteur de portance pénétrométrique  $k_c$

$$k_c = k_c^1 \left( 1 - \frac{B}{L} \right) + k_c^2 \frac{B}{L}$$

$k_c^1$  facteur de portance pour semelle filante

$k_c^2$  facteur de portance pour semelle carrée

$$k_c^{1 \text{ ou } 2} = k_{c0} + \left[ a + b \frac{D_e}{B} \right] \cdot \left[ 1 - \exp \left( -c \frac{D_e}{B} \right) \right]$$

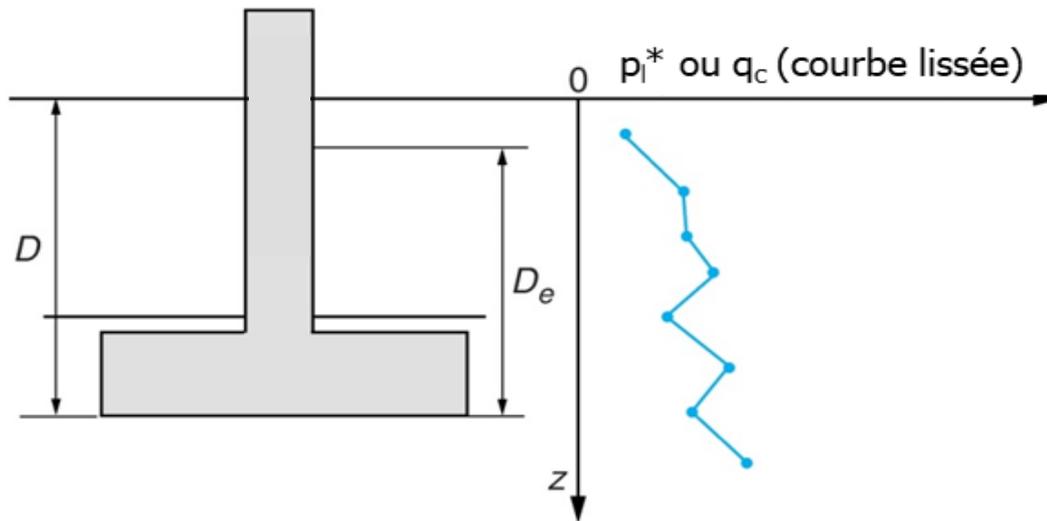
		a	b	c	$k_{c0}$
Argiles et limons	Semelle filante	0,07	0,007	1,3	0,27
	Semelle carrée	0,10	0,007	1,5	0,27
Sables et graves	Semelle filante	0,04	0,006	2,0	0,09
	Semelle carrée	0,03	0,020	5,0	0,09
Craies	Semelle filante	0,04	0,030	3,0	0,11
	Semelle carrée	0,05	0,040	3,0	0,11
Marnes et marno-calcaires	Semelle filante	0,04	0,030	3,0	0,11
Roches altérées	Semelle carrée	0,05	0,040	3,0	0,11

# Capacité portante (PMT, CPT)

- Notion de profondeur d'encastrement équivalente  $D_e$

$$D_e = \frac{1}{p_{le}^*} \int_0^D p_l^*(z) dz$$

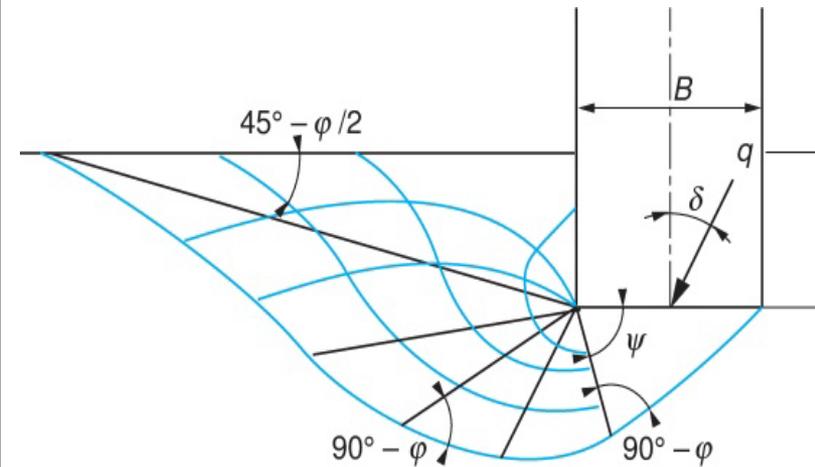
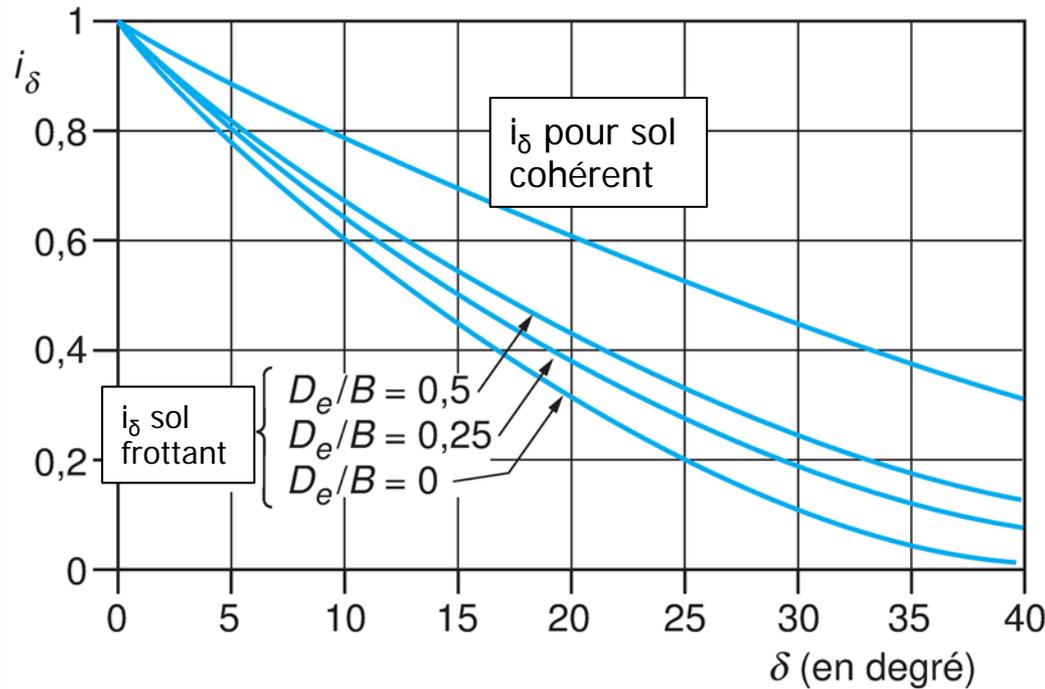
$$D_e = \frac{1}{q_{ce}} \int_0^D q_{cc}(z) dz$$



NF P 94 261 – Annexe C

# Capacité portante (PMT, CPT)

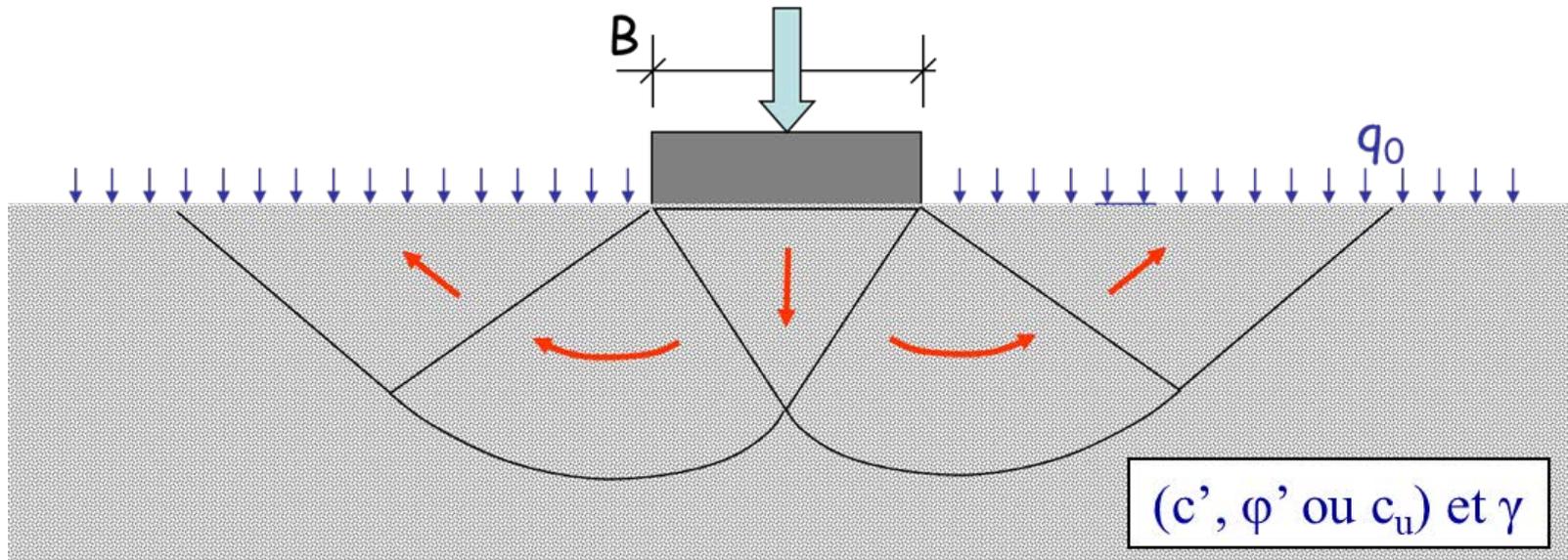
- Coefficient réducteur lié à l'inclinaison du chargement  $i_\delta$



