



Le 19 mars 2015

**Commission  
de Normalisation  
Justification  
des Ouvrages  
Géotechniques**

**Destinataires :**

Membres de la CNJOG

PRESIDENT

*Jean-Paul VOLCKE*

SECRETARIAT

*Sébastien Burlon*

☎ 01 81 66 81 07

✉ [Sebastien.Burlon@ifsttar.fr](mailto:Sebastien.Burlon@ifsttar.fr)

**Objet : Etat-limite de traction dans les pieux**

**Introduction**

Cette note informative rédigée au sein de la Commission de Normalisation des Ouvrages Géotechniques (CNJOG – Groupe Miroir de l'Eurocode 7) a pour objectif d'apporter des commentaires généraux sur l'application de la section 10 de la norme NF P 94-262 ainsi que des éléments de correction à certaines équations et figures de la section 10.3.2.

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1 PRINCIPES.....</b>	<b>2</b>
<b>2 PIEU ISOLE.....</b>	<b>2</b>
<b>3 GROUPES DE PIEUX .....</b>	<b>3</b>
<b>4 PRISE EN COMPTE D' ACTIONS DE L'EAU ET D' ACTIONS DE LA STRUCTURE .....</b>	<b>4</b>

Le Président de la CNJOG

*Signé*

J.P. VOLCKE

IFSTTAR – 14-20 Bvd Newton Cité Descartes, Champs sur Marne F-77447 Marne La Vallée Cedex 2



**BUREAU DE NORMALISATION DES TRANSPORTS, DES ROUTES ET DE  
LEURS AMENAGEMENTS**

(Bureau de normalisation sectoriel agréé par décision du délégué interministériel aux normes du 21 février 2012)

## 1 Principes

La justification des pieux en traction, isolés ou en groupe, s'appuie sur les mêmes principes que les pieux en compression. Elle est réalisée pour les ELU et les ELS. Dans les deux cas, le principe est le même : il s'agit d'identifier une charge limite et d'appliquer des coefficients partiels selon l'état limite considéré.

Note : A l'ELS, cette pratique est conventionnelle et ne rend pas compte des mécanismes réel de déformation incluant des effets de fluage et de l'interaction entre le pieu et la structure portée.

## 2 Pieu isolé

Pour un pieu isolé en traction, la résistance limite en traction est généralement calculée en considérant que le mécanisme de rupture se développe à l'interface sol-pieu. Le calcul de la résistance limite en traction est effectué habituellement selon les annexes F et G mettant en œuvre respectivement des données pressiométriques et pénétrométriques.

Dans certaines configurations, en particulier selon les propriétés des terrains et la géométrie des pieux (Note 1 de la clause 10.2.1(1)), un mécanisme de rupture dans le terrain peut se développer, il est en général appelé « mécanisme de cône ». La résistance limite en traction  $R_t$  dans un sol homogène est alors obtenue à partir de la relation suivante dérivée du calcul à la rupture :

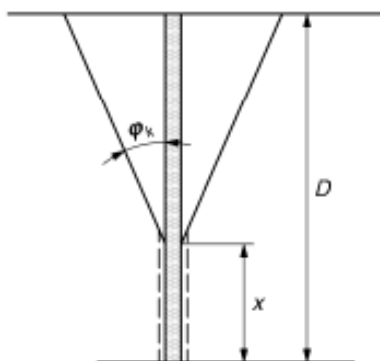
$$R_s = \min_x \left( \pi B q_s x + \gamma' \pi \frac{(D-x)^3}{3} \tan(\varphi_k)^2 + \pi (D-x)^2 c_k \tan(\varphi_k) \right)$$

où  $c_k$  et  $\varphi_k$  représentent les valeurs représentatives (caractéristiques) de cohésion et d'angle de frottement. Il est conseillé d'appliquer cette relation dans le cadre de la procédure du « modèle de terrain ».

Le développement d'un « mécanisme de cône » suppose que la résistance de l'interface sol-pieu soit extrêmement importante de manière à ce que les mécanismes ne se développent pas à l'interface sol-pieu mais dans la masse du terrain qui est accrochée au pieu.

Pour les justifications de type GEO/STR ; les valeurs  $R_{t;k}$ ,  $R_{t;d}$  d'une part,  $R_{t;cr;k}$  et  $R_{t;cr;d}$  d'autre part sont obtenues à partir des relations suivantes :

- $R_{t;k} = R_{s;k} = \frac{R_s}{\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2}}$  avec  $\gamma_{R;d1}$  et  $\gamma_{R;d2}$  tels que définis dans les annexes F et G ;
- $R_{t;d} = R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_{s;t}}$  avec  $\gamma_{s;t}=1.15$  à l'ELU fondamental et à l'ELU sismique et  $\gamma_{s;t}=1.05$  à l'ELU accidentel ;
- $R_{t;serv;k} = R_{s;serv;k} = 0.7 R_{s;k}$  ; (résistance à la traction conventionnelle en service)
- $R_{t;serv;d} = R_{s;serv;d} = \frac{R_{s;serv;k}}{\gamma_{s;cr}}$  avec  $\gamma_{s;cr}=1.5$  à l'ELS quasi-permanent et  $\gamma_{s;cr}=1.1$  à l'ELS caractéristique.



Légende : x : longueur sur laquelle le frottement axial de la fondation profonde peut être considéré

Figure 1. Mécanisme de rupture d'un pieu isolé soumis à un effort de traction

Les grandeurs  $R_{t;serv;d}$  et  $R_{t;serv;k}$  se distinguent des valeurs  $R_{t;cr;d}$  et  $R_{t;cr;k}$  qui sont calculées en ignorant le mécanisme de cône susceptible de se développer.

