



SECO

Journée d'étude Franco-Belge
Dimensionnement sismique des fondations
Etude de cas comparatif à la belge

Steven Ooms - SECO

SOMMAIRE

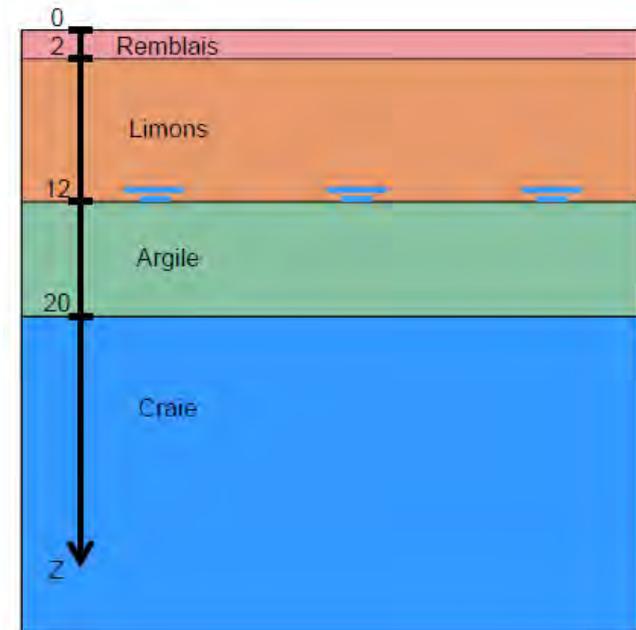
- 1° Caractéristiques mécaniques du sol & hypothèses sismiques de l'étude de cas
- 2° Hypothèses superstructure & fondations profondes de l'étude de cas
- 3° Descentes de charges & dimensionnement d'une fondation profonde
- 4° Aspects réglementaire & normatif

1. Caractéristiques mécaniques du sol & hypothèses sismiques

Couche	Epaisseur	q_c	R_f	φ'_k	C'_k	$C_{u,k}$	V_s
Remblais	2 m	-	-				
Limons	10 m	2 MPa	3%	22°	6 kPa	75 kPa	100 m/s
Argile	8 m	4 MPa	5%	20°	12 kPa	150 kPa	300 m/s
Craie	«au-delà»	8 MPa	< 1%	35°	0 kPa	-	360 m/s

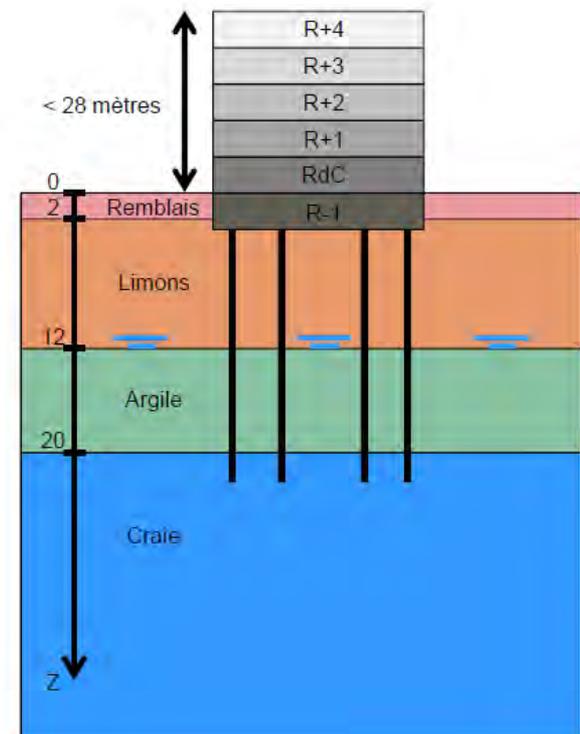
- Profondeur de la nappe : 11m
- Zone de sismicité 4
 - $a_{gR} = 0,10 g$
- Estimation $V_{s,30} = 200 m/s$
 - Classe de sol C (180 – 360 m/s selon EC8-1)
 - Effets cinématiques négligeables (selon EC8-5)
- Par hypothèse, les sols ne sont ni liquéfiables ni sensibles aux dégradations cycliques.

