

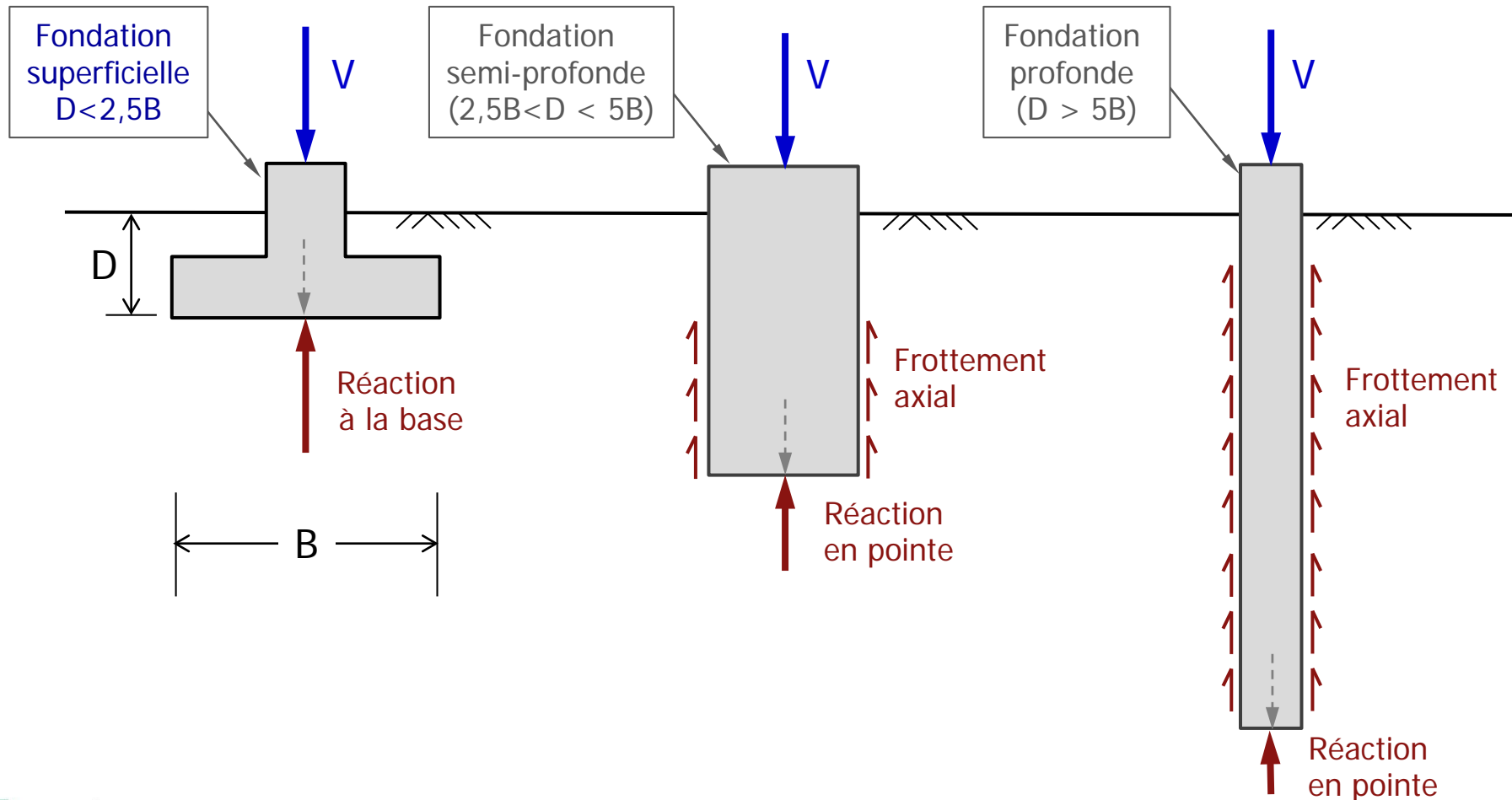
FONDSUP : Justification d'une fondation superficielle rigide selon la NF P 94 261