L'inclinaison des charges est très nocive pour les fondations superficielles

# Capacité portante ( $c, \varphi$ )

- Contrainte de rupture du terrain  $q_{\text{net}}$  (modèles analytiques)



NF P 94 261 – Annexe F

# Capacité portante ( $c, \phi$ )

- Contrainte de rupture du terrain  $q_{net}$  : en conditions non-drainées

$$q_{net} = (\pi + 2)s_c i_c c_u$$

$$i_c = 0,5 \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}} \right) \quad s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L}$$

$c_u$  = cohésion non drainée (valeur moyenne caractéristique)

# Capacité portante (c, $\varphi$ )

- Contrainte de rupture du terrain  $q_{\text{net}}$  : en conditions drainées

$$q_{\text{net}} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} + c' N_c s_c i_c + q'_0 (N_q s_q i_q - 1)$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A' c' / \tan \varphi'} \right)^m$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin \varphi'$$

$$i_{\gamma} = \left( 1 - \frac{H}{V + A' c' / \tan \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,3 \frac{B}{L}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi'}$$

$$s_c = \frac{\left( 1 + \frac{B}{L} \sin \varphi' \right) N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$m = \left[ \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \right] \frac{H_L^2}{H^2} + \left[ \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \right] \frac{H_B^2}{H^2}$$

NF P 94 261 – Annexe F

# Capacité portante (c, $\phi$ )

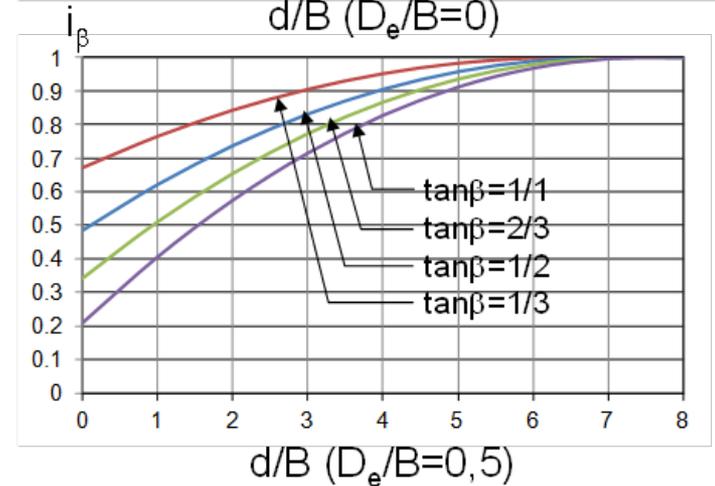
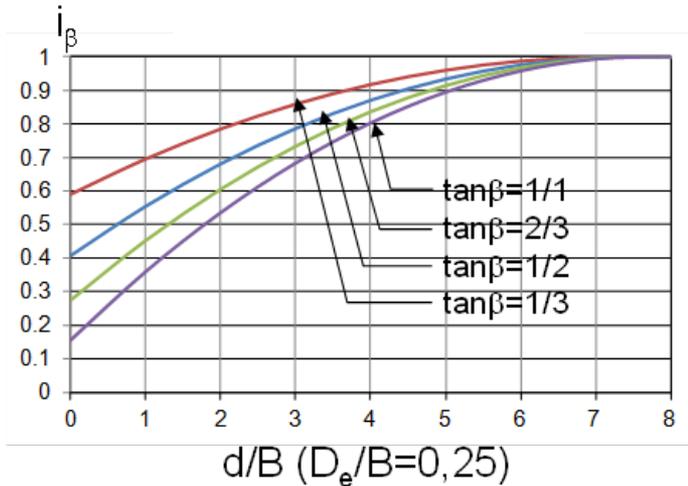
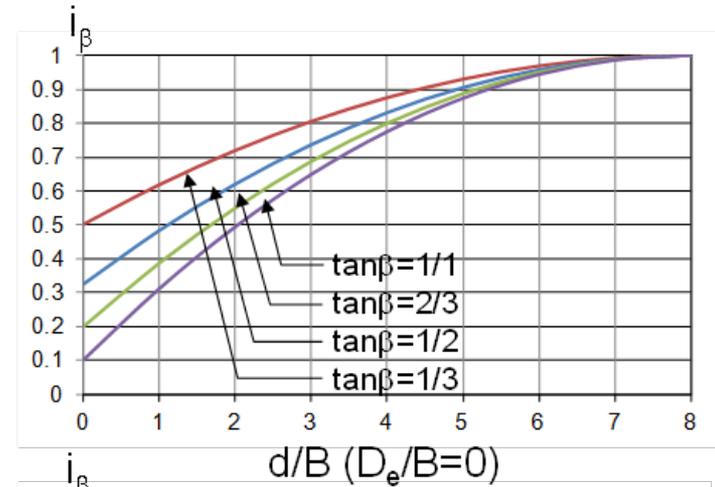
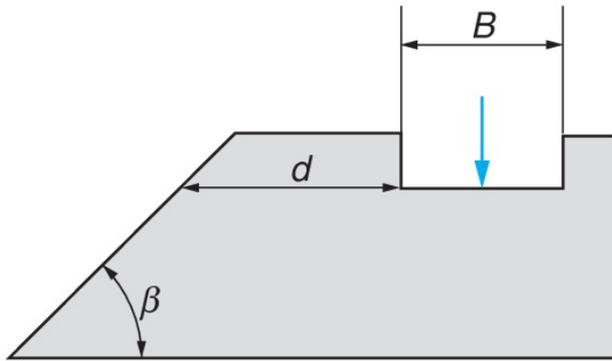
- Contrainte de rupture du terrain  $q_{\text{net}}$  : en conditions drainées

$$q_{\text{net}} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} + c' N_c s_c i_c + q'_0 (N_q s_q i_q - 1)$$

$\phi'$ (°)	$N_{\gamma}$	$N_c$	$N_q$
0	0,00	5,14	1,00
5	0,10	6,49	1,57
10	0,52	8,34	2,47
15	1,58	11,0	3,94
20	3,93	14,8	6,40
25	9,01	20,7	10,7
30	20,1	30,1	18,4
35	45,2	46,1	33,3
40	106,1	75,3	64,2
45	267,7	133,9	134,9

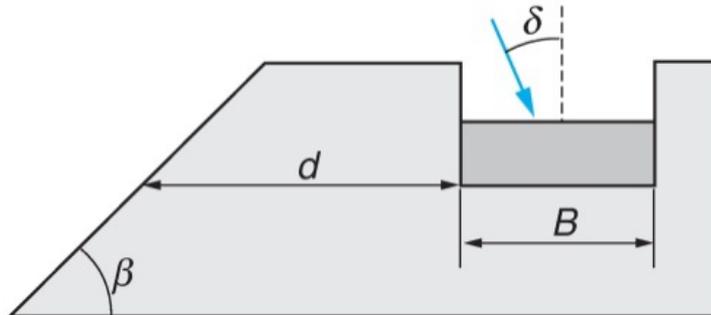
# Capacité portante (tous modèles)

- Coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus  $i_\beta$

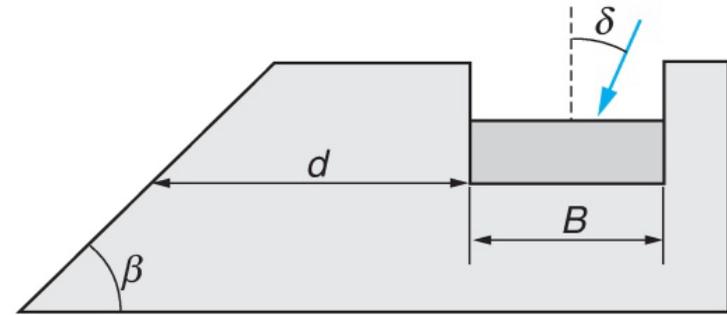


# Capacité portante (tous modèles)

- Cumul des effets de talus et d'inclinaison des charges



$$i_{\delta\beta} = \min\left(\frac{i_{\beta}}{i_{\delta}}; i_{\delta}\right)$$

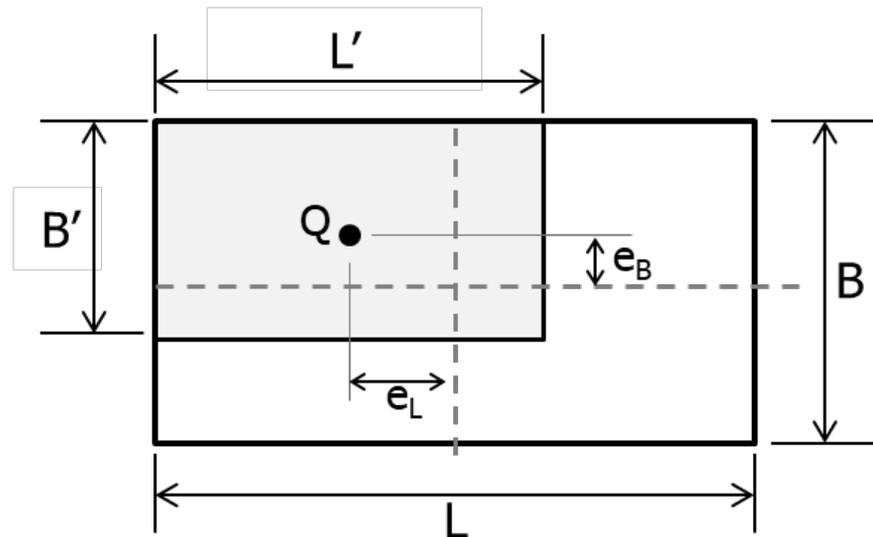
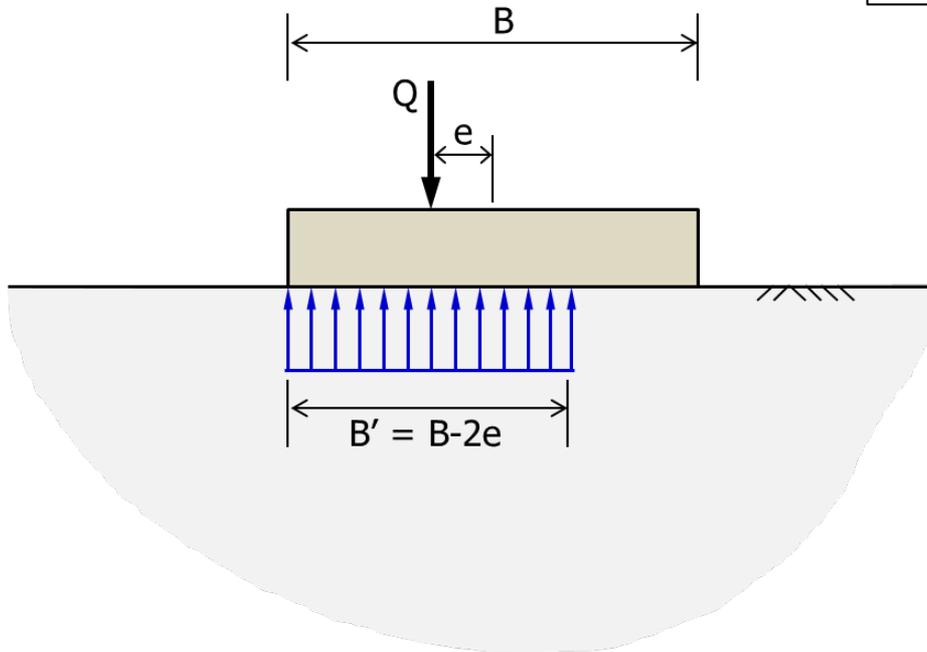


$$i_{\delta\beta} = i_{\delta}i_{\beta}$$

# Capacité portante (tous modèles)

- Prise en compte de l'excentrement des charges

Utilisation du modèle de Meyerhof = définition d'une fondation « fictive » centrée sur la charge

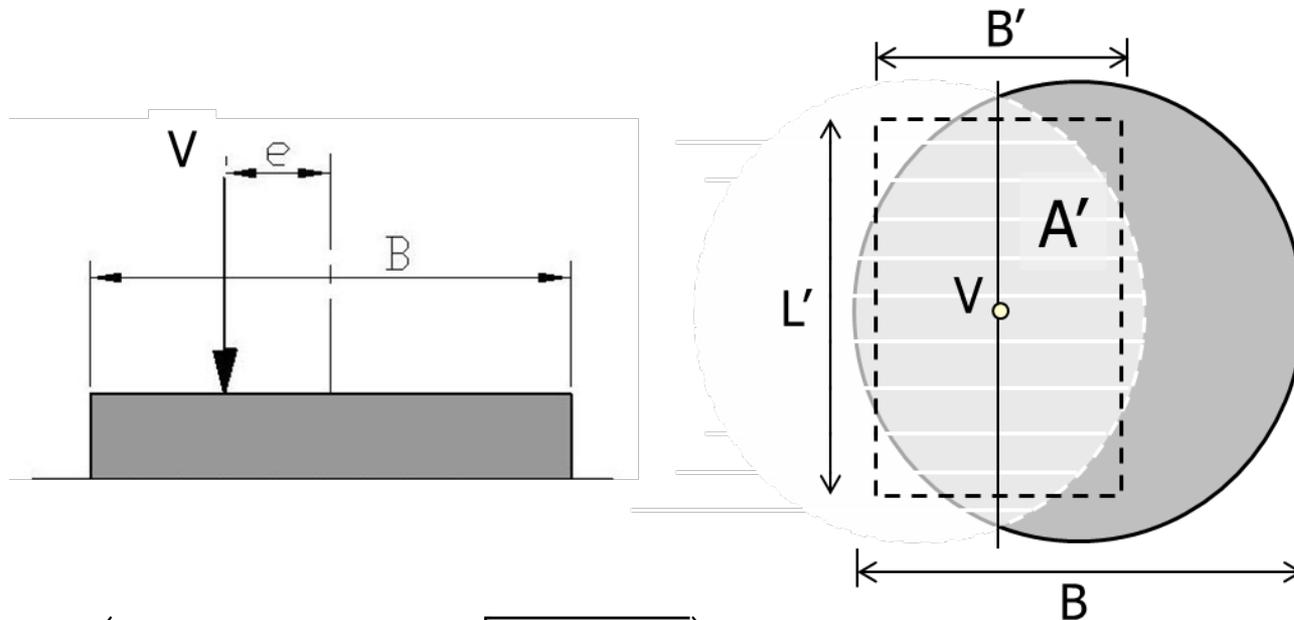


$$A' = (B - 2e_B)(L - 2e_L)$$

# Capacité portante (tous modèles)

- Prise en compte de l'excentrement des charges

Cas particulier d'une semelle circulaire



$$A' = \frac{B^2}{2} \left( \arccos \left( \frac{2e}{B} \right) - \frac{2e}{B} \sqrt{1 - \left( \frac{2e}{B} \right)^2} \right)$$

NF P 94 261 – Annexe Q

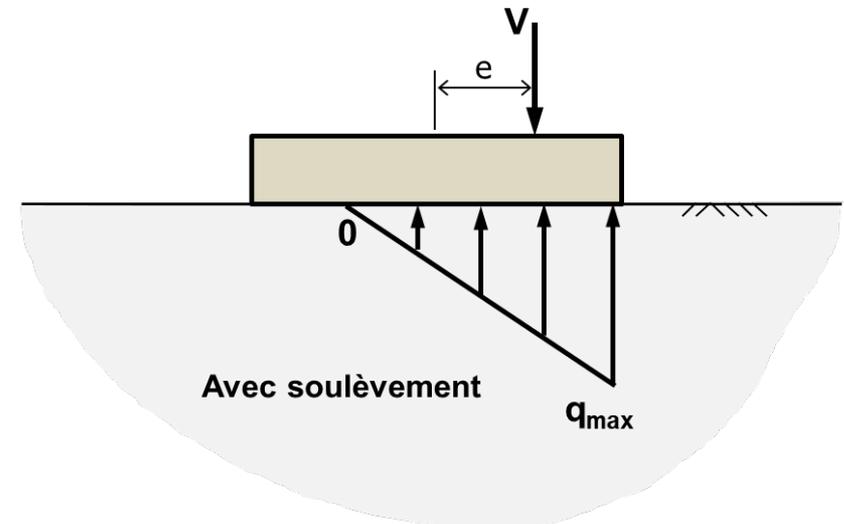
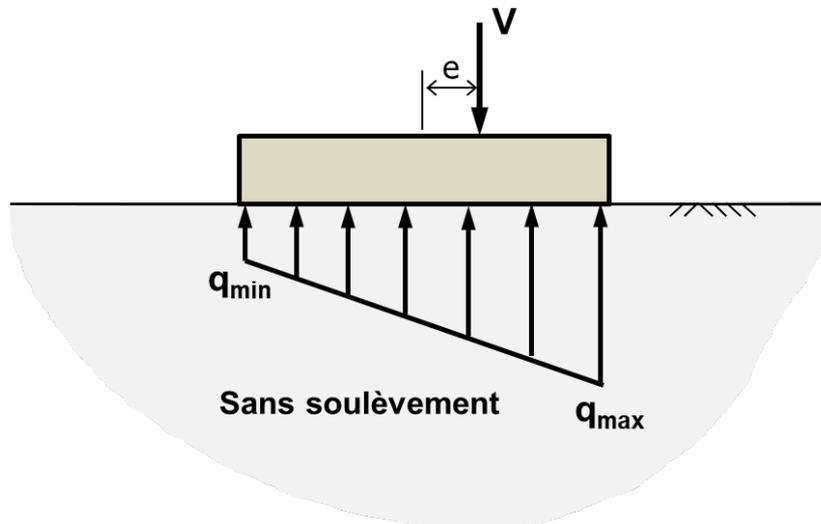
# Limitation de l'excentrement