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}}$$



2. Hypothèses superstructure & fondations profondes

- R+4 avec 1 niveau de sous-sol, surface totale < 5000 m²
 - Catégorie d'importance II
 - $\gamma_I = 1,0$
 - $a_{gR} = 0,10 \text{ g}$
 - $a_{vgR} \approx 0,045 \text{ g}$
 - $S = 1,5$
 - Sismicité calculé : $\gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S = 0,15 \text{ g}$
 - Zone de sismicité modérée
=> classe de ductilité DCM recommandé par l'EC8
mais pas imposé par l'ANB belge
- Ductilité basse (DCL)
 - Coefficient de comportement $q = 1,5$
 - Pas de coefficient de sur-résistance à appliquer
- Pieux à tarière continue (CFA)
 - Fondés au-delà de la couche de limons
 - Avec SLT / Infofiche / Avec garantie de qualité
 - Béton de classe C30/37
 - Armatures de classe B500B



3. Descente de charges & dimensionnement

- Charges combinées

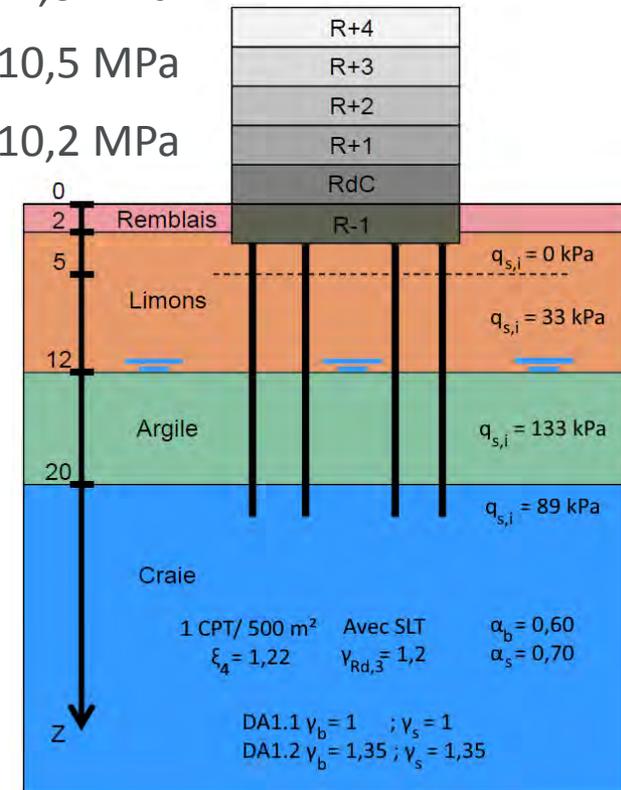
N° pieu	G [kN]	Q [kN]	Charges élémentaires issues de l'analyse modale spectrale (CQC)								
			Séisme X			Séisme Y			Séisme Z		
			E_{edx}^X [kN]	E_{edx}^Y [kN]	E_{edx}^Z [kN]	E_{edx}^X [kN]	E_{edx}^Y [kN]	E_{edx}^Z [kN]	E_{edx}^X [kN]	E_{edx}^Y [kN]	E_{edx}^Z [kN]
1	750	200	75	15	180	45	135	410	Négligé pour $a_{vg} < 0,25g$		

- Coefficient de sur-résistance : **1**
Combinaison de Newmark dimensionnante : $0,3 * X + 1,0 * Y$
- $1 * (0,3 * 180 + 1,0 * 410) \approx 465 \text{ kN} = A_{Ed}$
- $1 * \sqrt{(0,3 * 75 + 1,0 * 45)^2 + (0,3 * 15 + 1,0 * 135)^2} \approx 155 \text{ kN} = H_{MAX \text{ ELU SIS}}$
- $V_{MAX \text{ ELU DA1.2 (GEO)}} = 750 + 200 = 950 \text{ kN}$
- $V_{MAX \text{ ELU DA1.1 (STR)}} = 1,35 * 750 + 1,5 * 200 \approx 1310 \text{ kN}$
- $V_{MAX \text{ ELS QP}} = 750 + 0,3 * 200 = 810 \text{ kN}$ $V_{MAX \text{ ELU SIS}} = 810 + 465 = 1275 \text{ kN}$
- $V_{MIN \text{ ELS QP}} = 750 = 750 \text{ kN}$ $V_{MIN \text{ ELU SIS}} = 750 - 465 = 285 \text{ kN}$