Sommaire

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

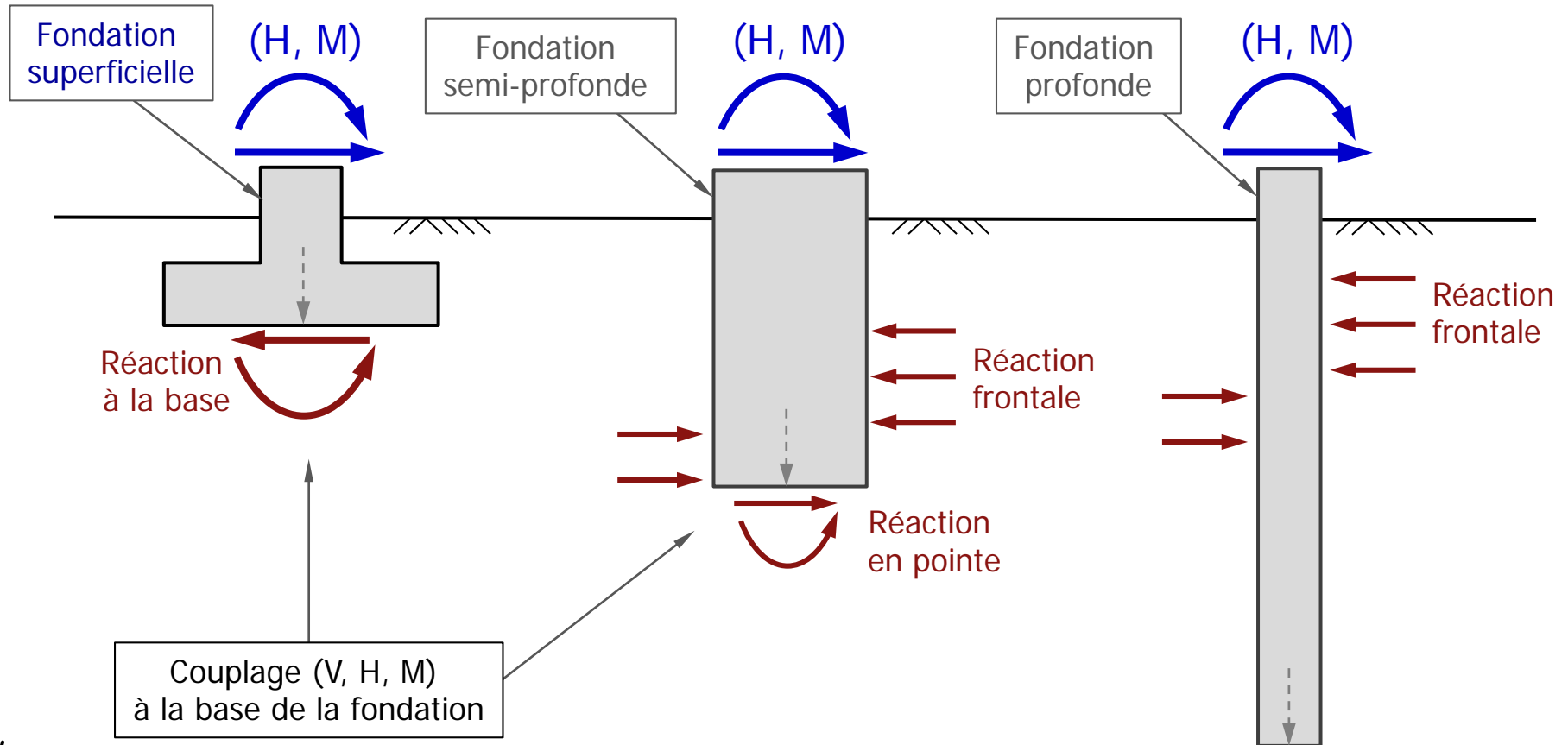
Domaine d'application

⇒ Concept de fondation superficielle



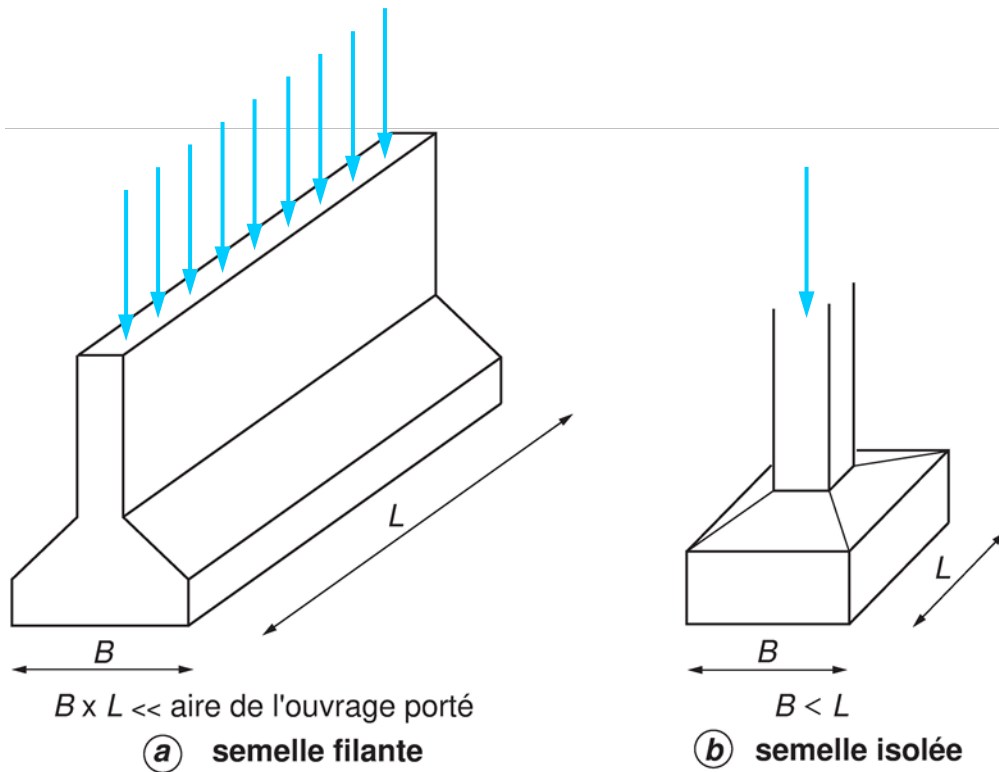
Domaine d'application

⇒ Concept de fondation superficielle

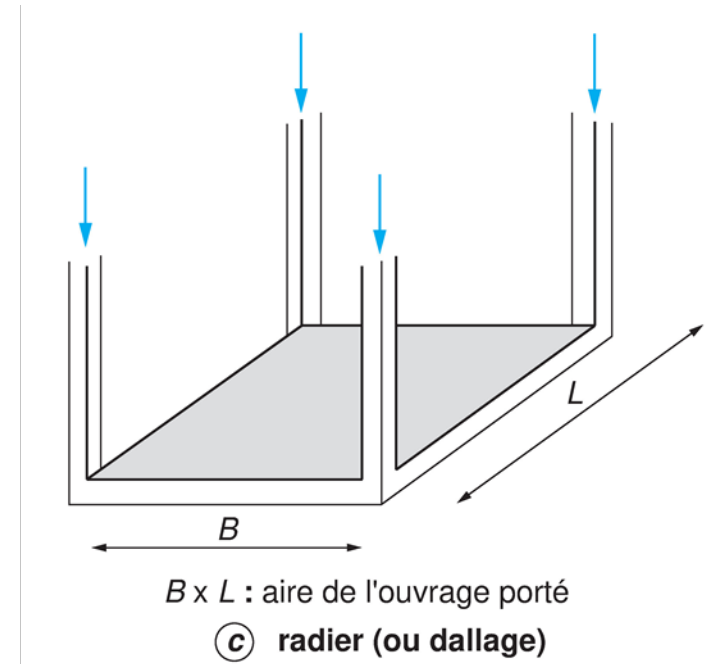


Domaine d'application

⇒ 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)

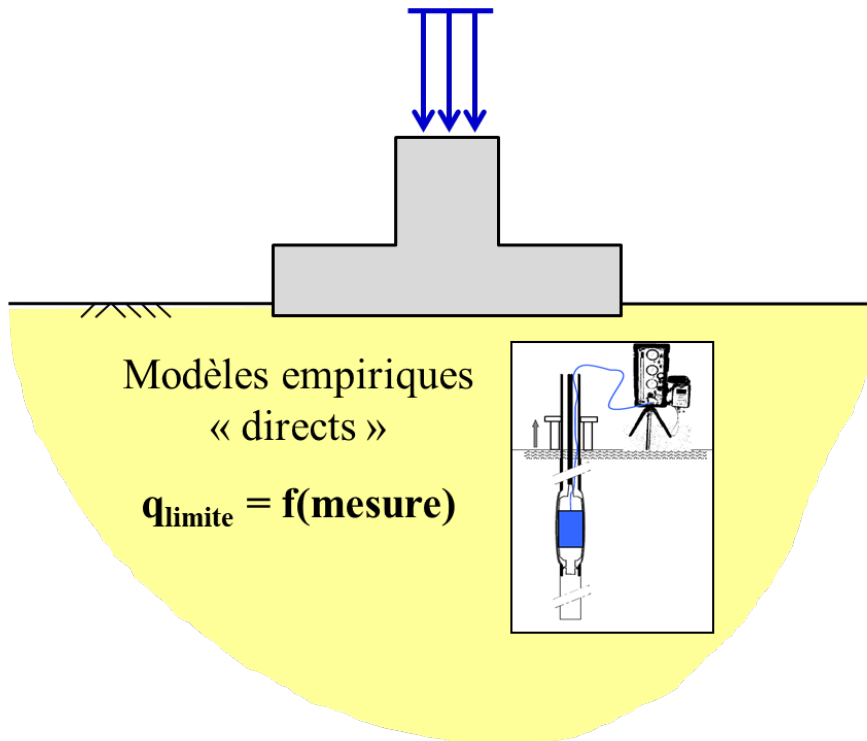
- Portance combinée
- Limitation de l'excentrement
- Glissement

Etats limites de service (ELS)

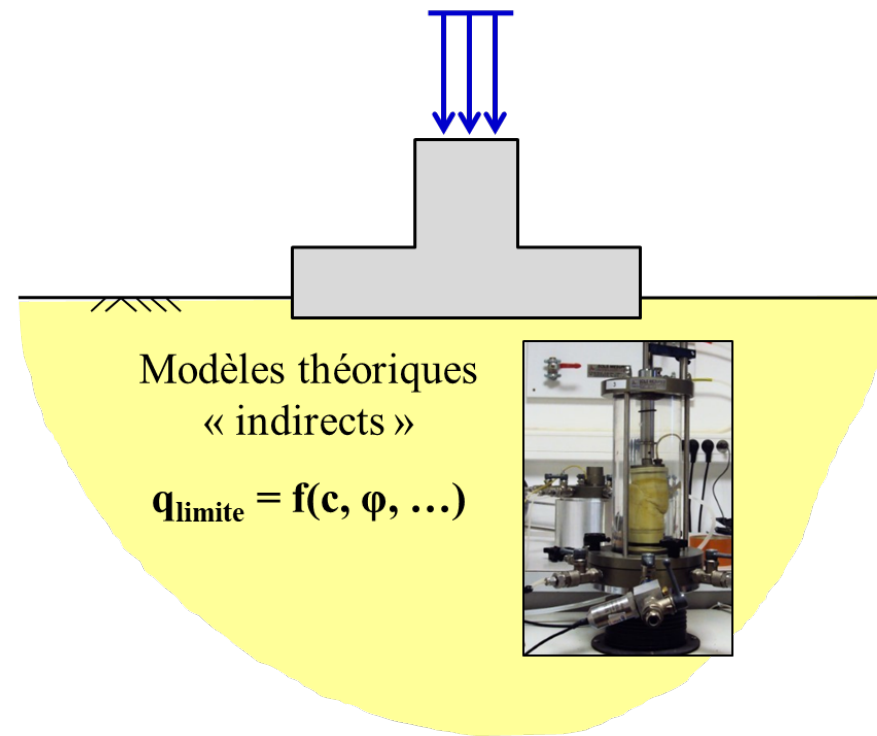
- Portance combinée
- Limitation de l'excentrement
- Tassements

Norme NF P 94-261

⇒ Modèles de calcul



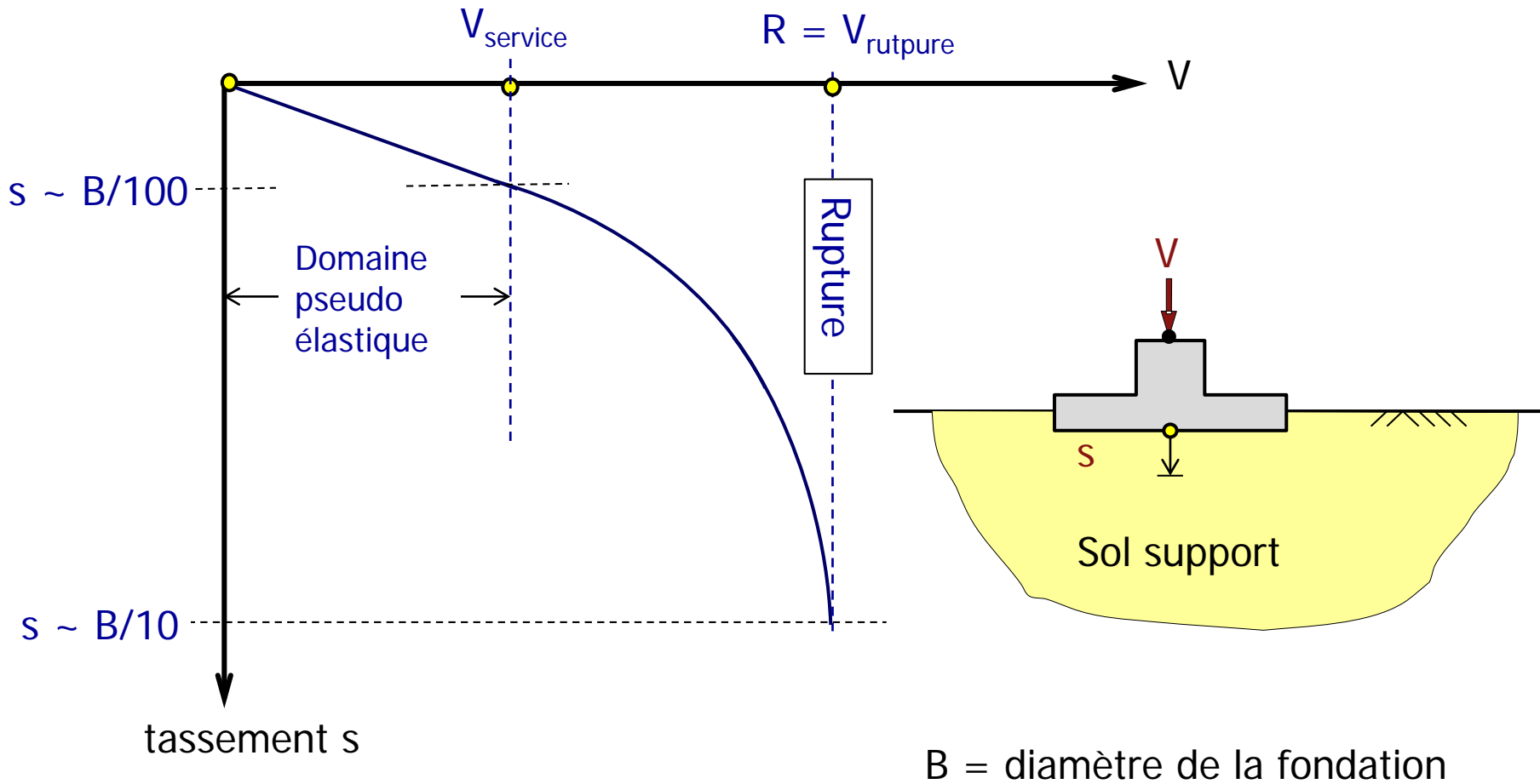
Approche basée sur l'exploitation de mesures en vraie grandeur d'ouvrages réels en ciblant un mécanisme bien précis : tassement, portance...