- Contrôle du taux de décompression du terrain sous la fondation



# Limitation de l'excentrement

- Contrôle du taux de décompression du terrain sous la fondation

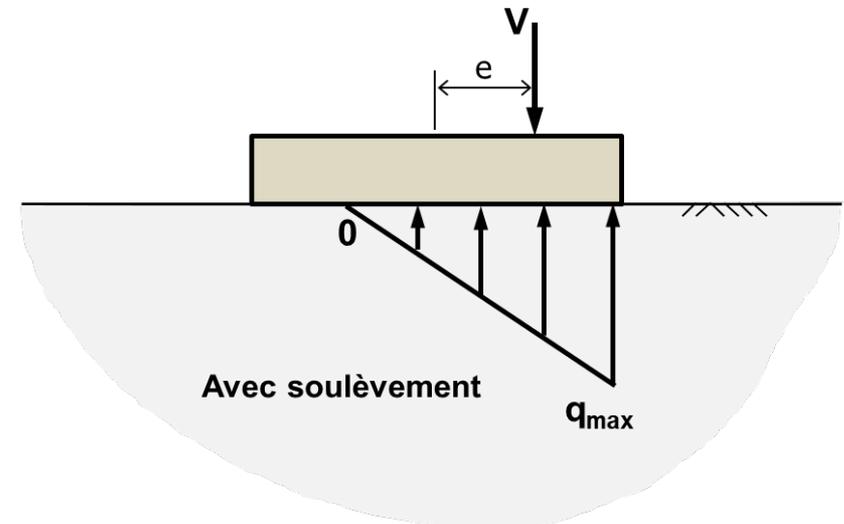
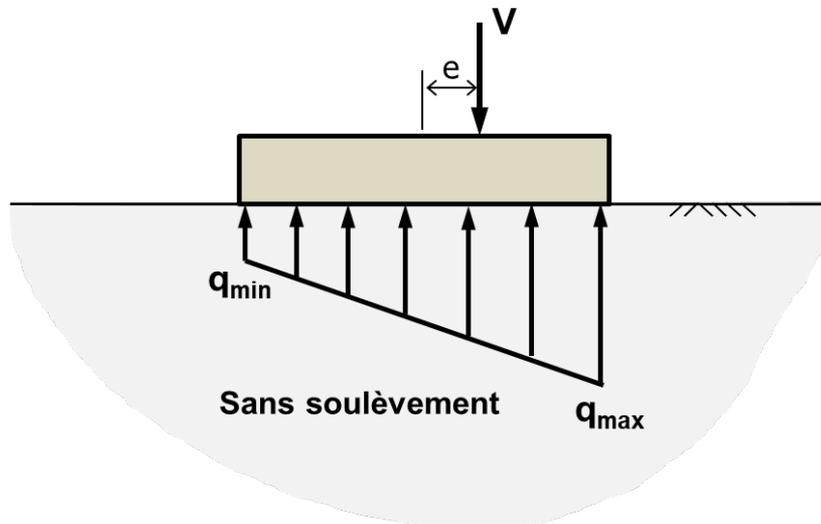


- |            |                              |   |                |
|------------|------------------------------|---|----------------|
| ⇒ ELS QP   | surface comprimée = 100%     | ↔ | $e \leq B/6$   |
| ⇒ ELS CARA | surface comprimée $\geq$ 75% | ↔ | $e \leq B/4$   |
| ⇒ ELU      | surface comprimée $\geq$ 10% | ↔ | $e \leq 7B/15$ |

pour une fondation rectangulaire de largeur B

# Limitation de l'excentrement

- Contrôle du taux de décompression du terrain sous la fondation



- |            |                              |   |                 |
|------------|------------------------------|---|-----------------|
| ⇒ ELS QP   | surface comprimée = 100%     | ↔ | $e \leq B/8$    |
| ⇒ ELS CARA | surface comprimée $\geq$ 75% | ↔ | $e \leq 7B/32$  |
| ⇒ ELU      | surface comprimée $\geq$ 10% | ↔ | $e \leq 37B/80$ |

pour une fondation circulaire de diamètre B

# Stabilité au glissement

- Formalisme de justification (ELU)

Résultante de l'effort horizontal (pondérée)  $\leftarrow H_d \leq R_{h,d}$

$\frac{A'c_u}{F_s}$  Contact adhérent  
 $\frac{\tan\delta_k V_d}{F_s}$  Contact frottant

- $F_s = 1,21$  pour les combinaisons ELU fondamentales
- $F_s = 1,10$  pour les combinaisons ELU accidentelles
- $F_s = 1,25$  pour les combinaisons ELU sismiques (EC8)

# Tassement d'une semelle isolée

⇒ Modèle empirique de Ménard (PMT) : cas d'un terrain homogène

$$s = \frac{q - q_0}{9E_M} \left( \lambda_c B \alpha + 2B_0 \left( \frac{\lambda_d B}{B_0} \right)^\alpha \right)$$

- s : tassement pressiométrique (pour 10 ans)
- q : contrainte moyenne transmise au sol en sous face de la fondation
- q<sub>0</sub> : contrainte verticale totale avant travaux à la base de la fondation
- E<sub>M</sub> : module pressiométrique
- B<sub>0</sub> : dimension de référence = 0,6 m
- α : coefficient rhéologique
- λ<sub>c</sub> et λ<sub>d</sub> : coefficients de forme

NF P 94 261 – Annexe H

# Tassement d'une semelle isolée

⇒ Modèle empirique de Ménard (PMT) : cas d'un terrain hétérogène

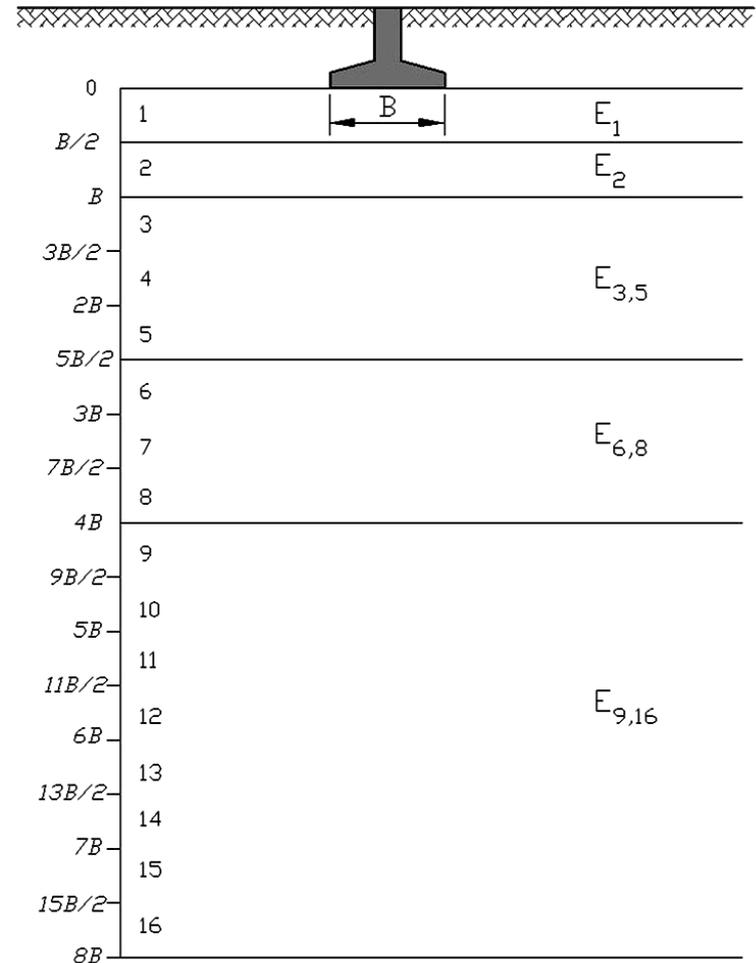
$$s = \frac{q - q_0}{9} \left( \frac{\lambda_c B \alpha}{E_c} + 2 \frac{B_0}{E_d} \left( \frac{\lambda_d B}{B_0} \right)^\alpha \right)$$

$$\frac{1}{E_d} = \frac{0,25}{E_1} + \frac{0,30}{E_2} + \frac{0,25}{E_{3,5}} + \frac{0,10}{E_{6,8}} + \frac{0,10}{E_{9,16}}$$