3. Descente de charges & dimensionnement

- Vérification des taux de travail du béton pour un diamètre $D = 420\text{mm}$
- Diamètre de dimensionnement $D_d = \min(0,95D; D-20) = 399\text{mm}$; $A_d = 0,125 \text{ m}^2$
- $\sigma_{C,MOY ELS CAR} = 0,5 \quad * 30 = 15 \text{ MPa} > 7,6 \text{ MPa}$
- $f_{cd,ELU FOND} = 0,85 * 30 / (1,5*1,1) = 15,4 \text{ MPa} > 10,5 \text{ MPa}$
- $f_{cd,ELU SIS} = 30 / (1,5*1,1) = 18,2 \text{ MPa} > 10,2 \text{ MPa}$
- Capacité portant des pieux :
dimensionnement à partir des essais CPT
suivant Rapport 19 du CSTC
 - Sols crayeux ne sont pas traités dans ce rapport
-> on les traite comme des sables
 - ELU SIS : ancré à **1,65 m** dans la craie (1275 kN)
 - ELU DA1.1 : ancré à **2,05 m** dans la craie (1310 kN)
 - ELU DA1.2 : ancré à **1,65 m** dans la craie (950 kN)

⇒ une longueur de 22,05 m depuis TN
pour $D = 0,42 \text{ m}$



3. Descente de charges & dimensionnement

- Calcul du moment maximal induit par $H_{\text{MAX ELU SIS}} = 155 \text{ kN}$:
 - pas de méthode de calcul simplifié prescrit en Belgique
 - dimensionnement par calcul manuel
 - P.e. suivant NF P94-262 / AFPS CT n°38
 - dimensionnement avec des valeurs tabulées
 - P.e. norme néerlandaise NEN 3880
 - dimensionnement par logiciel adapté, calcul élasto-plastique
 - P.e. D-Sheet Piling, ..
- Point faible dans les méthodes cités :
 - Quel raideur de sol latérale à introduire ?
 - Valeurs statiques vs. dynamiques (fois 3 à 5)
- Autres paramètres :
 - Raideur du béton : fissurée, non-fissurée
 - Influence de la profondeur (déplacements plus limités)

3. Descente de charges & dimensionnement

- Calcul suivant NF P94-262 Annexe I / AFPS CT n°38

- Moment maximal induit par $H_{\text{MAX ELU SIS}} = 155 \text{ kN}$

- Dans la couche résiduelle de limons :

- Module linéique $K = 3 \times 7,5 \times 2 = 45 \text{ MPa}$

- Longueur de transfert $l_0 = \sqrt[4]{(4 \times 30\,000 \times 1,53 \times 10^{-3} / 45)} \approx 1,42 \text{ m}$

$$K_i = \eta \cdot K_f \quad + \quad K_f = \beta \cdot q_c$$

$$l_0 = (4 \cdot E \cdot I / K)^{0,25}$$

- $3 \times l_0 = 4,3 \text{ m} < 7 \text{ m} \approx$ épaisseur résiduelle de la couche de limons

- Etude de l'interaction sol-pieu : Théorie de Winkler appliquée à un monocouche

- Cas d'un pieu implanté sous un voile de contreventement

- Rotation bloquée en tête de pieu

- Limite domaine élastique : $0,42 \times 2/3,5 / 45 \times 1\,000 \approx 5,1 \text{ mm}$

- $\delta_{\text{MAX INDUIT}} / H_{\text{MAX ELU SIS}} \approx 155 / 45 / 1,42 \approx 2,4 \text{ mm}$

