

**BUREAU  
VERITAS  
CONSTRUCTION**



**FONDATEMENTS PROFONDES**

**ETUDE DE CAS**

**JOURNEE FRANCO-BELGE**

**BRUXELLES - 15 MARS 2018**

**NICOLAS NAYRAND**

**BUREAU VERITAS FRANCE** | INDUSTRY & FACILITIES



CONSTRUCTION



GESTION DE  
PATRIMOINE



INSPECTIONS &  
VÉRIFICATIONS  
EN SERVICE



MAÎTRISE DES  
RISQUES H.S.E



SERVICES A L'INDUSTRIE  
& ESSAIS LABORATOIRES



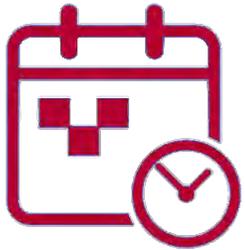
FORMATION



CERTIFICATION

BUREAU VERITAS  
CONSTRUCTION





- 1° Maquette géomécanique & 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° Maquette géomécanique & hypothèses sismiques

Couche	Epaisseur	$E_M$	$p_l$	$\alpha$
Remblais	2 mètres	-	-	-
Limons	10 mètres	3 MPa	0,4 MPa	0,50
Argile	8 mètres	12 MPa	1,1 MPa	0,67
Craie	« au-delà »	20 MPa	1,8 MPa	0,50

Nappe libre à 11 mètres

Zone de sismicité 3

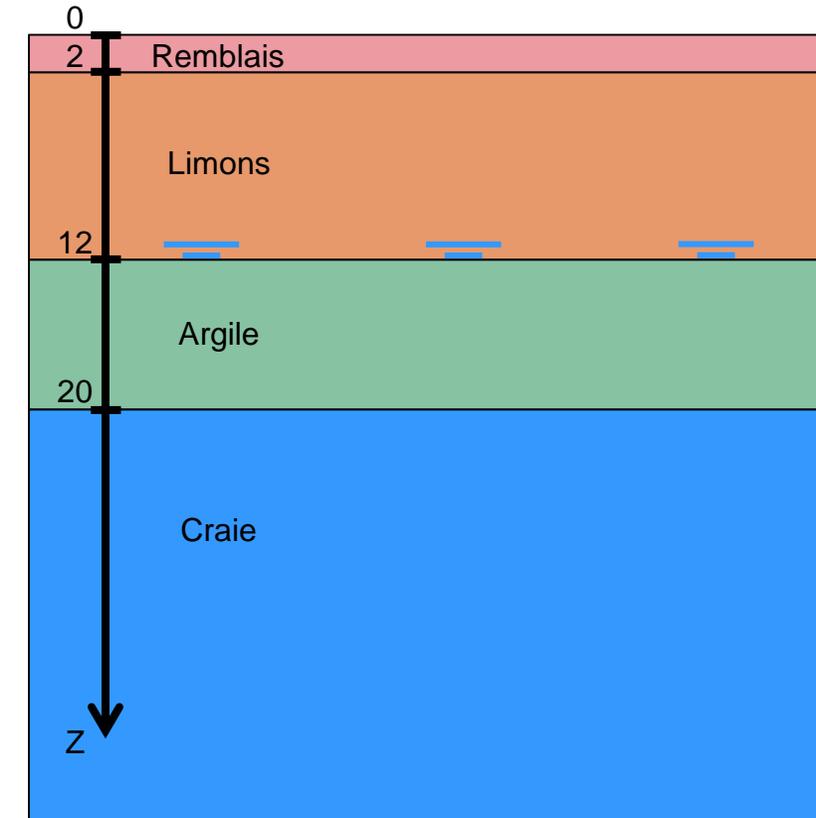
$$a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$$

Estimation  $V_{s,30} = 200 \text{ m/s}$

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.



## 2° Hypothèses superstructure & fondations profondes

R+4 avec 1 niveau de sous-sol

Catégorie d'importance II

$\gamma_I = 1,0$  (selon l'arrêté du 22/10/10)

$a_g = 1,1 \text{ m/s}^2$

$a_{vg} \approx 1,0 \text{ m/s}^2$

Classe de sol C, non modifiée par le niveau de sous-sol

Ductilité moyenne (DCM)