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

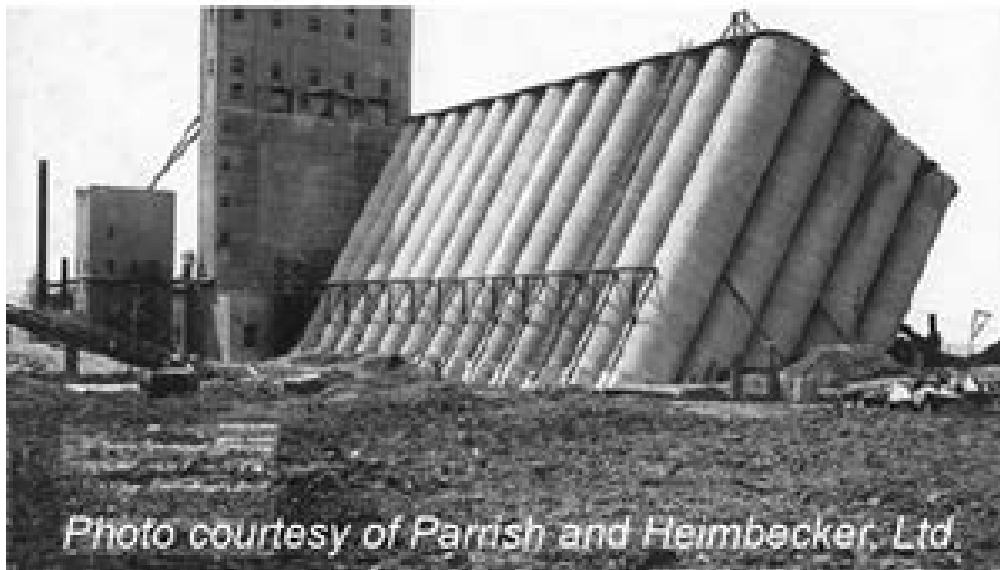
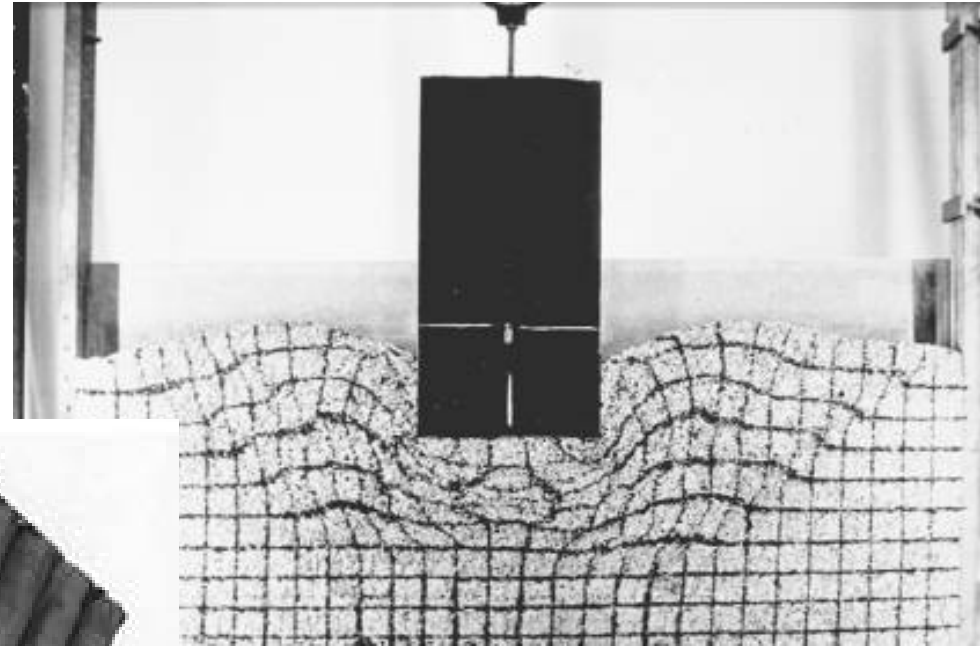
Capacité portante

- 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) ← V_d

R_0 ↓ Poids des terres après travaux (résultante)

$R_{v,d}$ → Résistance nette pondérée (résultante)

Le tout est exprimé en valeurs de calcul !

Capacité portante

- Formalisme de justification

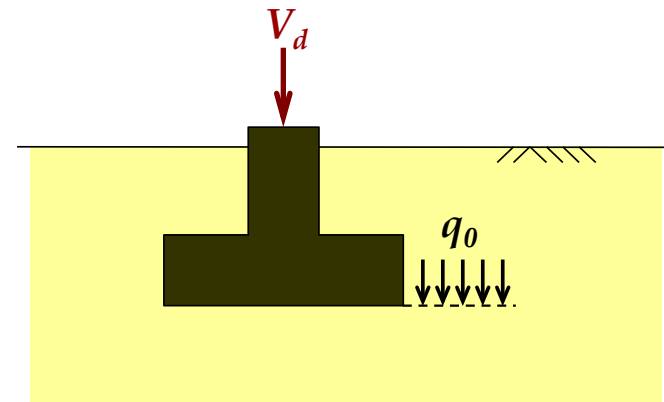
$$V_d - R_0 \leq R_{v,d}$$

Effort vertical appliqué (pondéré) ← V_d

$R_0 = Aq_0$

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

- 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 ϕ')

- $F_s = 4,60$ 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_δ coefficient réducteur lié à l'inclinaison des charges

i_β 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_δ coefficient réducteur lié à l'inclinaison des charges

i_β coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus

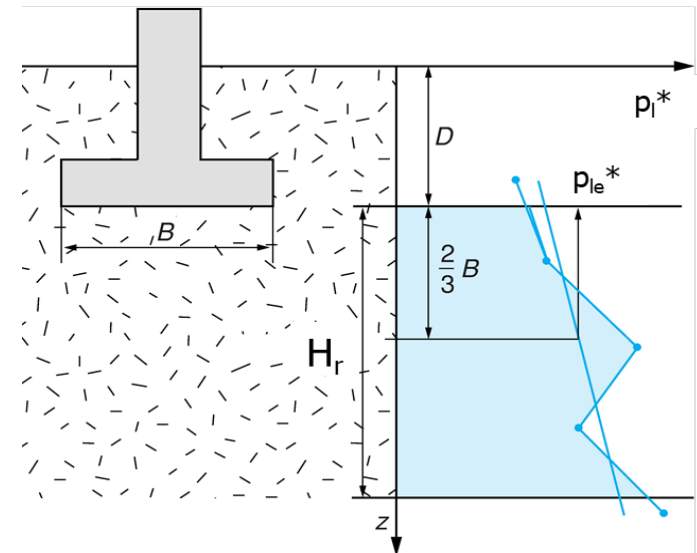
NF P 94 261 – Annexes D et E

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)



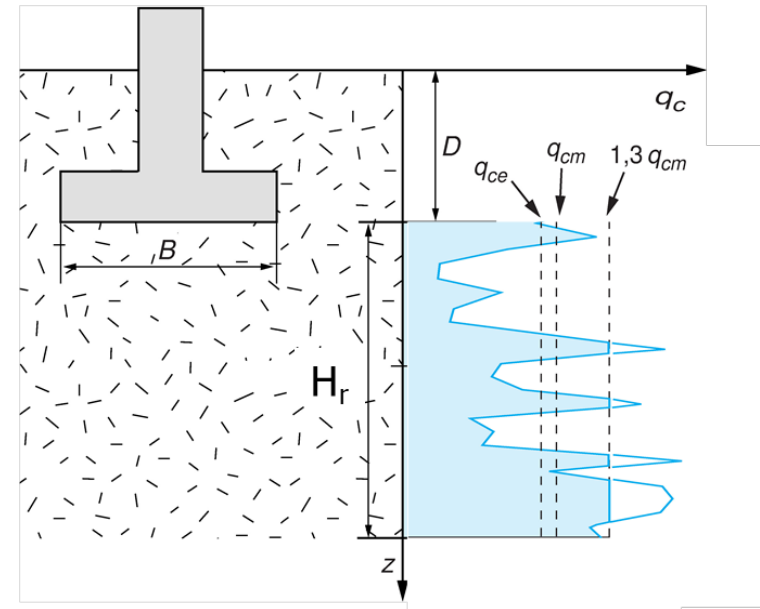
Capacité portante (PMT, CPT)

- 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

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

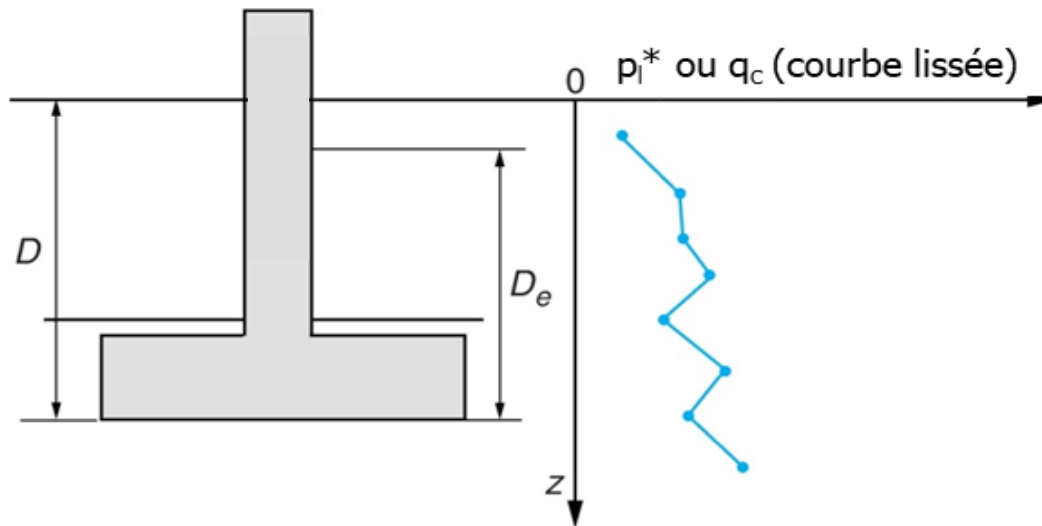
		a	b	c	k_{c0}
Argiles et limons	Semelle filante	0,07	0,007	1,3	0,27
	Semelle carrée	0,10	0,007	1,5	0,27
Sables et graves	Semelle filante	0,04	0,006	2,0	0,09
	Semelle carrée	0,03	0,020	5,0	0,09
Craies	Semelle filante	0,04	0,030	3,0	0,11
	Semelle carrée	0,05	0,040	3,0	0,11
Marnes et marno-calcaires	Semelle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