### 3 Groupes de pieux

Pour les groupes de pieux, les justifications sont plus complexes à mener puisqu'elles concernent des justifications à la fois de type GEO/STR et de type UPL.

Pour les justifications de type UPL, le mécanisme de rupture envisagé est de type bloc. Cette prescription est imposée par l'Eurocode 7-1. Il est à noter que ce mécanisme n'est pas forcément le plus défavorable. La résistance du groupe de pieux est calculée en considérant les propriétés de résistance à l'interface entre le bloc considéré et le sol encaissant.

Pour les justifications de type GEO/STR, c'est le mécanisme le plus défavorable qui doit être identifié. Il conduit à identifier la résistance limite d'un pieu au sein d'un réseau.

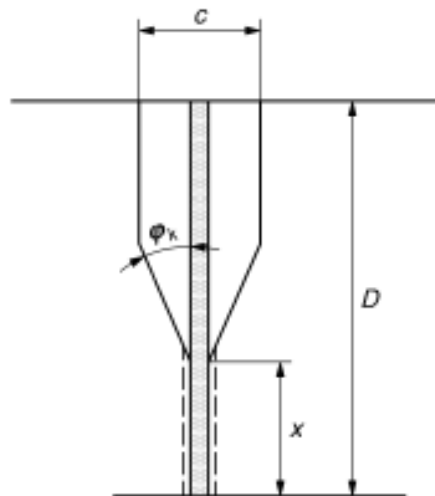
S'il n'y a pas interférence entre pieux voisins, cette valeur est déterminée à partir de la formule utilisée pour le pieu isolé :

$$R_{t/s,isolé} = \min_x \left( \pi B q_s x + \gamma' \pi \frac{(D-x)^3}{3} \tan(\varphi_k)^2 + \pi (D-x)^2 c_k \tan(\varphi_k) \right)$$

Lorsque les mécanismes de rupture entre des pieux voisins interfèrent, il est nécessaire de corriger cette équation selon des principes inspirés de la figure 3 où la valeur de  $R_{t/s,voisins}$  varie en fonction de la distance  $c$  moyenne entre les pieux du groupe. Il est possible de définir :

$$R_{pieu,réseau} = \min(R_{t/s,isolé}; R_{t/s,voisins})$$

Le calcul de  $R_{t/s,voisins}$  peut s'inspirer des méthodes présentées dans les recommandations TA95 ou de l'article de P.Vezole (Revue Française de Géotechnique, n°98, p47-62).



Légende :  $x$  : longueur sur laquelle le frottement axial de la fondation profonde peut être considéré –  $c$  : longueur de la maille du réseau de fondations profondes

Figure 2. Mécanisme de rupture d'un pieu au sein d'un groupe soumis à un effort de traction

La résistance du groupe de pieu est la somme des résistances de chaque pieu en tenant compte des conditions aux limites imposées par la géométrie du groupe. De manière simplifiée, si le groupe est constitué de  $n$  pieux, on peut considérer en première approche que :

$$R_{s;gr} = n R_{pieu,réseau}$$

Les valeurs  $R_{t;gr;d}$  d'une part, et  $R_{t;gr;cr;d}$  d'autre part, sont obtenues à partir des relations suivantes :

$$R_{s;gr;d} = \frac{R_{s;gr}}{\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2} \gamma_{s;t}} ;$$

$$R_{s;gr;d} = \frac{R_{s;gr}}{\gamma_{R;d1}\gamma_{R;d2}\gamma_{s;cr}}$$

En présence d'un chevêtre et d'autres structures situés au dessus de la liaison coiffant les différents pieux, il est possible de considérer (selon la figure 10.3.1) d'autres termes  $R_{s;ch}$  et  $R_{s;mas}$  définis par (des corrections sont introduites par rapport à la norme) :

$$R_{s;ch} = 2(L_{gr} + l_{gr}) \int \beta \sigma'_v dz$$

$$R_{s;mas} = 2(L_{gr} + l_{gr}) \int \beta \sigma'_v dz$$

et  $\beta = (1 - \sin(\varphi_k)) \tan\left(\frac{2\varphi_k}{3}\right)$  ou  $\beta = (1 - \sin(\varphi_k)) \tan(\varphi_k)$

On peut définir la résistance totale  $R_{s;t}$  du système de fondation :

$$R_{s;t} = R_{s;gr} + R_{s;ch} + R_{s;mas} \text{ et}$$

$$R_{s;t;d} = R_{s;gr;d} + R_{s;ch;d} + R_{s;mas;d} = \frac{1}{\gamma_{R;d1}\gamma_{R;d2}\gamma_{s;cr}} (R_{s;gr} + R_{s;ch} + R_{s;mas})$$

#### **4 Prise en compte d'actions de l'eau et d'actions de la structure**

Pour les vérifications GEO/STR, à l'ELU, pour les situations durables et transitoires, la norme NF P 94-262 prévoit deux situations : l'une où les actions de traction provenant de la structure sont prépondérantes et l'autre où ce sont les pressions interstitielles qui le sont. Une seule situation peut en fait être considérée et l'expression plus générale suivante est à adopter :

$$1,35G_{dst;k} + 1,5F_{t;k} + \max\left(1,35(V_{dst;k} - G_{stb;k}); V_{dst;k} - G_{stb;k}\right) \leq R_{s;t;d}$$

( $V_{dst;k}$  est obtenu à partir du niveau EH)

A l'ELU, pour les situations accidentelles, deux expressions peuvent être utilisées :

$$G_{dst;k} + A_d + (V_{dst;k} - G_{stb;k}) \leq R_{s;t;d}$$

$$G_{dst;k} + F_{t;k} + (A_d - G_{stb;k}) \leq R_{s;t;d}$$

( $A_d$  n'est pas pondérée et correspond à l'action induite par le niveau EE)