Coefficient de comportement  $q = 2,5$

Présence d'un diaphragme venant coiffer les fondations profondes

Coefficient de sur-résistance  $\gamma_{R,d} \times \Omega = 1,4$

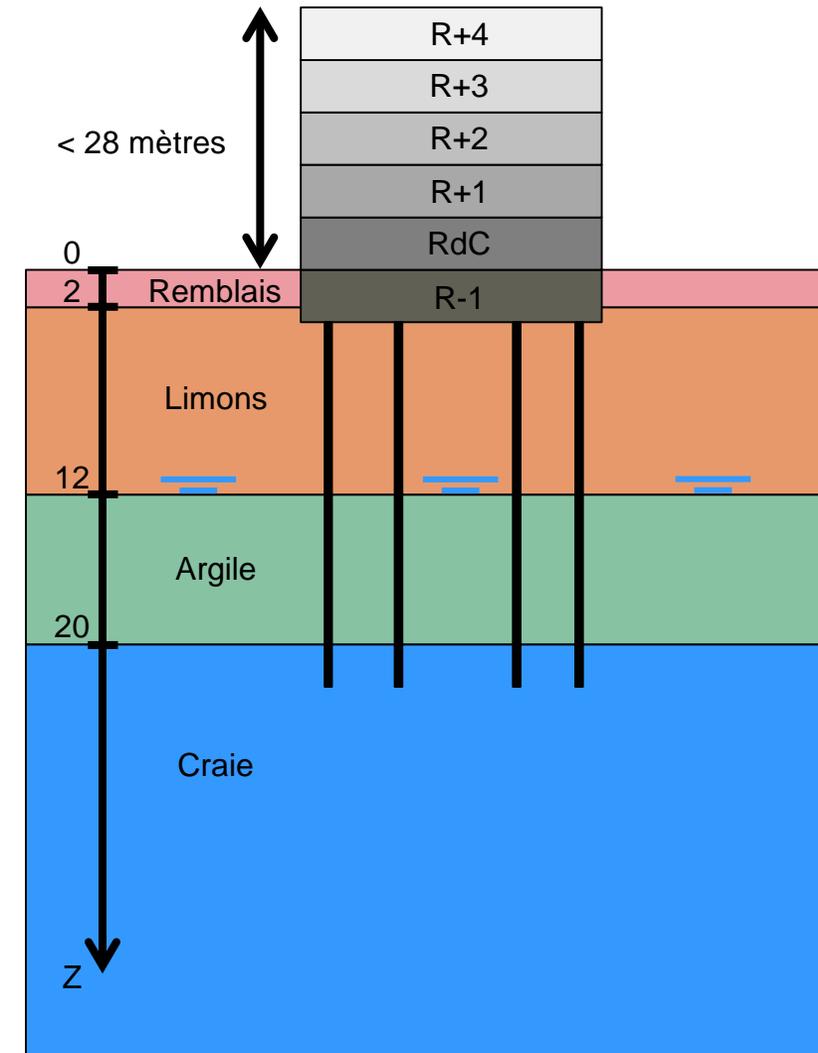
Pieux forés à la tarière creuse simple rotation

Fondés au-delà de la couche de limons

Avec contrôle renforcé d'intégrité

Béton de classe C30/37

Armatures de classe B500B



# 3° Descentes de charges & dimensionnement

Charges combinées

N° pieu	G [t]	Q [t]	Charges élémentaires issues de l'analyse modale spectrale (CQC)								
			Séisme X			Séisme Y			Séisme Z		
			E <sub>edx</sub> X [t]	E <sub>edx</sub> y [t]	E <sub>edx</sub> Z [t]	E <sub>edy</sub> X [t]	E <sub>edy</sub> y [t]	E <sub>E</sub> dyZ [t]	E <sub>edz</sub> X [t]	E <sub>edz</sub> y [t]	E <sub>edz</sub> Z [t]
1	75	20	5	1	12	3	9	27	Négligé pour a <sub>vg</sub> < 2,5 m/s <sup>2</sup>		

Combinaison de Newmark dimensionnante : 0,3 x X « + » 1,0 x Y

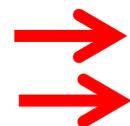
Coefficient de sur-résistance : 1,4

$$1,4 \times \sqrt{((0,3 \times 5 + 1,0 \times 3)^2 + (0,3 \times 1 + 1,0 \times 9)^2)} \approx 14,5 \text{ t} = H_{\text{MAX ELU SIS}}$$

$$1,4 \times (0,3 \times 12 + 1,0 \times 27) \approx 43 \text{ t} = A_{\text{ed}}$$

$$V_{\text{MIN ELS QP}} = 75 = 75 \text{ t}$$

$$V_{\text{MAX ELS QP}} = 75 + 0,3 \times 20 = 81 \text{ t}$$



$$V_{\text{MIN ELU SIS}} = 75 - 43 = 32 \text{ t}$$

$$V_{\text{MAX ELU SIS}} = 81 + 43 = 124 \text{ t}$$

$$V_{\text{MIN ELS CAR}} = 75 = 75 \text{ t}$$

$$V_{\text{MIN ELU FOND}} = 1,00 \times 75 = 75 \text{ t}$$

&

$$V_{\text{MAX ELS CAR}} = 75 + 20 = 95 \text{ t}$$

&

$$V_{\text{MAX ELU FOND}} = 1,35 \times 75 + 1,50 \times 20 \approx 131 \text{ t}$$