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

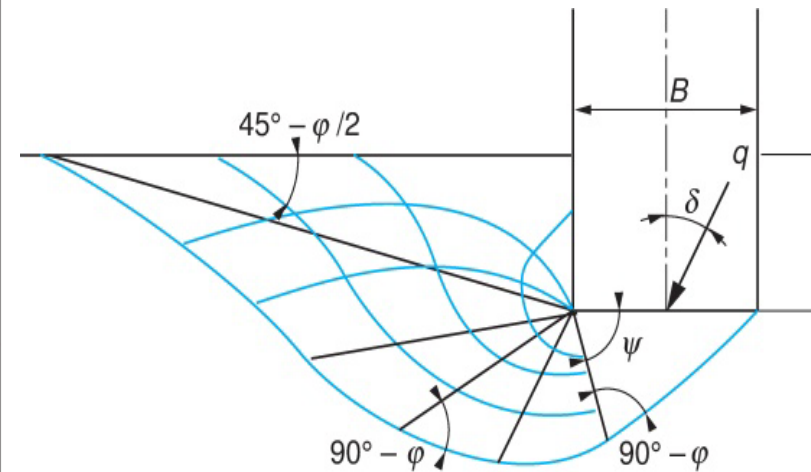
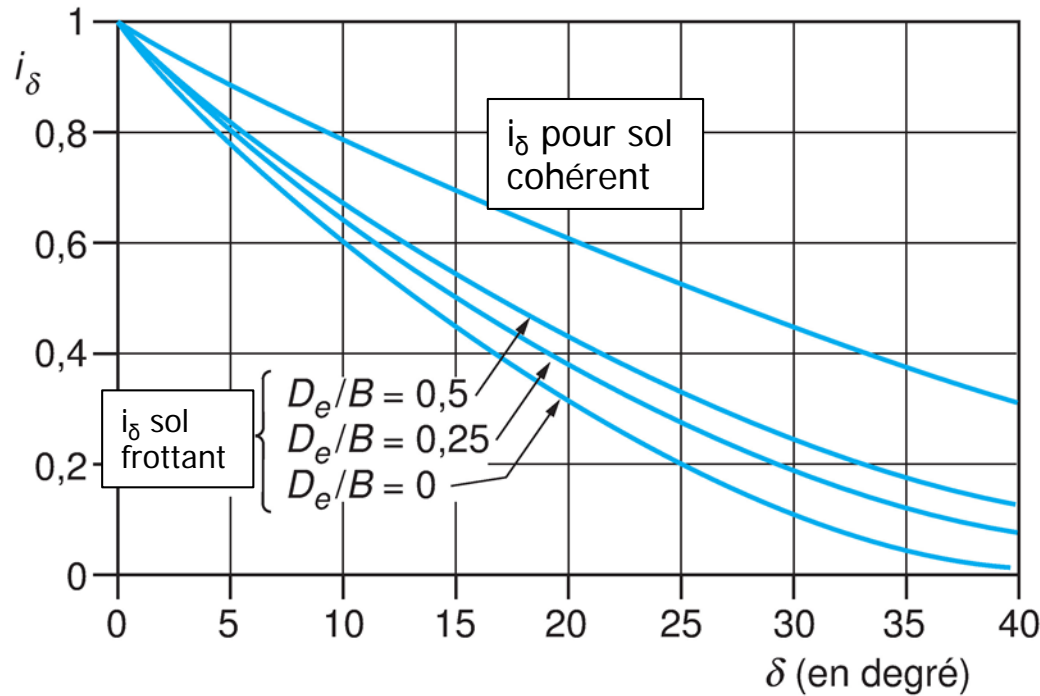
$$D_e = \frac{1}{q_{ce}} \int_0^D q_{cc}(z) dz$$



NF P 94 261 – Annexe C

Capacité portante (PMT, CPT)

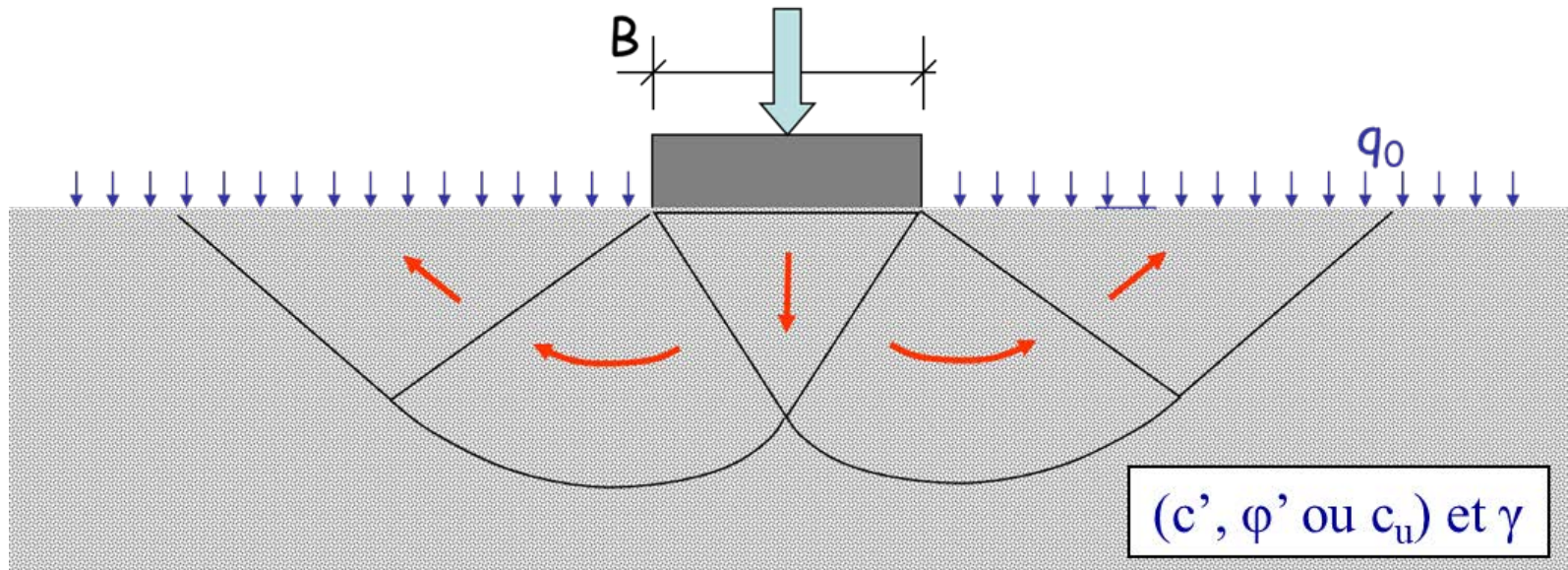
- Coefficient réducteur lié à l'inclinaison du chargement i_δ



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

Capacité portante (c, φ)

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



NF P 94 261 – Annexe F

Capacité portante (c , ϕ)

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

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

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

c_u = cohésion non drainée (valeur moyenne caractéristique)

Capacité portante (c, φ)

- Contrainte de rupture du terrain q_{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, ϕ)

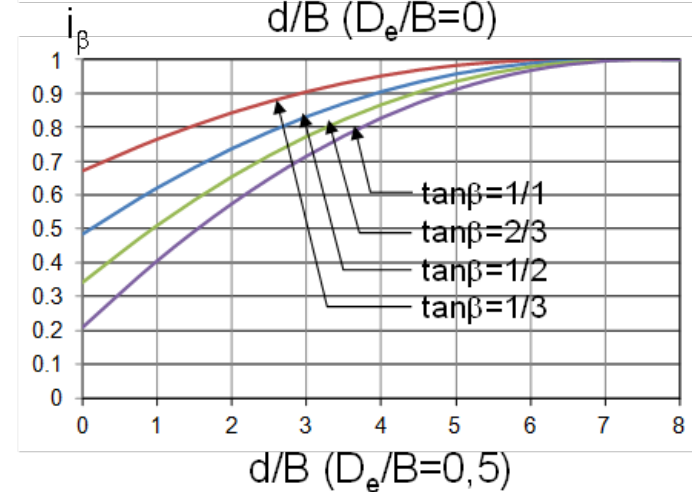
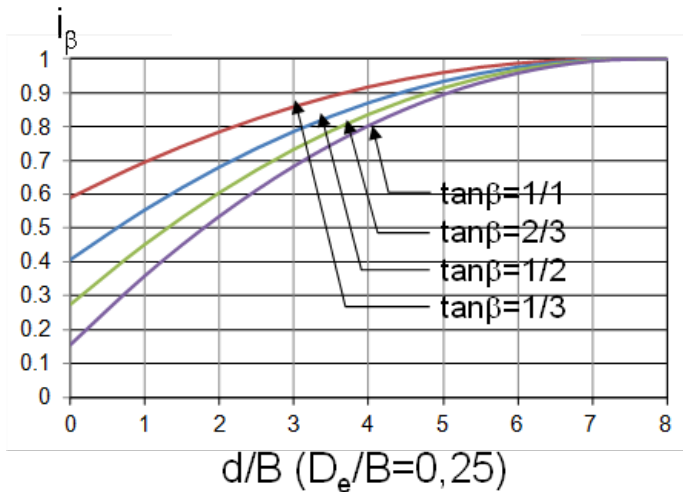
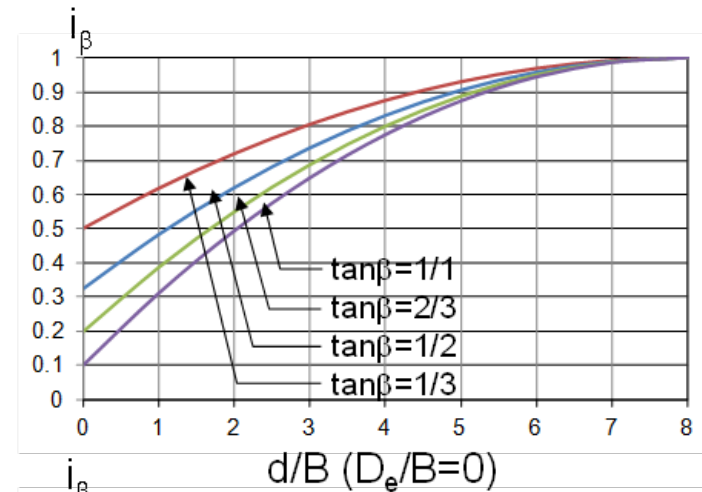
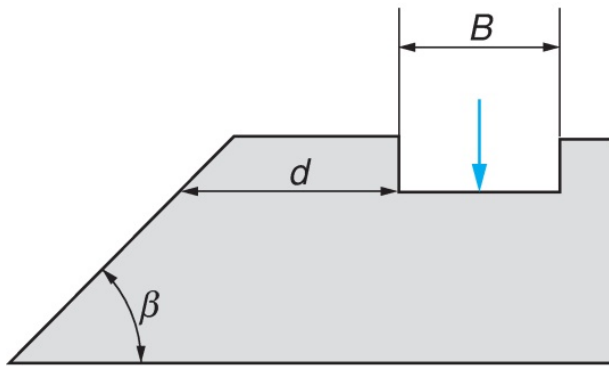
- Contrainte de rupture du terrain q_{net} : en conditions drainées