$$E_c = E_1$$

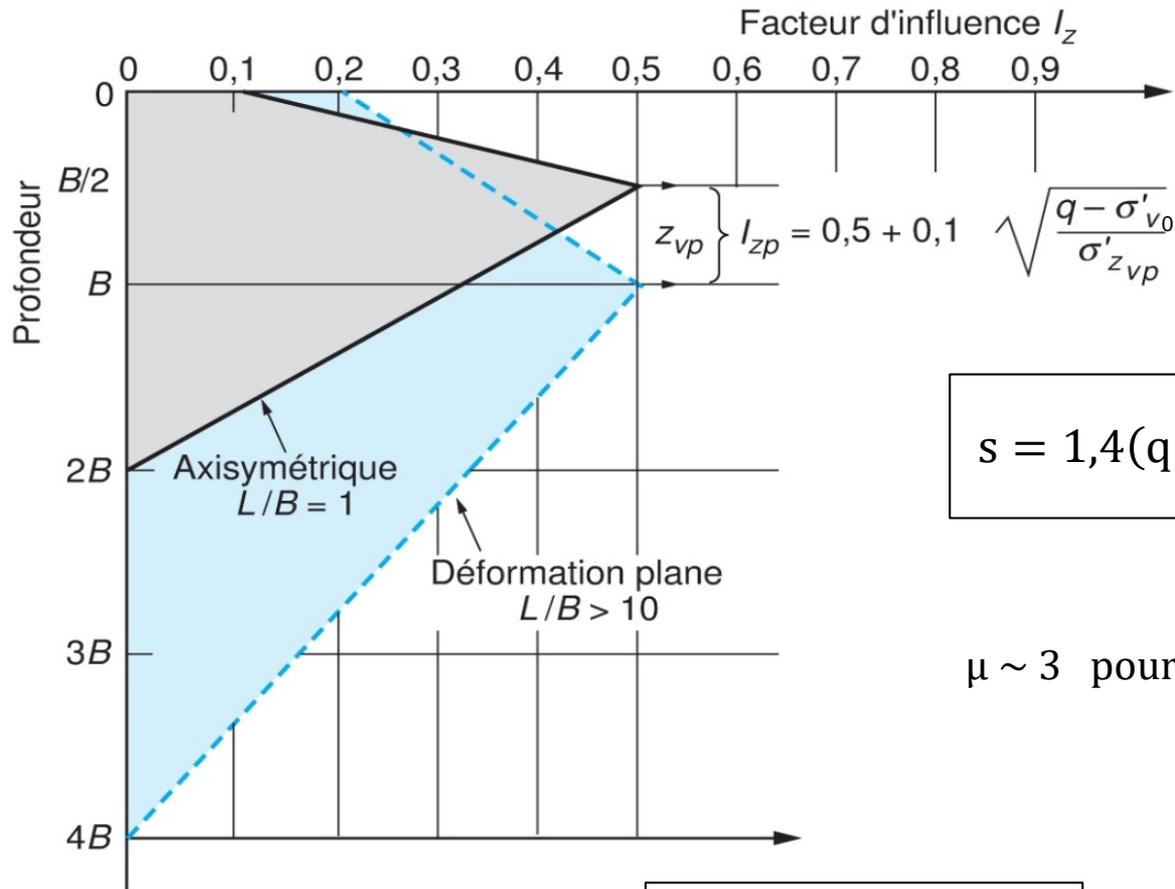
$E_i$  module pressiométrique de la tranche située entre  $z = (i-1)B/2$  et  $iB/2$

$E_{i,j}$  moyenne harmonique de  $E_i \dots E_j$



# Tassement d'une semelle isolée

⇒ Modèle empirique de Schmertmann (CPT)



$$s = 1,4(q - 1,5\sigma'_{v0}) \int_0^{z_I} \frac{I_z}{\mu q_c(z)} dz$$

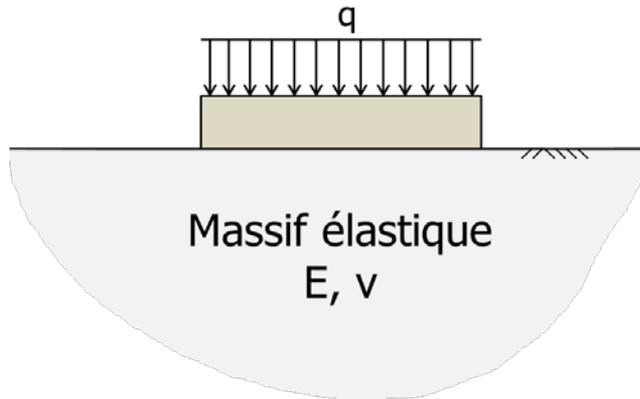
$$\mu \sim 3 \text{ pour } \frac{L}{B} = 1 \quad \mu \sim 6 \text{ pour } \frac{L}{B} = 10$$

NF P 94 261 – Annexe I

# Tassement d'une semelle isolée

⇒ Solution analytique de Giroud (terrain homogène)

NF P 94 261 – Annexe J



$$s = \frac{qB(1 - \nu^2)}{E} c_f$$

Valeurs du coefficient  $c_f$

L / B		Circulaire	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Fondation rigide		0,79	0,88	1,20	1,43	1,59	1,72	1,83	1,92	2,00	2,07	2,13	2,37	2,54
Fondation souple	centre	1,00	1,12	1,53	1,78	1,96	2,10	2,22	2,32	2,40	2,48	2,54	2,80	2,99
	bord	0,64	0,56	0,76	0,89	0,98	1,05	1,11	1,16	1,20	1,24	1,27	1,40	1,49

# Tassement d'une semelle isolée

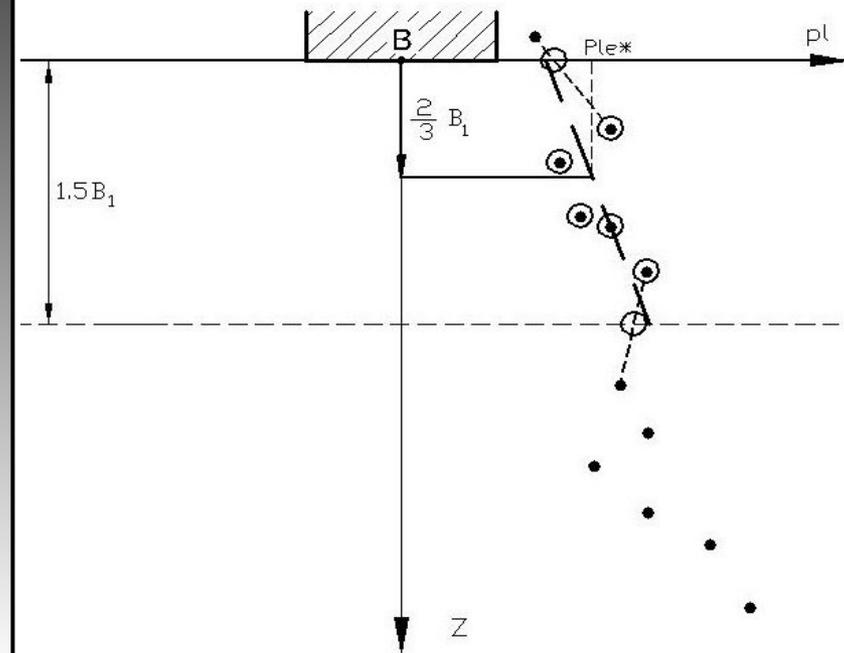
⇒ Solution analytique de Giroud (terrain homogène)

		<b>Rapport E / E<sub>M</sub></b>
Argiles	Normalement consolidées	4,5
	Surconsolidées	3
Limons	Normalement consolidées	4,5
	Surconsolidées	3
Sables	Lâches	4,5
	Denses	3
Graves	Lâches	6
	Serrés	4,5

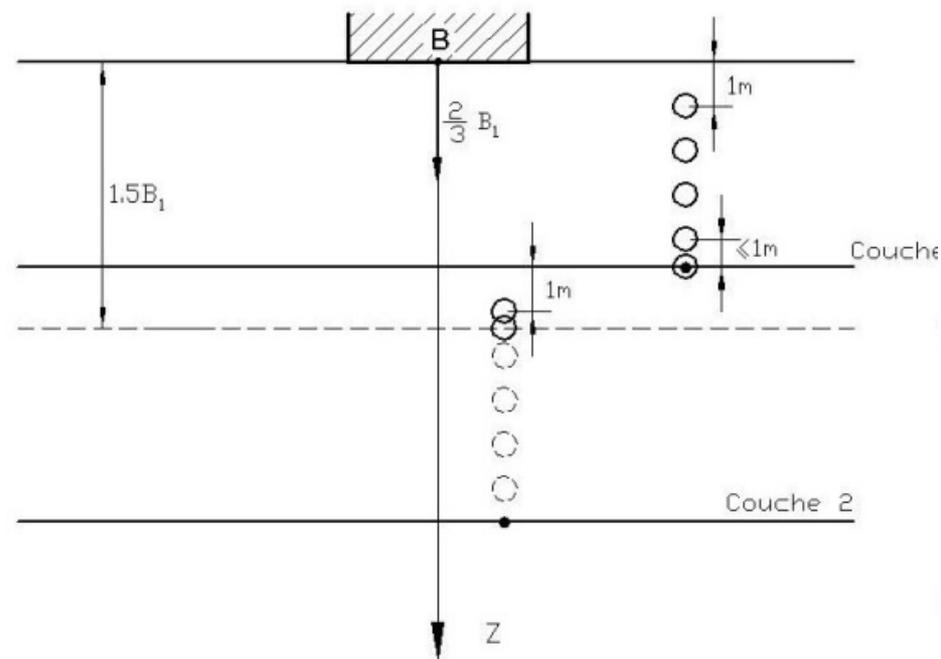
NF P 94 261 – Annexe J

# Mise en œuvre dans Foxta v4

⇒ Constitution du profil pressiométrique ( $E_M, P_I^*$ ) ou pénétrométrique ( $q_c$ )