Le modèle « structure » prend en compte la **souplesse des fondations** et des **conditions limites en tête** (Cf. § 5.4.2 (2)P de l'EC8-5). **Après itérations**, pieu n° 1, **B = 0,42 m**, implanté sous un voile de contreventement # **Rotation bloquée en tête**

# 3° Descentes de charges & dimensionnement

Vérification des taux de travail du béton pour un diamètre B = 0,42 m :

$$\sigma_{c \text{ MOY ELS CAR}} = 0,3 \times 1,2 \times 30 / 1,35 / 1,14 \approx 7 \text{ MPa} > 6,7 \text{ MPa}$$

$$f_{cd \text{ ELU FOND}} = 0,8 \times 1,2 \times 30 / 1,35 / 1,14 / 1,5 \approx 12,5 \text{ MPa} > 9,3 \text{ MPa}$$

$$f_{cd \text{ ELU SIS}} = 0,8 \times 1,2 \times 30 / 1,35 / 1,14 / 1,3 \approx 14,4 \text{ MPa} > 8,8 \text{ MPa}$$

**Résistances ≥ Sollicitations**

Ancrage dans la craie pour assurer l'équilibre des charges verticales :

1,75 m à l'ELU Sis

1,50 m à l'ELS Car

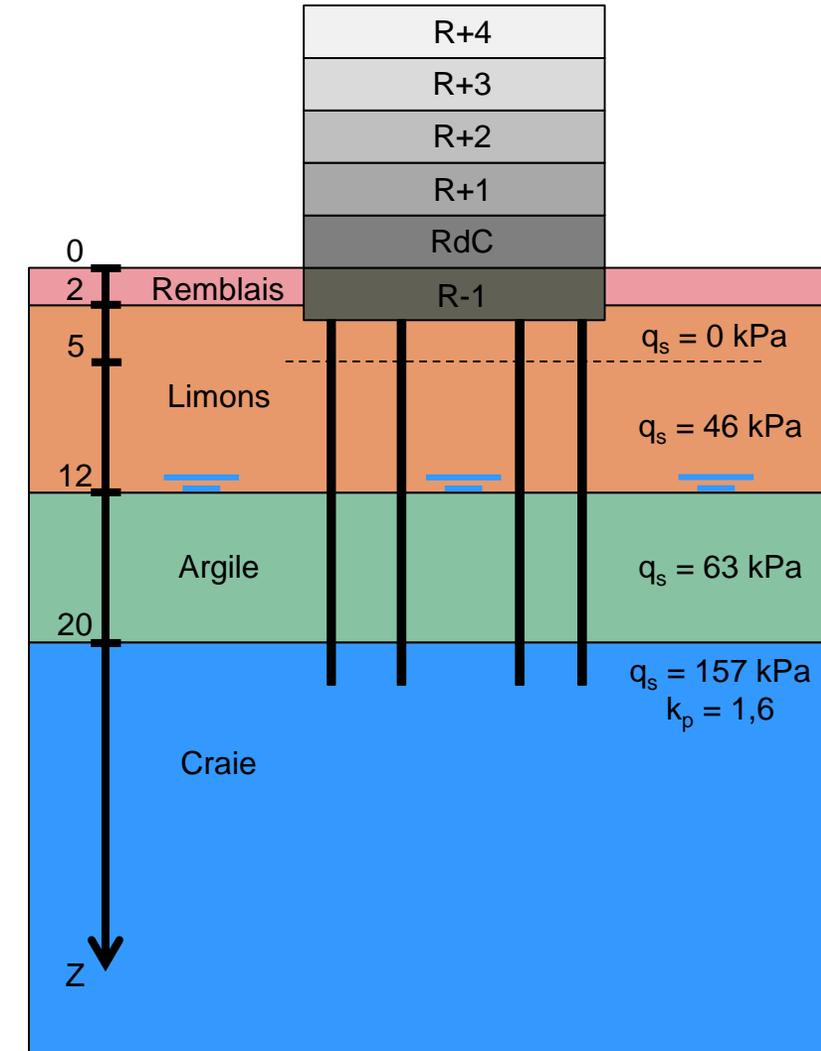
1,75 m à l'ELS QP

2,25 m à l'ELU Fond



Approche Modèle de terrain  
Méthode pressiométrique

soit une longueur de 22,25 m depuis TN pour B = 0,42 m



# 3° Descentes de charges & dimensionnement

Moment maximal induit par  $H_{MAX ELU SIS} = 14,5 t$  :

$$\eta(\text{brièveté de l'action, zone de sismicité, déformation/distorsion}) = 3$$