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

ϕ' (°)	N_{γ}	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

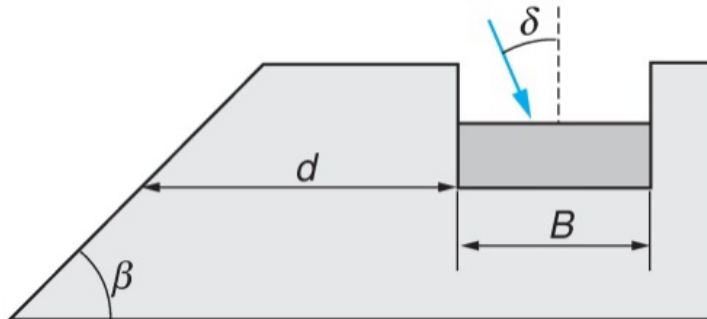
Capacité portante (tous modèles)

- Coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus i_β

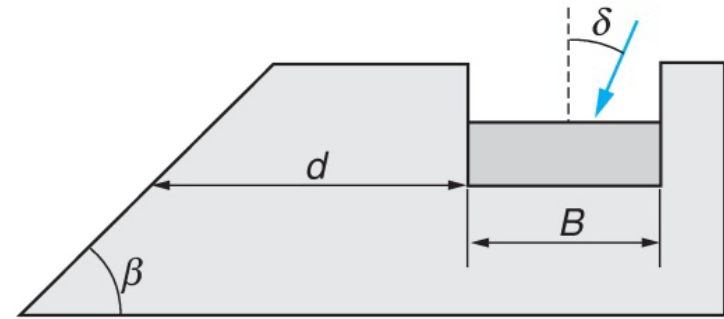


Capacité portante (tous modèles)

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



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

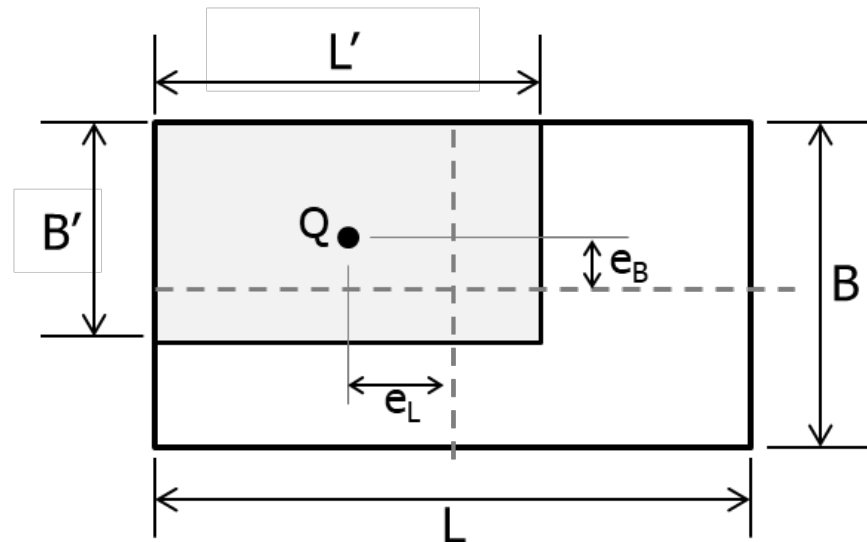
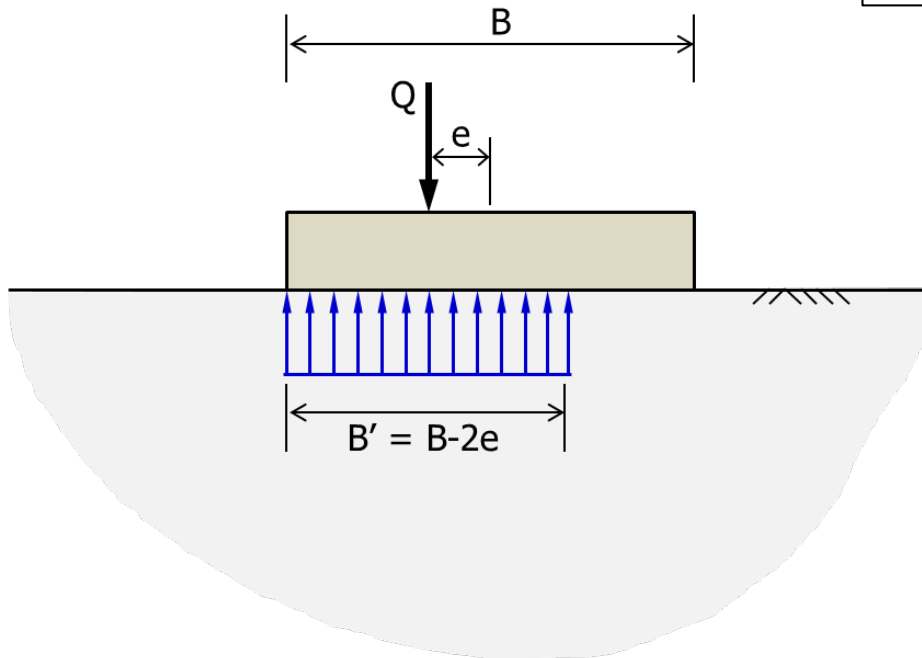