- $M_{\text{MAX INDUIT}} / H_{\text{MAX ELU SIS}} \approx |-0,5 \times 155 \times 1,42| = 110 \text{ kNm}$

$$\delta_{\text{él.}} = r_2 / K_i$$

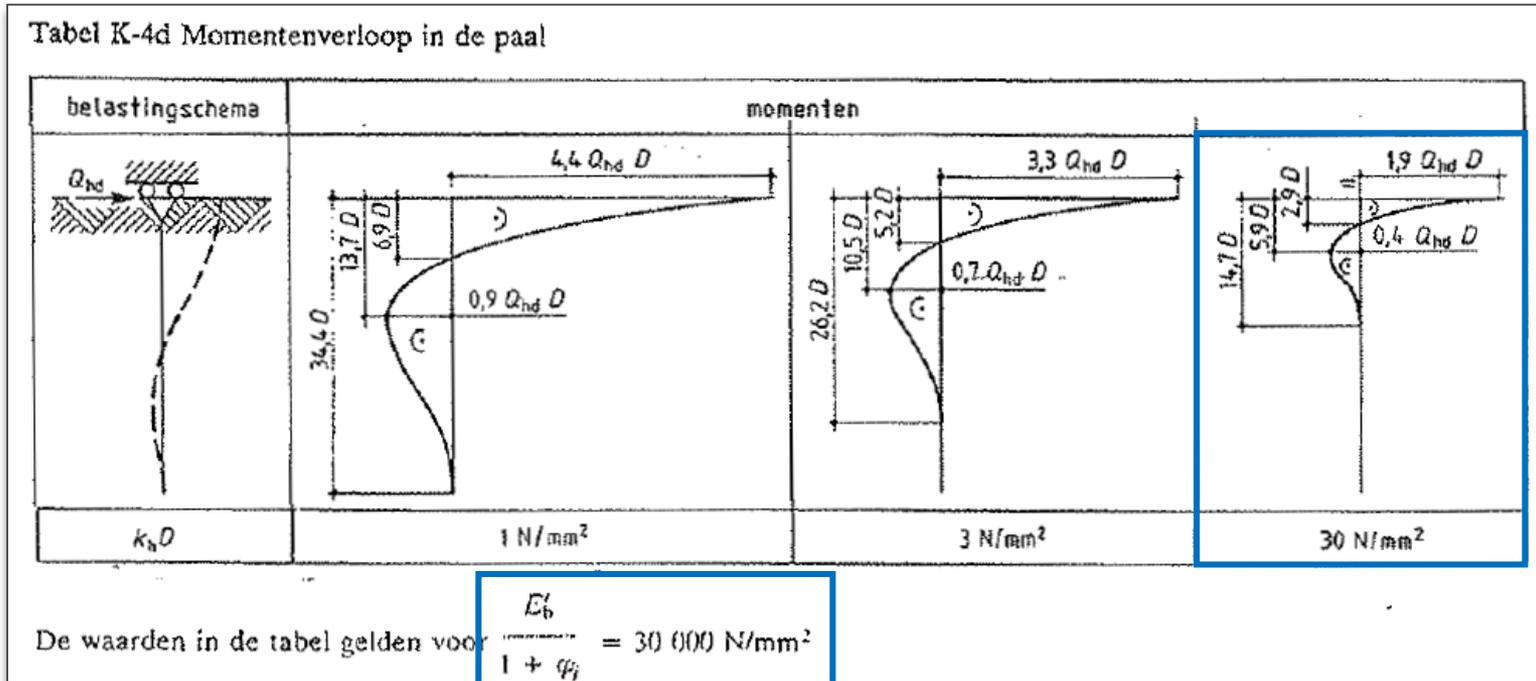
$$r_2 = B \frac{q_c}{\beta_2}$$

$$\delta_{\text{max}} = H / (K \cdot l_0)$$

$$M_{\text{max}} = -0,50 \cdot H \cdot l_0$$

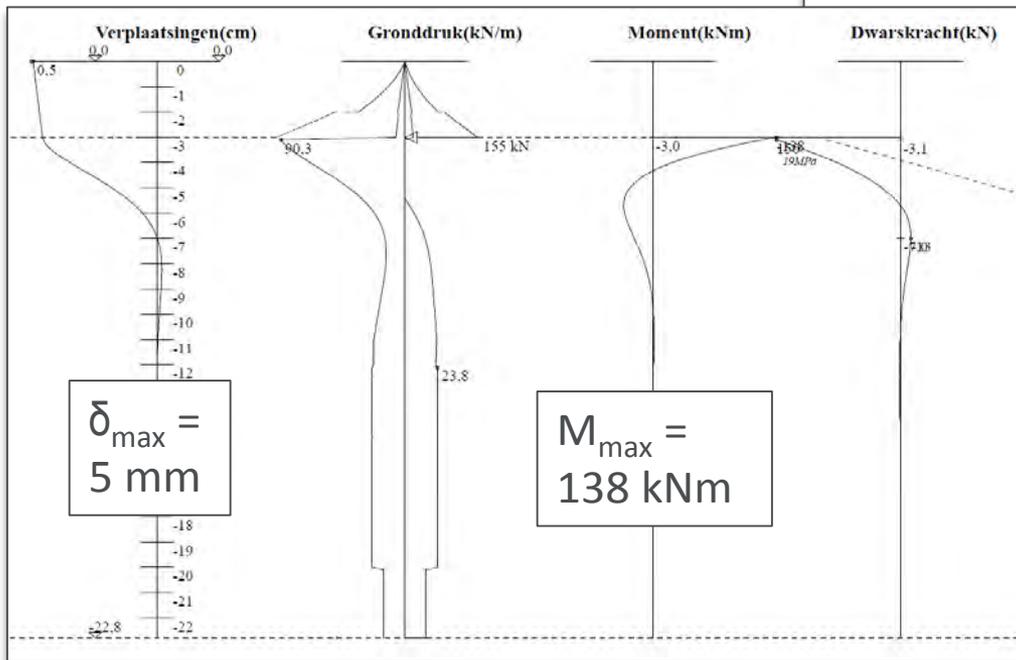