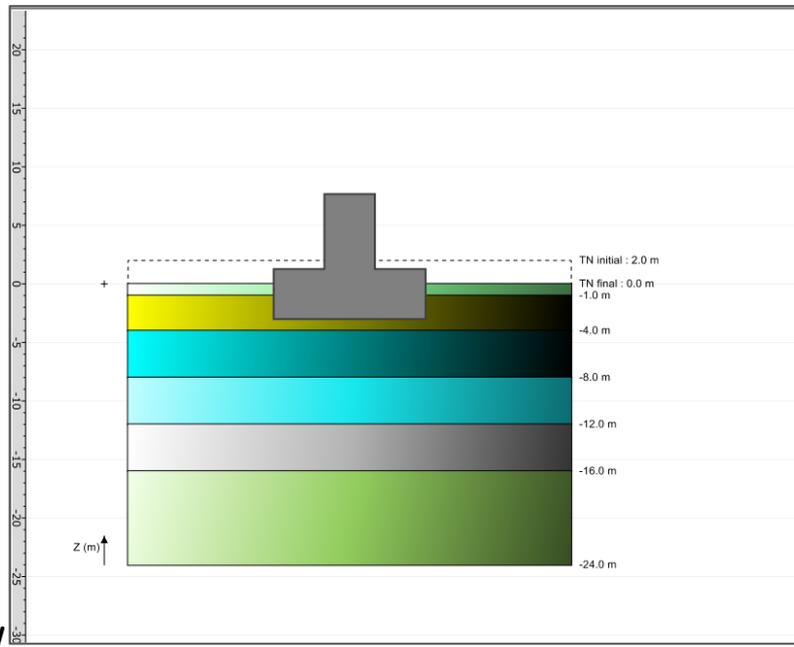
Traitement par mesures



Traitement par couches

# Mise en œuvre dans Foxta v4

- ⇒ Vérification de portance combinée, glissement, excentrement et tassement
- ⇒ Import et traitement d'un grand nombre cas de charge ( $V$ ,  $H_B$ ,  $H_L$ ,  $M_B$ ,  $M_L$ )
- ⇒ 5 combinaisons : ELS QP/CARA, ELU FOND/ACC, ELU SISM
- ⇒ DDC exprimée en une cote pré-définie  $Z_0$
- ⇒ Modèle PMT, CPT ou c- $\phi$



Fondation 1   Fondation 2   Fondation 3

Paramètres   Définition du sol   Chargement

### Chargement (valeurs de calcul)

Cas de charge (valeurs de calcul)

Poids propre de la semelle P0 (kN)\*    Cote d'application de la charge  $Z_0$  (m)

\*Effort additionnel aux valeurs de Vd

N°	$V_{d,d}$ [kN]	$H_{B,d}$ [kN]	$H_{L,d}$ [kN]	$M_{B,d}$ [kNm]	$M_{L,d}$ [kNm]	Pondération sur P0	Combinaison
1	2000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00 ELS-Quasi-permanentes
2	2000,0	50,0	40,0	200,0	160,0		1,00 ELS-Caractéristiques
3	2000,0	100,0	110,0	400,0	400,0		1,35 ELU-Fondamentales
4	2000,0	150,0	140,0	600,0	600,0		1,00 ELU-Accidentelles
5	1000,0	80,0	40,0	320,0	160,0		1,00 ELS-Quasi-permanentes
6	2000,0	-80,0	-40,0	-320,0	-160,0		1,00 ELU-Fondamentales
7	3500,0	100,0	90,0	200,0	180,0		1,00 ELS-Quasi-permanentes
8	2000,0	-50,0	-70,0	-200,0	-175,0		1,00 ELU-Sismiques
9	2000,0	70,0	60,0	280,0	240,0		1,00 ELU-Sismiques
10	2000,0	100,0	125,0	300,0	200,0		1,00 ELU-Sismiques

# Mise en œuvre dans Foxta v4

Synthèse des principaux résultats											
N° ca...	Combinaison	V <sub>d</sub> [kN]	H <sub>d</sub> [kN]	R <sub>0</sub> [kN]	S <sub>eff</sub> /S <sub>tot</sub>	R <sub>vd</sub> [kN]	R <sub>hd</sub> [kN]	Portance	Excentrement	Glissement	Tassement [cm]
1	ELS-Quasi-permanentes	2150,00	0,00	810,00	1,00	4005,90	-	Ok	Ok	-	0,44
2	ELS-Characteristiques	2150,00	64,03	810,00	0,78	2972,90	-	Ok	Ok	-	-
3	ELU-Fondamentales	2202,50	148,66	810,00	0,56	3285,10	848,80	Ok	Ok	Ok	-
4	ELU-Accidentelles	2150,00	205,18	810,00	0,39	2531,60	911,42	Ok	Ok	Ok	-
5	ELS-Quasi-permanentes	1150,00	89,44	810,00	0,46	1608,70	-	Ok	Non valide	-	0,00
6	ELU-Fondamentales	2150,00	-89,44	810,00	0,70	4255,40	828,56	Ok	Ok	Ok	-
7	ELS-Quasi-permanentes	3650,00	134,54	810,00	0,79	2952,20	-	Ok	Ok	-	1,25
8	ELU-Sismiques	2150,00	-86,02	810,00	0,75	4607,60	802,05	Ok	Ok	Ok	-
9	ELU-Sismiques	2150,00	92,19	810,00	0,70	4243,00	802,05	Ok	Ok	Ok	-
10	ELU-Sismiques	2150,00	160,08	810,00	0,59	3418,80	802,05	Ok	Ok	Ok	-

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance											
N° cas de charge	Combinaison	i <sub>bp</sub>	k <sub>p</sub>	p <sub>ie</sub> [kPa]	q <sub>net</sub> [kPa]	S <sub>eff</sub> [m²]	F <sub>global</sub>	R <sub>vd</sub> [kN]			
1	ELS-Quasi-permanentes	1,00	1,36	542,20	737,09	15,00	2,76	4005,90			
2	ELS-Characteristiques	0,95	1,36	542,20	699,43	11,73	2,76	2972,90			
3	ELU-Fondamentales	0,89	1,36	542,20	653,43	8,45	1,68	3285,10			
4	ELU-Accidentelles	0,84	1,36	542,20	620,64	5,87	1,44	2531,60			
5	ELS-Quasi-permanentes	0,87	1,36	542,20	641,23	6,92	2,76	1608,70			
6	ELU-Fondamentales	0,93	1,36	542,20	684,80	10,44	1,68	4255,40			
7	ELS-Quasi-permanentes	0,94	1,36	542,20	690,65	11,80	2,76	2952,20			
8	ELU-Sismiques	0,93	1,36	542,20	686,76	11,27	1,68	4607,60			
9	ELU-Sismiques	0,93	1,36	542,20	683,23	10,43	1,68	4243,00			
10	ELU-Sismiques	0,88	1,36	542,20	645,16	8,90	1,68	3418,80			

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement											
N° cas de charge	λ <sub>c</sub>	λ <sub>d</sub>	α	E <sub>c</sub> [kPa]	E <sub>d</sub> [kPa]	q <sub>0</sub> [kPa]	q <sub>ref</sub> [kPa]	s <sub>c</sub> [cm]	s <sub>d</sub> [cm]	s <sub>tot</sub> [cm]	
1	1,17	1,39	0,46	5625,00	6525,70	90,00	143,33	0,17	0,27	0,44	
5	1,17	1,39	0,46	5625,00	6525,70	90,00	76,67	0,00	0,00	0,00	
7	1,17	1,39	0,46	5625,00	6525,70	90,00	243,33	0,49	0,76	1,25	

Synthèse des vérifications

Paramètres intermédiaires

Paramètres intermédiaires

# Mise en œuvre dans Foxta v4

- Vérification complémentaire de portance sismique selon l'EC8 – Partie 5

$$\frac{(1 - e\bar{F})^{c_T} (\beta\bar{H})^{c_T}}{\bar{V}^a [(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{V}]^b} + \frac{(1 - f\bar{F})^{c'_M} (\gamma\bar{M})^{c_M}}{\bar{V}^c [(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{V}]^d} \leq 1$$