$$i_{\delta\beta} = i_{\delta}i_{\beta}$$

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

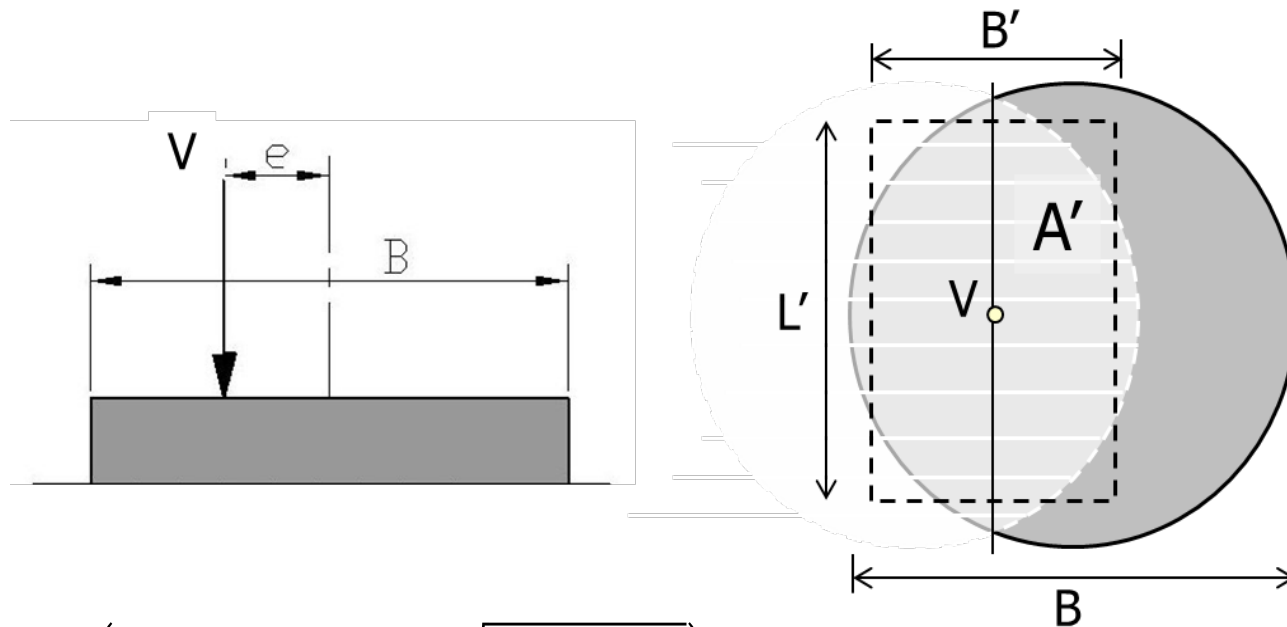


$$A' = (B - 2e_B)(L - 2e_L)$$

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

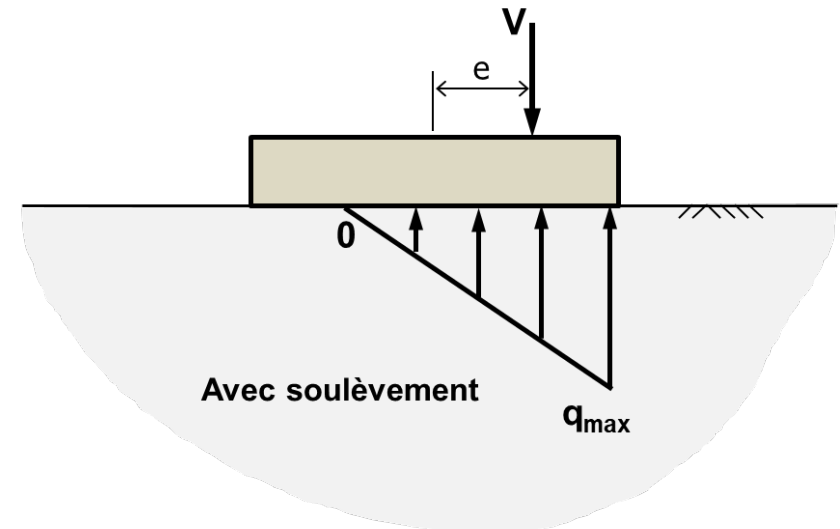
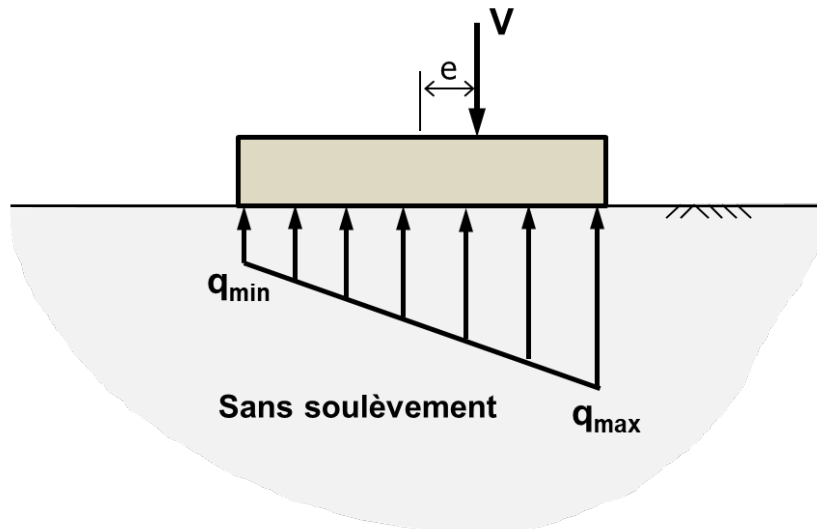
Limitation de l'excentrement

- Contrôle du taux de décompression du terrain sous la fondation



Limitation de l'excentrement

- Contrôle du taux de décompression du terrain sous la fondation

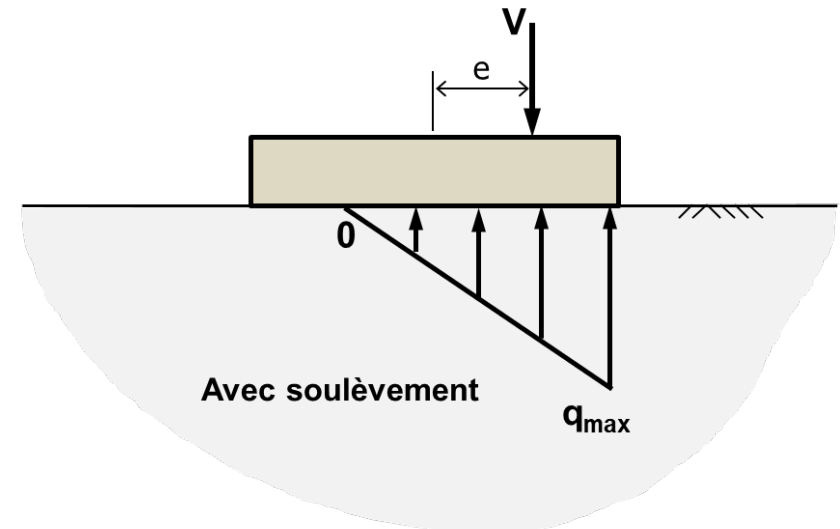
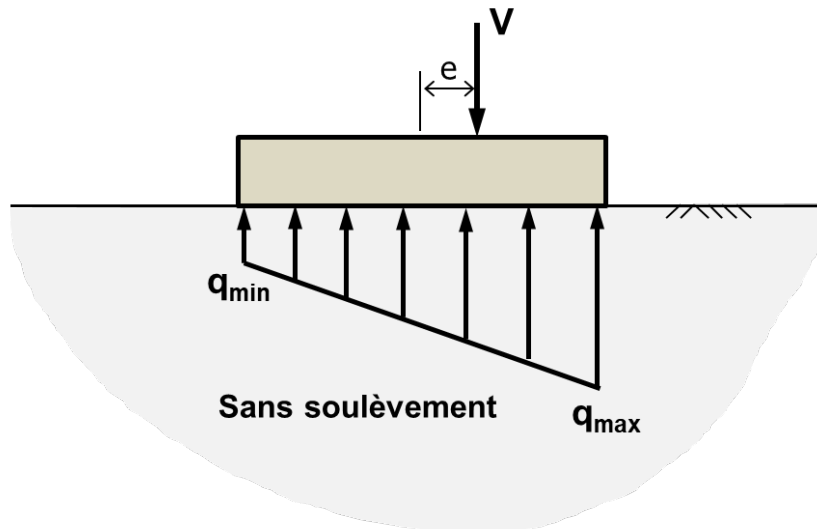


- | | | | |
|------------|------------------------------|---|----------------|
| ⇒ ELS QP | surface comprimée = 100% | ↔ | $e \leq B/6$ |
| ⇒ ELS CARA | surface comprimée \geq 75% | ↔ | $e \leq B/4$ |
| ⇒ ELU | surface comprimée \geq 10% | ↔ | $e \leq 7B/15$ |

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
- q₀ : contrainte verticale totale avant travaux à la base de la fondation
- E_M : module pressiométrique
- B₀ : dimension de référence = 0,6 m
- α : coefficient rhéologique
- λ_c et λ_d : coefficients de forme

NF P 94 261 – Annexe H

Tassement d'une semelle isolée

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

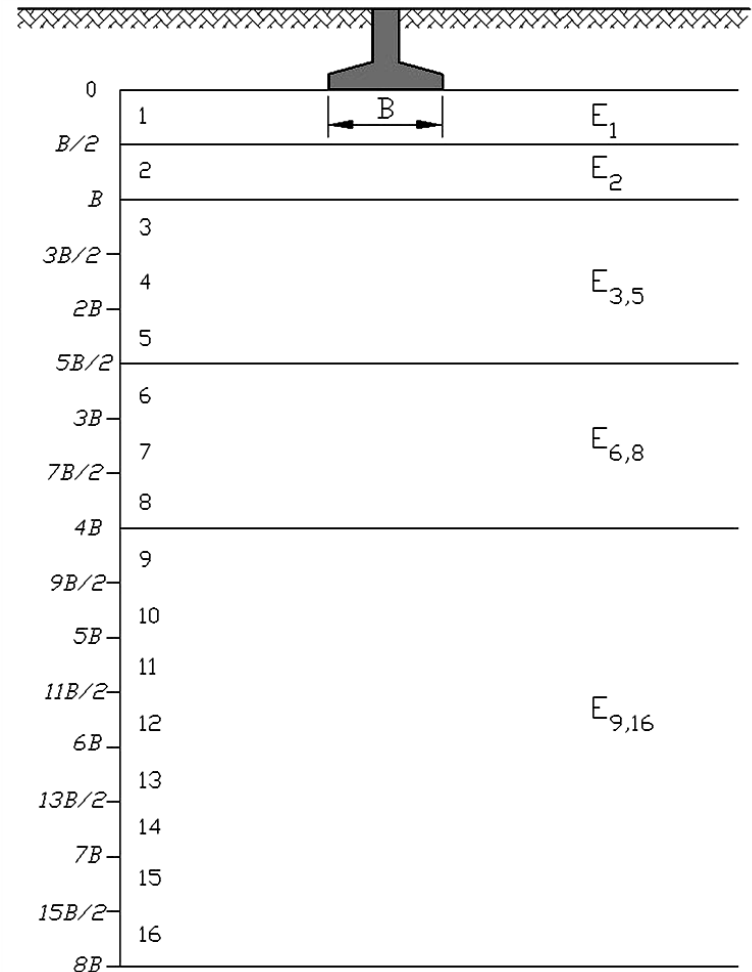
$$s = \frac{q - q_0}{9} \left(\frac{\lambda_c B \alpha}{E_c} + 2 \frac{B_0}{E_d} \left(\frac{\lambda_d B}{B_0} \right)^\alpha \right)$$