Dans la couche résiduelle de limons :

Module linéique  $K = 3 \times 12 \times 3 / (4 / 3 \times 2,65^{0,50} + 0,50) \approx 40,4 \text{ MPa}$

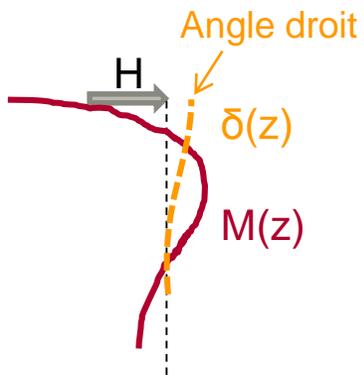
Longueur de transfert  $l_0 = \sqrt[4]{(4 \times 30\,000 \times 1,5 \times 10^{-3} / 40,4)} \approx 1,5 \text{ m}$

$3 \times l_0 = 4,5 \text{ m} < 7 \text{ m} \approx$  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

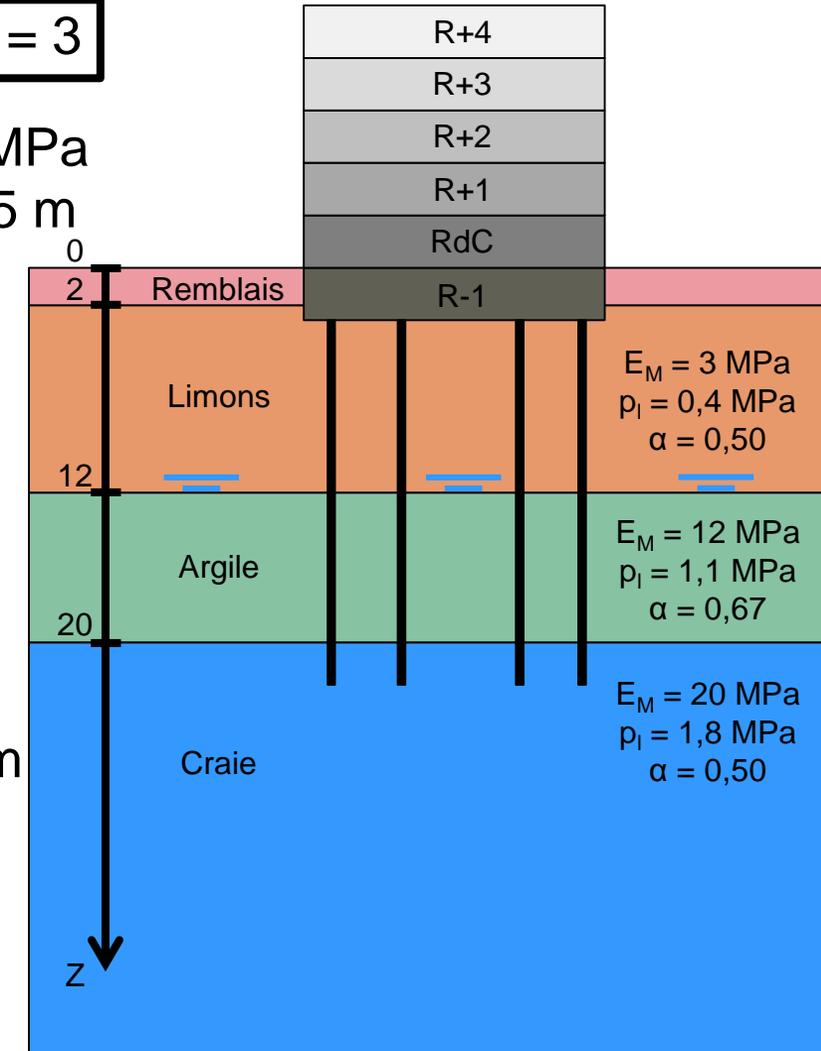
Rotation bloquée en tête de pieu



Lim. Dom. Él. :  $0,42 \times 0,4 / 40,4 \times 1\,000 \approx 4,2 \text{ mm}$

$\delta_{MAX INDUIT} / H_{MAX ELU SIS} \approx 14,5 / 40,4 / 1,5 \times 9,8 \approx 2,3 \text{ mm}$