Critère de stabilité sismique

$$\bar{V} = \frac{V}{N_{\max}} \quad \bar{H} = \frac{H}{N_{\max}} \quad \bar{M} = \frac{M_B}{BN_{\max}} \quad \bar{F} = \frac{a_N}{a_{dsb}}$$

$$a_{dsb} = g \tan \varphi \text{ si sol frottant} \quad a_{dsb} = \frac{c}{\gamma B} \text{ si sol cohérent}$$

$$N_{\max} = R_{v,d} \text{ pour } H = 0 \text{ et } M = 0$$

# Mise en œuvre dans Foxta v4

- Vérification complémentaire de portance sismique selon l'EC8 – Partie 5

$$a_N = \underbrace{\gamma_1}_{\text{Classe ouvrage}} \times \underbrace{a_{gr}}_{\text{Zone sismique}} \times \underbrace{S}_{\text{Classe sol}}$$

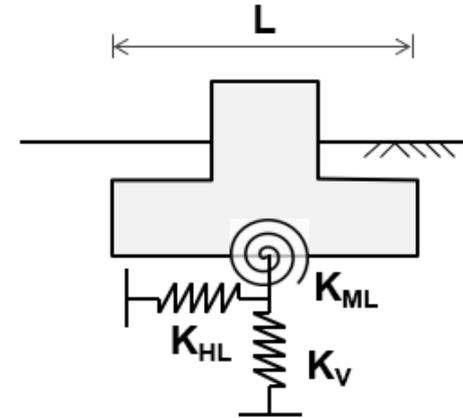
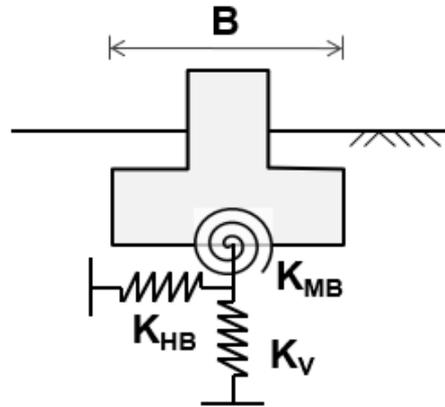
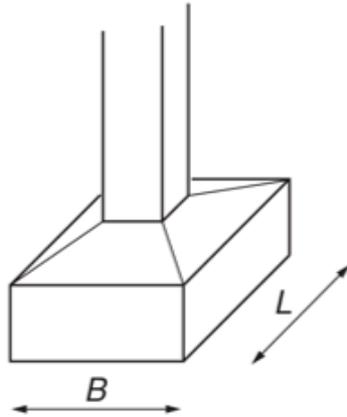
$\gamma_1$	Catégorie d'importance de l'ouvrage	I	II	III	IV
	Valeurs du coefficient d'importance $\gamma_1$	0,80	1,00	1,20	1,40

$a_{gr}$	Zone de sismicité	1	2	3	4	5
	Accélération de référence au Rocher (g)	0,04	0,07	0,11	0,16	0,3

$S$	Classe du sol sous l'ouvrage	A	B	C	D	E
	Valeur de S pour les zones sismiques 1 à 4	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80
	Valeur de S pour la zone sismique 5	1,00	1,20	1,15	1,35	1,40

# Mise en œuvre dans Foxta v4

- Raideurs équivalentes : paramètres d'entrée aux analyses d'ISS



$$K_V = \frac{V_{ELS}}{s}$$

$$\frac{K_{HB}}{K_V} = 0,4 \frac{2 + 2,5 \left(\frac{B}{L}\right)^{0,85}}{0,73 + 1,54 \left(\frac{B}{L}\right)^{0,75}}$$

$$\frac{K_{HL}}{K_V} = \frac{0,4B}{L} \frac{1,2 + 3,3 \left(\frac{L}{B}\right)^{0,65}}{0,73 + 1,54 \left(\frac{B}{L}\right)^{0,75}}$$

$$\frac{K_{MB}}{K_V} = \frac{B^3}{8L} \frac{0,4 + 3,2 \left(\frac{L}{B}\right)}{0,73 + 1,54 \left(\frac{B}{L}\right)^{0,75}}$$

$$\frac{K_{ML}}{K_V} = \frac{B^3}{8L} \frac{3,6 \left(\frac{L}{B}\right)^{2,4}}{0,73 + 1,54 \left(\frac{B}{L}\right)^{0,75}}$$

(Gazetas, 1991)

# Exercice 01

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode PMT

The screenshot displays the software interface for foundation design. On the left, a cross-section diagram shows a rectangular foundation on soil layers. The vertical axis is labeled 'Z (m)' and ranges from 0.0 m (TN final) to -30.0 m. The soil layers are color-coded: green (0.0 to -5.0 m), purple (-5.0 to -12.0 m), and yellow (-12.0 to -30.0 m). A grey foundation is shown on top of the soil. The right panel shows the 'Paramètres généraux' configuration window with the following settings:

Contexte de calcul	
Cadre réglementaire	EC 7 - Norme NF P94-261
Méthode de dimensionnement	A partir des résultats pressiométriques
Traitement des données	Traitement par couches
Pas de calcul (m)	0,20
Géométrie de la fondation	
Forme de la base	Fondation rectangulaire
Longueur L (m)	4,00
Largeur B (m)	3,00
Paramètres d'ancrage	
Cote du TN initial $Z_{ni}$ (m)	0,00
Cote du TN final $Z_{fin}$ (m)	0,00
Cote de base fondation $Z_q$ (m)	-2,00
Proximité d'un talus	
<input type="checkbox"/> Proximité d'un talus	

At the bottom of the configuration window, there are buttons for 'Configurer le D.I.', 'Lancer le calcul', and 'Voir les résultats'. The left panel also includes a legend for 'Éléments' (Sol and Fondation) and 'Options' (Vue en coupe).

# Exercice 01

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode PMT

The screenshot displays the 'Définition du sol' (Soil Definition) window in the Foxta v4 software. On the left, a vertical cross-section shows a foundation (grey T-shape) on a soil profile. The soil is divided into three layers: a top green layer (Remblais) from 0.0 m to -5.0 m, a middle purple layer (Sables) from -5.0 m to -12.0 m, and a bottom yellow layer (Marnes) from -12.0 m to -30.0 m. The final ground level (TN final) is at 0.0 m. The vertical axis is labeled 'Z (m)'. Below the profile are options for 'Désignation' (Sol) and 'Visible' (checked), along with a 'Vue en coupe' (Cross-section view) option.

The right panel shows the 'Définition du sol' settings:

- Mode de comportement du sol et de l'interface:
  - Catégorie de sol: Sables et graves
  - Type de comportement: Comportement frottant
  - Type d'interface: Interface frottante
  - Angle de contact à l'interface (°): 23,0
- Terrain et profil pressiométrique:
  - Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m<sup>3</sup>): 18,0

A table below the settings lists soil layers with their properties:

N°	Nom	Couleur	Z <sub>base</sub> [m]	P <sub>i</sub> * [kPa]	E <sub>M</sub> [kPa]	α
1	Remblais	Green	-5,00	600,00	5000,00	0,50
2	Sables	Purple	-12,00	1100,00	10000,00	0,33
3	Marnes	Yellow	-30,00	2500,00	20000,00	0,50



# Exercice 02

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode CPT

The screenshot displays the software interface for foundation design. On the left, a cross-section diagram shows a grey T-shaped foundation on a soil profile. The soil profile has three layers: a top green layer, a middle purple layer, and a bottom yellow layer. The ground level (TN final) is at 0.0 m. The bottom of the foundation is at -2.00 m. The soil layers extend to -5.0 m, -12.0 m, and -30.0 m respectively.

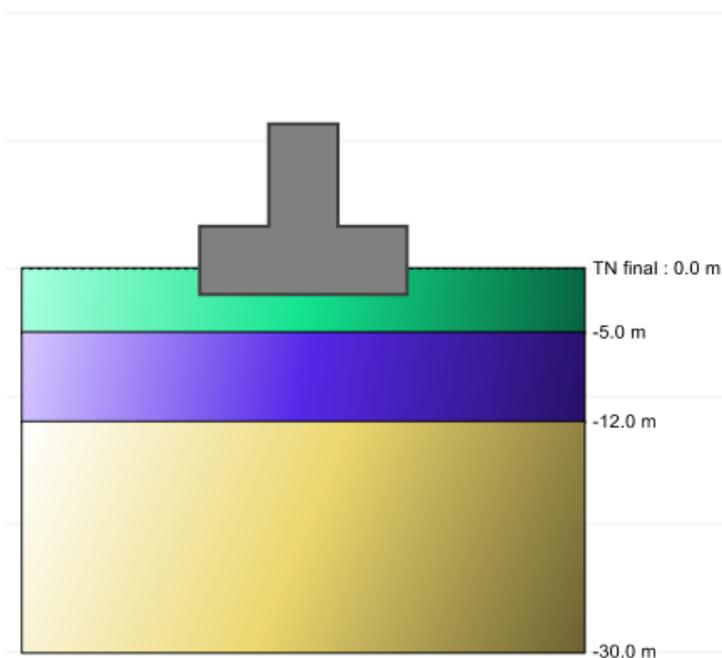
On the right, the 'Paramètres généraux' (General Parameters) panel is visible, with the following settings:

- Contexte de calcul**
  - Cadre réglementaire: EC 7 - Norme NF P94-261
  - Méthode de dimensionnement: A partir des résultats pénétrométriques
  - Traitement des données: Traitement par couches
  - Pas de calcul (m): 0,20
- Géométrie de la fondation**
  - Forme de la base: Fondation rectangulaire
  - Longueur L (m): 4,00
  - Largeur B (m): 3,00
- Paramètres d'ancrage**
  - Cote du TN initial  $Z_{ini}$  (m): 0,00
  - Cote du TN final  $Z_{fin}$  (m): 0,00
  - Cote de base fondation  $Z_d$  (m): -2,00
- Proximité d'un talus**
  - Proximité d'un talus:  (with a question mark icon)

At the bottom left, there are controls for 'Visible' (checked) and 'Options' (including 'Vue en coupe').