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

$$E_c = E_1$$

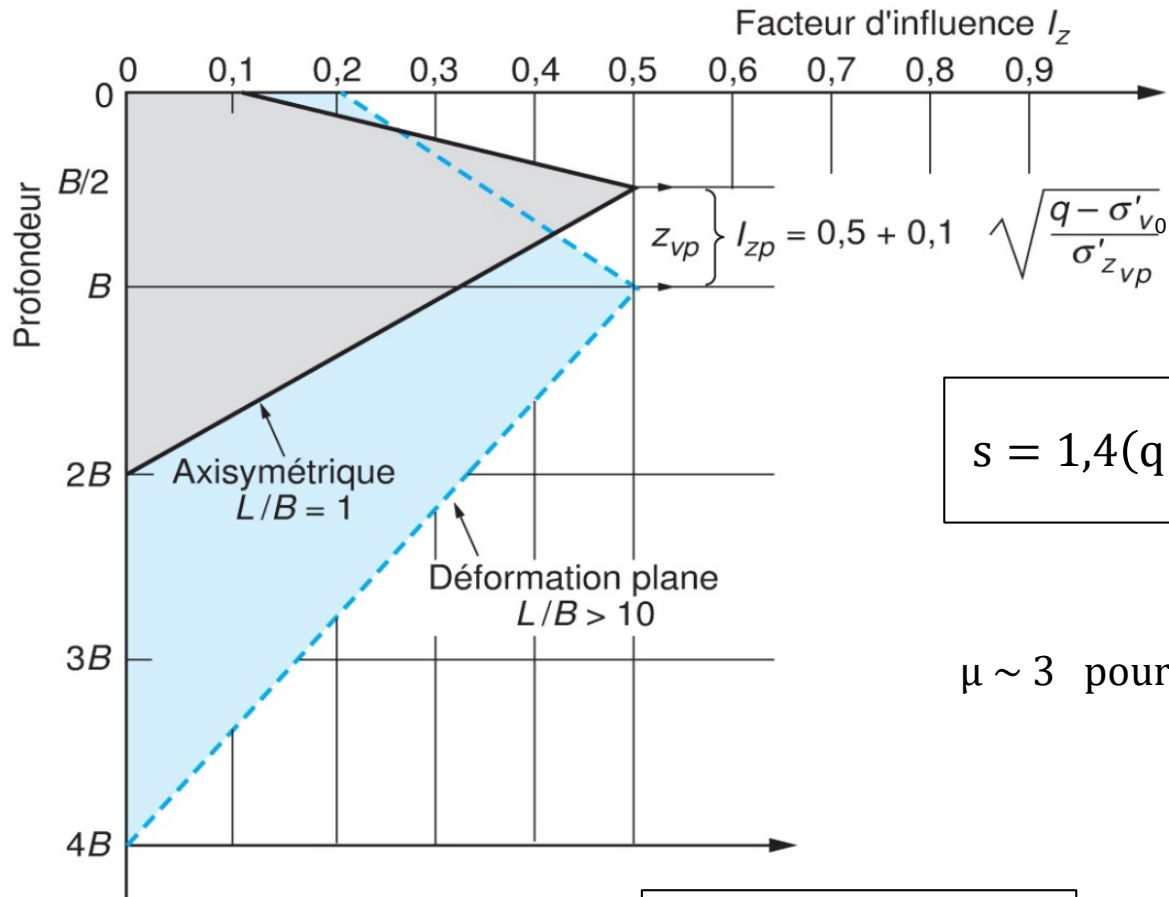
E_i module pressiométrique de la tranche située entre $z = (i-1)B/2$ et $iB/2$

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



Tassement d'une semelle isolée

⇒ Modèle empirique de Schmertmann (CPT)



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

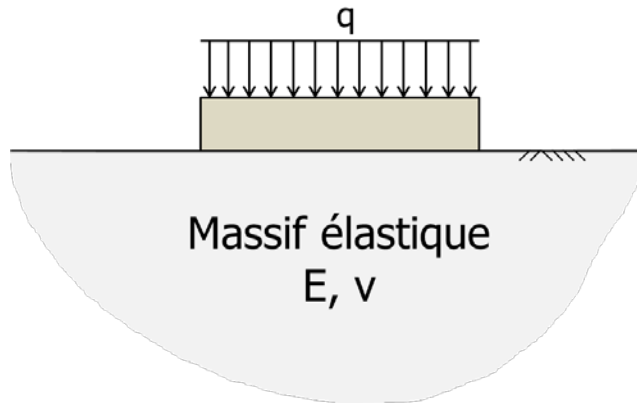
$$\mu \sim 3 \text{ pour } \frac{L}{B} = 1 \quad \mu \sim 6 \text{ pour } \frac{L}{B} = 10$$

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

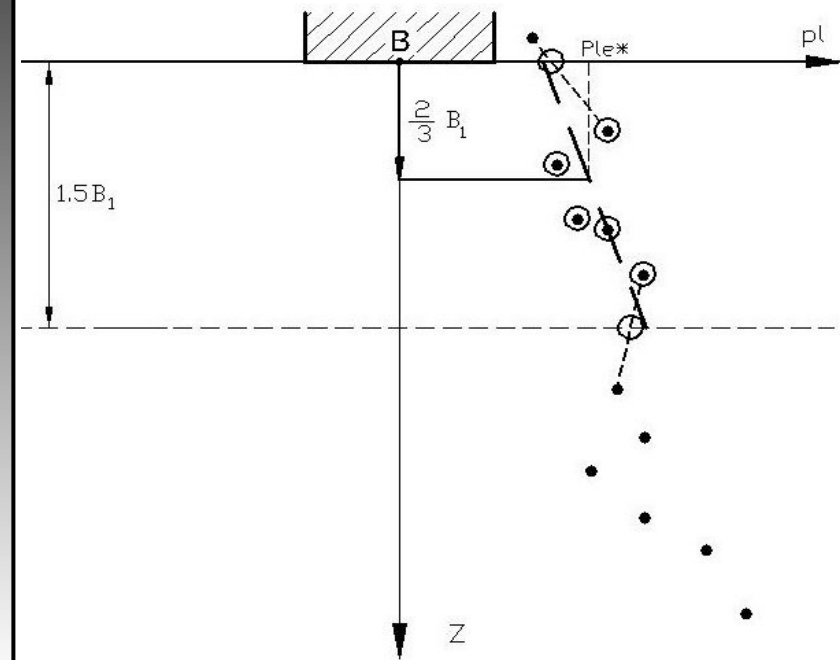
⇒ Solution analytique de Giroud (terrain homogène)

		Rapport E / E_M
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

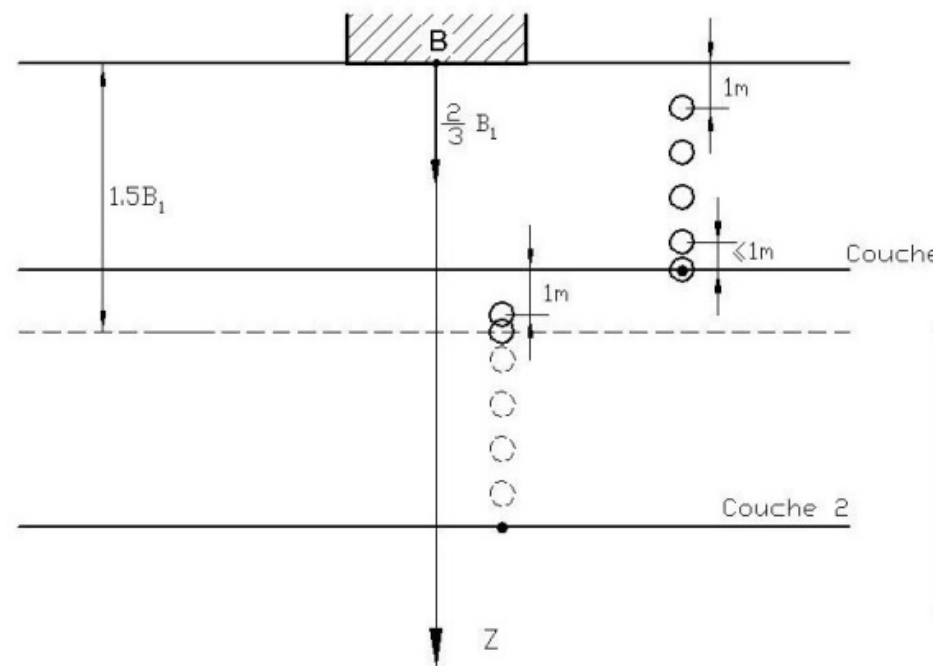
NF P 94 261 – Annexe J

Mise en œuvre dans Foxta v4

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



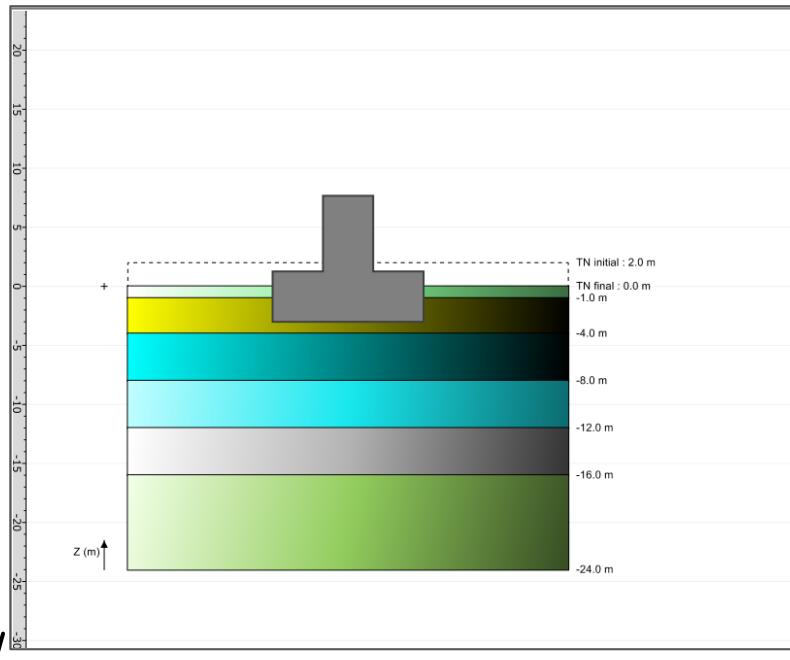
Traitement par mesures



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- ϕ



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	1,00	1,00 ELS-Quasi-permanentes
2	2000,0	50,0	40,0	200,0	160,0	1,00	1,00 ELS-Characteristiques
3	2000,0	100,0	110,0	400,0	400,0	1,35	1,35 ELU-Fondamentales
4	2000,0	150,0	140,0	600,0	600,0	1,00	1,00 ELU-Accidentelles
5	1000,0	80,0	40,0	320,0	160,0	1,00	1,00 ELS-Quasi-permanentes
6	2000,0	-80,0	-40,0	-320,0	-160,0	1,00	1,00 ELU-Fondamentales
7	3500,0	100,0	90,0	200,0	180,0	1,00	1,00 ELS-Quasi-permanentes
8	2000,0	-50,0	-70,0	-200,0	-175,0	1,00	1,00 ELU-Sismiques
9	2000,0	70,0	60,0	280,0	240,0	1,00	1,00 ELU-Sismiques
10	2000,0	100,0	125,0	300,0	200,0	1,00	1,00 ELU-Sismiques