$M_{MAX INDUIT} / H_{MAX ELU SIS} \approx |-0,5 \times 14,5 \times 1,5| \approx 11 \text{ t.m}$



### 3° Descentes de charges & dimensionnement

Vérification des dispositions constructives du CT n° 38 (Chap. 10) pour la présente application :

#### HA 8 tous les 110 mm en zone spécifique

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \times z \times f_{ywd} \times \cotg \Theta \approx 16 \text{ t}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd} / (\cotg \Theta + \tg \Theta) \approx 54 \text{ t}$$

$$V_{Rd \text{ ELU SIS}} = 16 \text{ t} > H_{MAX \text{ ELU SIS}} = 14,5 \text{ t}$$

#### 2 x 6 HA 14 en zone spécifique

$$V_{MIN \text{ ELU SIS}} = 32 \text{ t} \leq V \leq 124 \text{ t} = V_{MAX \text{ ELU SIS}}$$

$$12 \text{ t.m} < M_{adm \text{ ELU SIS}} < 13 \text{ t.m}$$

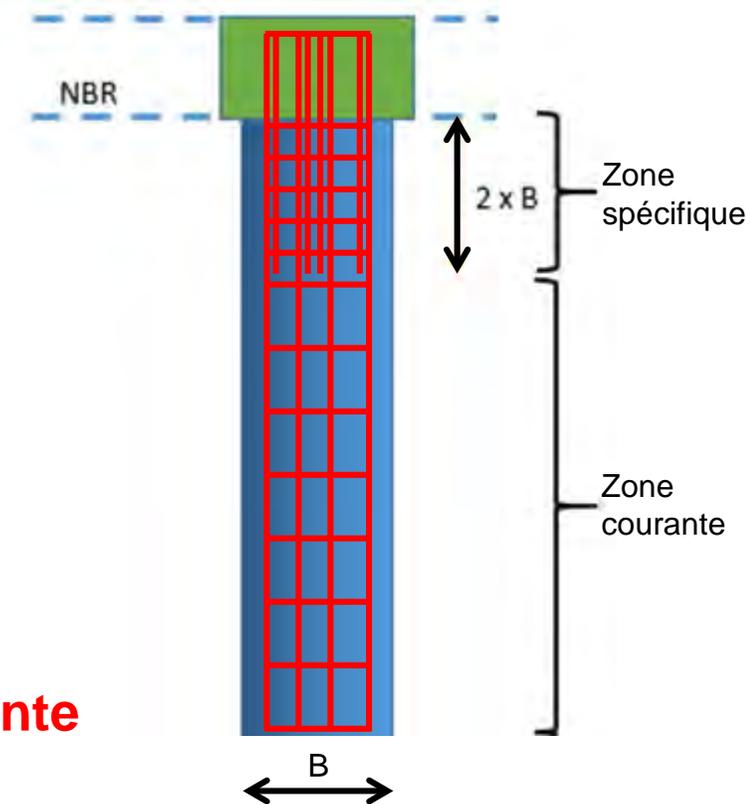
$$M_{adm \text{ ELU SIS}} > M_{MAX \text{ INDUIT}} / H_{MAX \text{ ELU SIS}} \approx 11 \text{ t.m}$$

Analyse des courbes  $M(z)$  et  $T(z)$  : en zone courante,

Sollicitations résiduelles  $\leq 20\%$  Sollicitations maximales

**HA 8 tous les 170 mm & 6 HA 14 en zone courante**

**Longueur de la cage d'armatures = 15 mètres**



Il est intéressant de remarquer que les dispositions constructives du CT n° 38 sont particulièrement bien adaptées aux sollicitations internes que subissent les pieux dont la rotation est bloquée en tête.

# 4° Aspects réglementaire & normatif

Pour le volet réglementaire (2 décrets & 1 arrêté)

Décret n° 2010-1255 du 22/10/2010 (Délimitation des zones de sismicité du territoire français)

Décret n° 2010-1254 du 22/10/2010 (Prévention du risque sismique)

Arrêté du 25/10/2012 modifiant l'arrêté du 22/10/2010 (Classification et règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal")

Pour le volet conception

Eurocodes et NAN 0, 2, 7 et 8  
FD des Eurocodes 2 et 8  
NF P94-262

Pour le volet exécution

NF EN 1536

Pour guider les ingénieurs



**Le Cahier Technique n° 38 de l'AFPS pour la conception et le dimensionnement des fondations profondes sous actions sismiques, des bâtiments à risque normal (04/2017).**

BUREAU VERITAS  
**CONSTRUCTION**



**MOVE  
FORWARD  
WITH  
CONFIDENCE**