# Exercice 02

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode CPT



Paramètres   
  Définition du sol   
  Chargement

### Définition du sol

Mode de comportement du sol et de l'interface

Catégorie de sol: Sables et graves

Type de comportement: Comportement frottant

Type d'interface: Interface frottante

Angle de contact à l'interface (°): 23,0

Terrain et profil pénétrométrique

N°	Nom	Couleur	Z <sub>base</sub> [m]	q <sub>c</sub> [kPa]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]
1	Remblais		-5,00	6000,00	18,00
2	Sables		-12,00	12000,00	10,00
3	Marnes		-30,00	30000,00	10,00

Options

Visible

Vue en coupe



# Exercice 03

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode  $c-\phi$

The screenshot displays the 'Paramètres généraux' (General Parameters) configuration window in the Foxta v4 software. The interface is divided into two main sections: a graphical view on the left and a configuration panel on the right.

**Graphical View (Left Panel):**

- Shows a 2D cross-section of a rectangular foundation on soil.
- The soil level is labeled 'TN final : 0.0 m'.
- The foundation base is at a depth of '-10.0 m'.
- Below the graphical view, there are 'Options' including 'Visible' (checked) and 'Vue en coupe' (selected).

**Configuration Panel (Right Panel):**

The configuration panel is titled 'Paramètres généraux' and includes the following sections:

- Contexte de calcul (Calculation Context):**
  - Cadre réglementaire: EC 7 - Norme NF P94-261
  - Méthode de dimensionnement: A partir des propriétés de cisaillement
  - Traitement des données: Traitement par couches
- Géométrie de la fondation (Foundation Geometry):**
  - Forme de la base: Fondation rectangulaire
  - Longueur L (m): 4,00
  - Largeur B (m): 3,00
- Paramètres d'ancrage (Anchoring Parameters):**
  - Cote du TN initial  $Z_{ini}$  (m): 0,00
  - Cote du TN final  $Z_{fin}$  (m): 0,00
  - Cote de base fondation  $Z_d$  (m): -2,00
- Proximité d'un talus (Proximity to a slope):**
  - Proximité d'un talus:  (unchecked)

# Exercice 03

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode  $c-\phi$

The screenshot displays the 'Définition du sol' (Soil Definition) window in the Foxta v4 software. On the left, a 2D cross-section shows a grey T-shaped foundation on a green soil layer. The soil surface is at 'TN final : 0.0 m' and the bottom boundary is at '-10.0 m'. The right panel is titled 'Définition du sol' and contains the following settings:

- Mode de comportement du sol et de l'interface:**
  - Type de comportement: Comportement drainé
  - Type d'interface: Interface frottante
  - Angle de contact à l'interface (°): 23,0
- Propriétés de cisaillement du terrain:**
  - Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m<sup>3</sup>): 18,0

Below these settings is a table of soil layers:

N°	Nom	Couleur	Z <sub>base</sub> [m]	φ [°]	c [kPa]	γ' [kN/m <sup>3</sup> ]	E [kPa]	ν
1	Remblais		-10,00	33,00	0,00	18,00	35000,00	0,33

At the bottom of the interface, there are icons for 'Visible' (checked), 'Options', 'Vue en coupe', and a 'Base de données' button.

# Exercice 03

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode c-φ

The screenshot displays the software interface for foundation analysis. On the left, a cross-section of a rectangular foundation is shown on a soil surface. The top of the soil is at 0.0 m (TN final), and the bottom of the soil is at -10.0 m. The foundation is a grey T-shaped structure. On the right, the 'Chargement (valeurs de calcul)' window is open, showing various parameters and a table of load cases.

**Chargement (valeurs de calcul)**

Poids propre de la semelle P<sub>0</sub> (kN)\*: 300,00      Cote d'application de la charge Z<sub>0</sub> (m): 0,50

\*Effort additionnel aux valeurs de V<sub>d</sub>

N°	V <sub>d</sub> [kN]	H <sub>B,d</sub> [kN]	H <sub>L,d</sub> [kN]	M <sub>B,d</sub> [kNm]	M <sub>L,d</sub> [kNm]	Pondération sur P <sub>0</sub>	Combinaison
1	3000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Quasi-permanentes
2	3000,0	200,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Caractéristiques
3	4000,0	300,0	200,0	400,0	200,0	1,35	ELU-Fondamentales
4	4700,0	400,0	200,0	600,0	400,0	1,00	ELU-Accidentelles
5	3500,0	400,0	100,0	400,0	250,0	1,00	ELU-Sismiques

Traitement des aspects sismiques

Vérification additionnelle selon l'annexe F de l'EC8-5 pour les ELU-Sismiques

Accélération sismique en surface a<sub>N</sub> (g): 0,25

Comportement sous séisme: Comportement cohérent

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa): 50,00

Poids volumique total (kN/m<sup>3</sup>): 20,00

# Exercice 04

- Etude paramétrique sur semelle filante : influence de l'inclinaison

The screenshot displays the software interface for foundation design. On the left, a cross-section diagram shows a foundation with a top width of 3.00 m and a depth of 30.0 m. The final ground level (TN final) is at 0.0 m. The foundation is labeled as 'Fondation filante' (strip foundation).

The right panel, titled 'Paramètres généraux', contains the following configuration options:

- Contexte de calcul**
  - Cadre réglementaire: EC 7 - Norme NF P94-261
  - Méthode de dimensionnement: A partir des résultats pressiométriques
  - Traitement des données: Traitement par couches
  - Pas de calcul (m): 0,20
- Géométrie de la fondation**
  - Forme de la base: Fondation filante
  - Largeur B (m): 3,00
- Paramètres d'ancrage**
  - Cote du TN initial  $Z_{ini}$  (m): 0,00
  - Cote du TN final  $Z_{fin}$  (m): 0,00
  - Cote de base fondation  $Z_d$  (m): 0,00
- Proximité d'un talus**
  - Proximité d'un talus:

At the bottom left, there are controls for 'Visible' (checked) and 'Options' (including 'Vue en coupe').

# Exercice 04

- Etude paramétrique sur semelle filante : influence de l'inclinaison

The screenshot displays the 'Définition du sol' (Soil Definition) window in the Foxta v4 software. On the left, a 2D cross-section shows a grey foundation on a purple soil layer. The soil layer extends to a depth of -30.0 m, and the final ground level (TN final) is at 0.0 m. The right panel contains the following settings:

- Mode de comportement du sol et de l'interface:**
  - Catégorie de sol: Sables et graves
  - Type de comportement: Comportement frottant
  - Type d'interface: Interface frottante
  - Angle de contact à l'interface (\*): 23,0
- Terrain et profil pressiométrique:**
  - Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m<sup>3</sup>): 18,0

A table below the soil parameters lists the soil layers:

N°	Nom	Couleur	Z <sub>base</sub> [m]	P <sub>i</sub> * [kPa]	E <sub>M</sub> [kPa]	α
1	Couche 1	[Purple]	-30,00	1000,00	10000,00	0,33

At the bottom of the interface, there are options for 'Visible' (checked) and 'Vue en coupe' (checked), along with a 'Base de données' button and various utility icons.

# Exercice 04

- Etude paramétrique sur semelle filante : influence de l'inclinaison

TN final : 0.0 m

-30.0 m

Options

Visible

Vue en coupe

Paramètres Définition du sol **Chargement**

### Chargement (valeurs de calcul)

Cas de charge (valeurs de calcul)

Poids propre de la semelle P0 (kN/m)<sup>\*</sup>  Cote d'application de la charge Z<sub>0</sub> (m)

\*Effort additionnel aux valeurs de Vd

N°	V <sub>d</sub> [kN/m]	H <sub>B,d</sub> [kN/m]	M <sub>B,d</sub> [kNm/m]	Pondération sur P0	Combinaison
1	1000,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
2	1000,0	100,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
3	1000,0	200,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
4	1000,0	300,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
5	1000,0	400,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales

Traitement des aspects sismiques

Vérification additionnelle selon l'annexe F de l'EC8-5 pour les ELU-Sismiques

Accélération sismique en surface a<sub>N</sub> (g)  ?

Comportement sous séisme

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa)