

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Débat de spécialistes: Comparaison de coefficients de sécurité pour les pieux sous charges axiales aux états limites ultimes

Panel discussion: Comparison of safety coefficients for axially loaded piles at ultimate limit states

R. Frank – C.E.R.M.E.S., ENPC-LCPC, Champs-sur-Marne, France

RESUME : On compare les coefficients de sécurité pour le dimensionnement des pieux sous charges axiales aux états limites ultimes proposés par la prénorme Eurocode 7 - Partie 1 (CEN, 1994) et par les règles du "Fascicule n° 62- Titre V" du Ministère français de l'équipement (MELT, 1993), dans le cas où la capacité portante est déduite d'essais exécutés sur le sol (règles pressiométriques MPT). Les résultats de la comparaison globale donnée par les deux codes montrent une bonne concordance. Enfin, une proposition est faite pour remplacer les cas B et C (pour les combinaisons fondamentales) de l'Eurocode 7-1 par un cas unique.

ABSTRACT : The factors of safety for designing axially loaded piles at ultimate limit states of ENV Eurocode 7-1 (CEN, 1994) and of the French code *Fascicule 62-V* (MELT, 1993) are compared, when the bearing resistance is determined from ground test results (MPT pressuremeter rules). The results of the overall comparison are found to be quite consistent. Finally, a proposal is made for replacing cases B and C (for fundamental combinations) of Eurocode 7-1 by a unique case.

1 INTRODUCTION

Pour dimensionner les pieux sous charges axiales en ce qui concerne la capacité portante ultime, la prénorme européenne Eurocode 7 - Partie 1 (CEN, 1994) contient tous les coefficients de sécurité à appliquer lorsque des règles de calcul à partir d'essais de sol sont disponibles ou lorsque des essais de chargement statique de pieux sont exécutés. Ce document décrit comment passer de la (ou des) valeur(s) mesurée(s) de la capacité portante ultime à la valeur caractéristique et, de la valeur caractéristique, à la valeur de calcul. Les coefficients partiels à appliquer aux actions (charges) aux états limites ultimes (ELU) sont également connus.

Dans la présente contribution, ces coefficients sont comparés avec ceux du règlement officiel français Fascicule n° 62 - Titre V (MELT, 1993), dans le cas où l'on utilise les règles pressiométriques. Seuls les pieux en compression sont examinés et aucun effet de groupe n'est pris en compte. Ces comparaisons ne concernent pas la sécurité globale finale de la fondation sur pieux, qui dépend notamment des justifications aux états limites de service, qui sont d'ailleurs très différentes dans les deux textes.

2 RELATIONS DE BASE

Les relations de base de l'Eurocode 7-1 pour la capacité portante ultime sont les suivantes.

$$R_{ck} = R_{cm}/\xi \tag{1}$$

$$R_c = R_{ck}/\gamma_t$$

$$\text{ou } R_c = R_{bk}/\gamma_b + R_{sk}/\gamma_s \tag{2}$$

où R_{cm} est la valeur mesurée de la capacité portante ultime,

R_{ck} est la valeur caractéristique de la capacité portante ultime,

et R_c est la valeur de calcul de la capacité portante ultime, avec

R_{bk} la valeur caractéristique de la résistance de la pointe

et R_{sk} la valeur caractéristique de la résistance du fût,

ξ les facteurs à appliquer aux valeurs mesurées,

γ_t , ou γ_b et γ_s les coefficients à appliquer à la capacité portante caractéristique totale, ou aux résistances caractéristiques de pointe et de fût, respectivement.

Par ailleurs, les charges appliquées caractéristiques F sont multipliées par les coefficients γ_F de manière à obtenir la charge de calcul en compression :

$$F_c = \gamma_F F \tag{3}$$

La condition de base à remplir pour tous les états limites ultimes (ULS) est :

$$F_c(ULS) \leq R_c \tag{4}$$

Les relations (1) à (4) conduisent à :

$$F \leq R_{cm}/\gamma_F \cdot \gamma_t \cdot \xi = R_{cm}/FS \tag{5}$$

où $FS = \gamma_F \cdot \gamma_t \cdot \xi$ est similaire à un coefficient de sécurité global.

3 VALEURS DES COEFFICIENTS γ

Pour l'Eurocode 7-1, aux ELU fondamentaux (situations durables et transitoires), les valeurs de γ_F pour les cas B et C sont donnés dans le Tableau 1. Les valeurs de γ_t , ou de γ_b et γ_s , pour le cas C, varient de [1,3] à [1,6] selon que l'on ait affaire à des pieux foncés, forés ou à la tarière continue (CFA). Pour le cas B, γ_t , ou γ_b et $\gamma_s = [1,00]$. Dans les situations accidentelles tous ces coefficients sont égaux à [1,00]. Pour les états limites ultimes fondamentaux (situations durables et transitoires), les coefficients partiels γ_F sur les charges du *Fascicule n° 62 - Titre V* sont très semblables à ceux du cas B de l'Eurocode 7. En particulier, ce coefficient vaut 1,35 pour les charges permanentes défavorables, il vaut 1,00 sur les charges permanentes favorables et 1,5 pour les actions variables de base (sauf en ce qui concerne les charges d'exploitation étroitement bornées ou de caractère particulier). La combinaison des charges pour les situations accidentelles est la même que celle de l'Eurocode 7.

Tableau 1. Eurocode 7-1 : Coefficients partiels γ_F .
Situations ELU fondamentales.

	Actions		
	Permanententes		Variables
Cas	défavorables	favorables	défavorables
B	[1,35]	[1,00]	[1,50]
C	[1,00]	[1,00]	[1,30]

Dans le Fascicule n° 62 - Titre V, on utilise la même valeur γ pour la résistance de pointe et pour la résistance de fût :

$\gamma_b = \gamma_s = \gamma_t = 1,4$ pour les combinaisons ELU fondamentales;

$\gamma_b = \gamma_s = \gamma_t = 1,2$ pour les combinaisons ELU accidentelles.

4 VALEURS CARACTERISTIQUES DE LA CAPACITE PORTANTE A PARTIR DES RESULTATS D'ESSAIS MPT

On doit distinguer deux cas (voir paragraphe 7.6.3 de l'Eurocode 7-1) : 1) la justification est effectuée d'après les résultats d'essais exécutés sur le sol ; 2) la justification est effectuée d'après les résultats d'essais de chargement de pieux. On ne traite ici que du cas d'essais pressiométriques (MPT) exécutés sur le sol.

Quand les résultats d'essais de sol sont utilisés, la clause (4)P du paragraphe § 7.6.3.3 de l'Eurocode 7-1 stipule que :

"Les valeurs caractéristiques de q_{bk} et q_{sik} doivent être déduites au moyen de règles de calcul fondées sur des corrélations établies entre les résultats d'essais de chargement statique et les résultats d'essais in situ, ou en laboratoire, sur le terrain. Ces règles doivent être conçues de telle sorte que les capacités portantes ultimes obtenues en utilisant les valeurs caractéristiques q_{bk} et q_{sik} ne dépassent pas les capacités portantes ultimes mesurées, utilisées pour établir les corrélations divisées par [1.5] en moyenne." (q_{bk} est la valeur caractéristique de la résistance par unité de surface de la base du pieu et q_{sik} est la valeur caractéristique par unité de surface du fût du pieu dans la couche i).

En d'autres termes, $\xi_{moyen} = 1,5$.

Le Fascicule n° 62 - Titre V donne deux méthodes de calcul à partir de résultats d'essais in situ : une méthode à partir des essais au pressiomètre Ménard (MPT) et une méthode à partir des essais de pénétration statique (CPT). Ces deux méthodes proviennent de corrélations avec de nombreux essais de chargement statique de pieux (développées, à l'origine, par Bustamante et Gianceselli, 1981).

Afin de pouvoir comparer à l'Eurocode 7-1, le problème central pour toutes les méthodes ou règles de calcul est de connaître la valeur de ξ_{ave} . Pour les règles pressiométriques contenues dans le Fascicule n° 62 - Titre V, une première estimation a été effectuée sur un nombre limité de résultats d'essais de chargement (Renault, 1996). Cette estimation mène à $\xi_{ave} = 1,25$ pour l'ensemble des pieux (pieux foncés et pieux battus confondus).

5 COMPARAISONS DE LA SECURITE GLOBALE

Pour l'Eurocode 7-1, on utilise ici les mêmes coefficients γ_t pour les résistances de pointe et de fût, comme c'est le cas dans le Fascicule n° 62 - Titre V. Dans le cas du Fascicule n° 62 - Titre V, on suppose que les règles pressiométriques sont utilisées et que $\xi_{ave} = 1,25$. Pour les ELU fondamentaux, toutes les actions sont considérées comme défavorables.

1) combinaisons fondamentales. Lorsque les charges permanentes varient de 100% à 50 %, les facteurs FS varient de :

Eurocode 7-1: Cas B : FS = 2,03 à 2,14 (6)

Cas C : pieux foncés, FS = 1,95 à 2,24 (7)

Cas C : pieux forés, FS = 2,25 à 2,59 (8)

Fascicule n° 62 - Titre V : FS = 2,36 à 2,49 (9)

2) combinaisons accidentelles (tous les $\gamma_F = 1,00$) :

Eurocode 7-1 : FS = $1,0 \times 1,0 \times 1,5 = 1,50$ (10)

Fascicule n° 62 - Titre V : FS = $1,0 \times 1,2 \times 1,25 = 1,50$ (11)

On peut voir que la sécurité globale des deux règlements est très proche. En moyenne, le Fascicule n° 62 - Titre V (avec les règles pressiométriques et en supposant $\xi_{ave} = 1,25$) est légèrement plus conservatif pour les pieux foncés sous combinaisons fondamentales (jusqu'à + 16 %).

6 CAS UNIQUE REMPLACANT LES CAS B ET C

Il apparaît que, pour le problème des pieux chargés axialement, les cas B et C des ELU fondamentaux de l'Eurocode 7-1 pourraient être remplacés par un cas unique U, qui intégrerait les éléments suivants : i) utilisation des valeurs γ_F du cas B, voir Tableau 1 ; ii) utilisation pour γ_t , ou γ_b et γ_s , de valeurs légèrement inférieures à celles du cas C, mais respectant pour γ_b et γ_t la même hiérarchie : $\gamma(\text{foncé}) \leq \gamma(\text{CFA}) \leq \gamma(\text{foré})$, en conséquence, iii) les valeurs de ξ_{ave} pour le calcul à partir d'essais de sol devraient être inférieures, sans doute proches de celles du Fascicule n° 62 - Titre V.

Pour l'instant, nous proposons les valeurs suivantes :

$\gamma_t(\text{foncé}) = 1,2$; $\gamma_t(\text{CFA}) = 1,3$ et $\gamma_t(\text{foré}) = 1,4$

$\xi_{ave} = 1,2$ pour les résultats d'essais de sol.

L'application de ce cas unique U aux exemples traités ci-dessus est la suivante.

pieux foncés, FS = 1,94 à 2,05 (12)

pieux forés, FS = 2,27 à 2,39 (13)

Ces résultats sont, dans la plupart des cas, très proches de ceux donnés par les relations (6) à (8) et ne diffèrent jamais de plus de 10 %. Incidemment, les règles pressiométriques du Fascicule n°62 - Titre V (relation 9) sont maintenant plus conservatives, en moyenne, dans tous les cas de combinaisons fondamentales (+ 22% pour les pieux foncés et + 4% pour les pieux forés).

7 CONCLUSIONS

Les sécurités globales de la prénorme européenne Eurocode 7-1 et du règlement officiel français Fascicule n° 62 - Titre V sont très comparables, lorsque l'on dimensionne des pieux sous charges axiales vis-à-vis de la capacité portante ultime.

Les règles de calcul à partir des résultats d'essais in situ (pressiométriques et pénétrométriques) données dans le Fascicule n° 62 - Titre V ont besoin d'être comparées aux résultats des essais de chargement de pieux qui ont permis de les constituer, afin de vérifier leur compatibilité avec les exigences de l'Eurocode 7-1.

Pour le problème de la capacité portante des pieux chargés axialement, un cas unique pour les combinaisons fondamentales ELU, remplaçant les cas B et C de l'Eurocode 7-1, peut aisément être trouvé.

REFERENCES

- Bustamante, M. & L. Gianceselli 1981. Préviation de la capacité portante des pieux isolés sous charge verticale. Règles pressiométriques et pénétrométriques. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.* 113 : 83-108.
- CEN 1994. *ENV 1997-1 Eurocode 7 Geotechnical Design Part 1 General Rules*. 30 October 1994, TC 250/SC7, Bruxelles : Comité Européen de Normalisation (CEN).
- MELT 1993. *Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, CCTG, Fascicule N°62 - Titre V*. Paris : Ministère de l'Équipement du Logement et des Transports.
- Renault J. 1996. *Communication privée*.