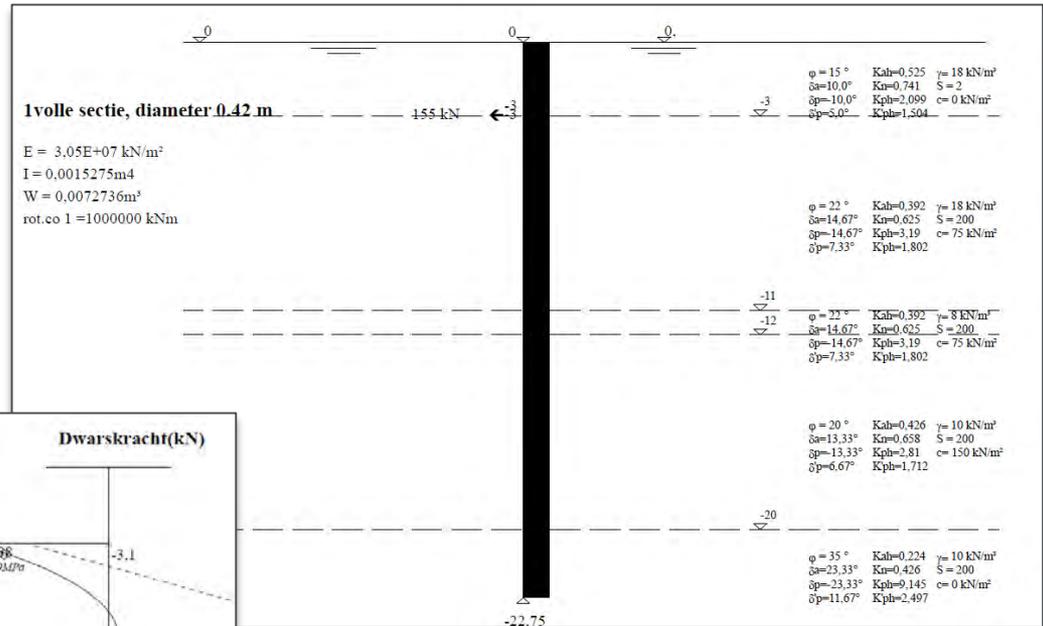
3. Descente de charges & dimensionnement

- Calcul suivant NEN 3880
 - $k_h \cdot D = 30 \text{ MPa}$
 - $M = 1,9 \times 155 \times 0,42 = 124 \text{ kNm}$
 - $k_h \cdot D = 45 \text{ Mpa}$
 - $M = (1,9 \times \sqrt[4]{30/45}) \times 155 \times 0,42 = 112 \text{ kNm}$



3. Descente de charges & dimensionnement

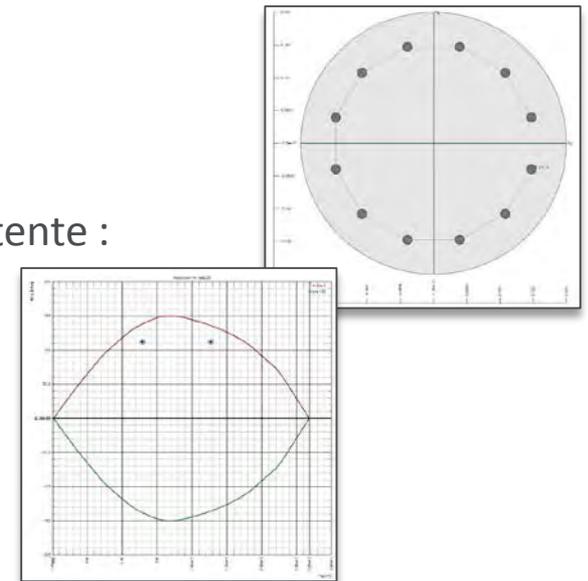
- Calcul par logiciel ELASDUK
 - Module linéique en fonction de la pression de sol σ_v et caractéristiques ϕ , c_u



- Tête de pieu encastré
- Effort introduit à profondeur de 3m, couches supérieures avec raideur très limité
- Module d'élasticité béton non-fissuré

3. Descente de charges & dimensionnement

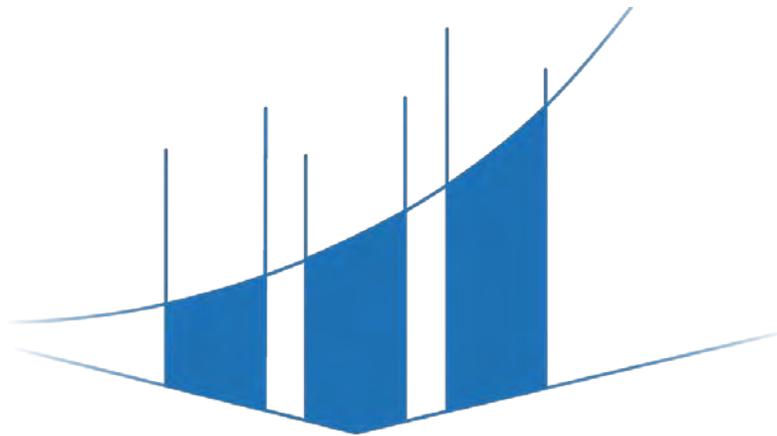
- Dispositions constructives :
 - On dimensionne en DCL
 - Dimensionnement suivant EN 1992-1-1 ;
 - Avec $\gamma_c = 1,50 * 1,1$ et $\gamma_s = 1,00$ (ANB belge EC8 et EC2)
 - En tête de pieu :
 - Arm. long. : 12 phi 14
 - Pas de redistribution possible en cas d'effort sismique normal maximal
 - Longueur de recouvrement des barres d'attente : 700mm sv. EC2 avec $\gamma_s = 1,00$
 - Attention au diamètre des cages : diam. extérieur \leftrightarrow axes des barres long.
 - Arm. trnv. : phi 8 a 120 mm
 - En zone courante :
 - Arm. long. : 6 phi 14
 - Arm. trnv. : phi 8 a 170 mm (arm. minimales EC2)



4. Aspects réglementaire & normatif

- Pour le volet réglementaire :
 - Structures Seveso :
 - Directive 2012/18/EU Seveso III
+ Accord de coopération du 16 février 2016
- Pour le volet conception :
 - Eurocodes et ANB 0, 2, 7 et 8
 - CSTC Rapport 12 de 2009 (référéncé dans l'ANB EC7)
 - CSTC Rapport 19 de 2016
- Pour le volet exécution
 - NBN EN 1536 (2010) Pieux forés
 - NBN EN 12699 (2015) Pieux avec refoulement du sol

Merci pour votre attention !



SECO

SECO Belgium nv/sa

Rue d'Arlon 53 B-1040 Brussels

sales@seco.be

+32 2 238 22 11

www.groupseco.com