Mise en œuvre dans Foxta v4

Exporter Retour

Synthèse des principaux résultats

N° ca...	Combinaison	V _d [kN]	H _d [kN]	R ₀ [kN]	S _{eff} /S _{tot}	R _{vd} [kN]	R _{hd} [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-Caractéristiques	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	-

Exporter

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance

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

Exporter

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement

N° cas de charge	λ _c	λ _d	α	E _c [kPa]	E _d [kPa]	q ₀ [kPa]	q _{ref} [kPa]	s _c [cm]	s _d [cm]	s _{tot} [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

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

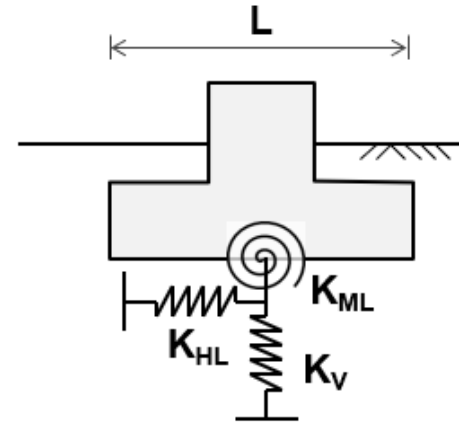
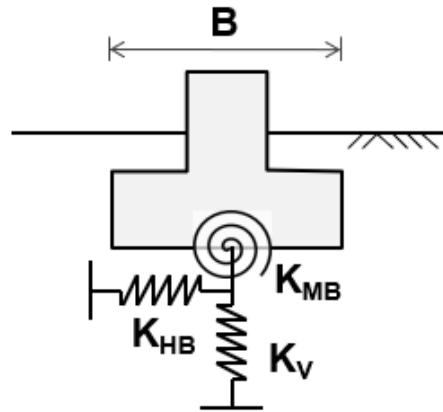
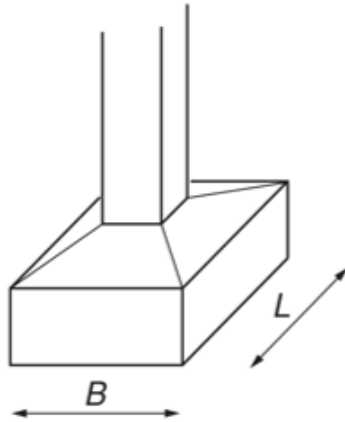
γ_1	Catégorie d'importance de l'ouvrage	I	II	III	IV
	Valeurs du coefficient d'importance γ_1	0,80	1,00	1,20	1,40

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 foundation on soil layers. The vertical axis is labeled 'Z (m)' and ranges from 0.0 m (TN final) to -30.0 m. 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.

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

- Contexte de calcul** (Calculation Context):
 - 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** (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_q (m): -2,00
- Proximité d'un talus** (Proximity to a slope):
 - Proximité d'un talus:

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Configurer le D.I.', 'Lancer le calcul', and 'Voir les résultats'. A legend at the bottom left identifies the soil and foundation elements, and a 'Vue en coupe' (Cross-section view) option is checked.

Exercice 01

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode PMT

The screenshot displays the software interface for foundation analysis. On the left, a cross-section shows a grey foundation on a green soil layer (0.0 m to -5.0 m), a purple soil layer (-5.0 m to -12.0 m), and a yellow soil layer (-12.0 m to -30.0 m). The vertical axis is labeled 'Z (m)'. On the right, the 'Définition du sol' panel is active, showing soil parameters and a table of soil layers.

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 pressiométrique

Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m³): 18,0

N°	Nom	Couleur	Z _{base} [m]	P ₁ * [kPa]	E _M [kPa]	α
1	Remblais	Vert	-5,00	600,00	5000,00	0,50
2	Sables	Pourpre	-12,00	1100,00	10000,00	0,33
3	Marnes	Jaune	-30,00	2500,00	20000,00	0,50

Exercice 01

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode PMT

TN final : 0.0 m
-5.0 m
-12.0 m
-30.0 m

Chargement (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} [kN]	$H_{B,d}$ [kN]	$H_{L,d}$ [kN]	$M_{B,d}$ [kNm]	$M_{L,d}$ [kNm]	Pondération sur P0	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-Charactéristiques
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_N (g) ?

Comportement sous séisme Comportement cohérent ▾

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa)

Poids volumique total (kN/m³)

Exercice 02

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode CPT

The screenshot displays the software interface for foundation verification. On the left, a cross-section diagram shows a grey rectangular foundation on a soil profile. The soil layers are color-coded: green (top), purple (middle), and yellow (bottom). The final ground level (TN final) is at 0.0 m. The soil layers extend to -5.0 m, -12.0 m, and -30.0 m depths. The foundation is positioned on the top layer. Below the diagram are controls for 'Visible' (checked) and 'Options' (including 'Vue en coupe').

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 pénétrométriques
Traitement des données	Traitement par couches
Pas de calcul (m)	0,20

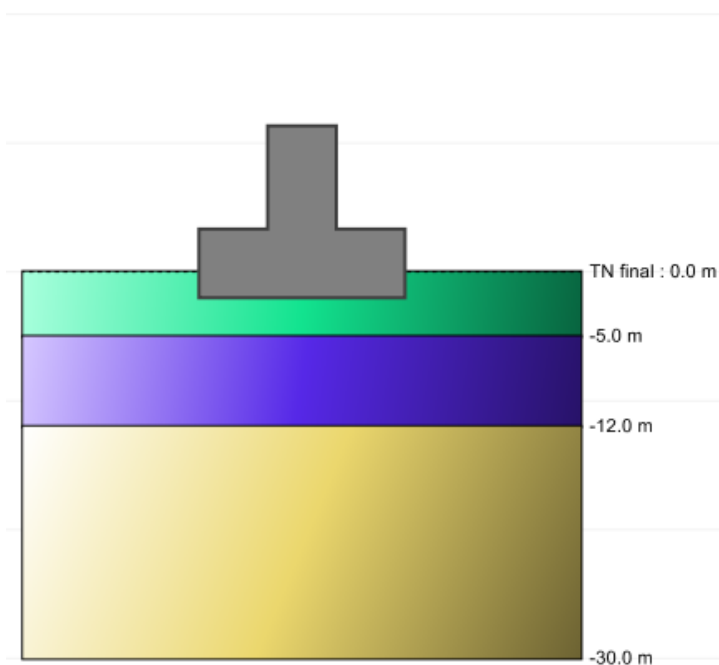
Géométrie de la fondation	
Forme de la base	Fondation rectangulaire
Longueur L (m)	4,00
Largeur B (m)	3,00

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	
<input type="checkbox"/> Proximité d'un talus	?

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 _{base} [m]	q _c [kPa]	γ' [kN/m ³]
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 02

- Vérification d'une semelle rectangulaire par la méthode CPT

TN final : 0.0 m

-5.0 m

-12.0 m

-30.0 m

Paramètres Définition du sol **Chargement**

Chargement (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} [kN]	$H_{B,d}$ [kN]	$H_{L,d}$ [kN]	$M_{B,d}$ [kNm]	$M_{L,d}$ [kNm]	Pondération sur P0	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-Charactéristiques
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_N (g) ?

Comportement sous séisme

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa)

Poids volumique total (kN/m³)

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 several 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)

On the left side of the interface, a cross-section diagram shows a grey rectangular foundation on a green soil profile. The ground level is marked as 'TN final : 0.0 m' and the foundation base is at '-10.0 m'. Below the diagram, there are controls for 'Visible' (checked) and 'Options' (including 'Vue en coupe').

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 of the soil layer is at '-10.0 m'. The right panel 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/m³): 18,0

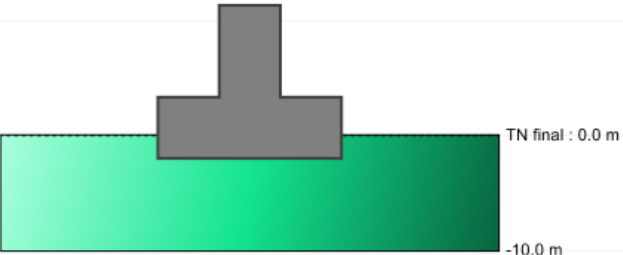
Below these settings is a table of soil layers:

N°	Nom	Couleur	Z _{base} [m]	φ [°]	c [kPa]	γ' [kN/m ³]	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', 'Options', 'Vue en coupe', and 'Base de données'.

Exercice 03

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



TN final : 0.0 m
-10.0 m

Chargement (valeurs de calcul)

Poids propre de la semelle P0 (kN)* Cote d'application de la charge Z₀ (m)

*Effort additionnel aux valeurs de Vd

N°	V _d [kN]	H _{B,d} [kN]	H _{L,d} [kN]	M _{B,d} [kNm]	M _{L,d} [kNm]	Pondération sur P0	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_N (g)

Comportement sous séisme

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa)

Poids volumique total (kN/m³)

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).

On the right, the 'Paramètres généraux' (General Parameters) panel is visible, showing 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 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/m³): 18,0

A table below the soil parameters lists the soil layers:

N°	Nom	Couleur	Z _{base} [m]	P _i * [kPa]	E _M [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' (selected), 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)* Cote d'application de la charge Z₀ (m)

*Effort additionnel aux valeurs de Vd

N°	V _d [kN/m]	H _{B,d} [kN/m]	M _{B,d} [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_N (g) ?

Comportement sous séisme

Résistance au cisaillement non drainée sous séisme (kPa)