

Les nouvelles normes en géotechnique

L'interface avec le BET Structure

Olivier Pal
BE Géotechnique / EIFFAGE ECGD



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Quelques aspects de l'interface entre le géotechnicien et le BET structure à travers les nouvelles normes**
 - Valeurs de calcul et valeurs caractéristiques;
 - Analyse dynamique: lien entre la structure et les fondations;
 - La norme écran;
 - La norme fondations superficielles.



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Valeurs de calcul et valeurs caractéristiques**

- EC7, partie 1, § 2.4.5.2, « **Valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques** »: Si on utilise des méthodes statistiques, il convient que la valeur caractéristique soit déterminée de façon à ce que la probabilité calculée d'une valeur plus défavorable qui gouverne l'occurrence de l'état limité étudié ne dépasse pas 5%.
- De ce point de vue, **une estimation prudente de la valeur moyenne** consiste à choisir la valeur moyenne d'un ensemble de paramètres géotechniques avec un niveau de confiance de 95%; par rapport à une rupture locale, une estimation prudente de la valeur la plus faible est un fractile à 5%.

Mais que signifie ce choix en pratique ?

Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Valeurs de calcul et valeurs caractéristiques**

Les valeurs de calcul des propriétés des terrains x_d sont évaluées au moyen de la relation:

$$x_d = \frac{x_k}{\gamma_m}$$

La valeur caractéristique x_k des propriétés du terrain est une estimation "prudente".

Sa détermination doit s'appuyer sur les valeurs mesurées et les *valeurs dérivées* des essais en place et en laboratoire, complétées par les enseignements de l'expérience

Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Valeurs de calcul et valeurs caractéristiques**

La *valeur dérivée* est la valeur d'un paramètre géotechnique déduite d'un résultat d'essai par analyse théorique, corrélation ou de façon empirique



C'est, en principe, la valeur que devrait donner un rapport géotechnique !

Par exemple, pour obtenir la valeur dérivée de la cohésion non drainé C_u , il convient de corriger la valeur mesurée en laboratoire ou en place d'un facteur fondé sur l'expérience locale et qui dépend entre autre de:

$$W_L, I_p, \sigma_v$$



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Illusion de l'analyse statistique en géotechnique**

- La plupart des nouvelles normes, dont l'Eurocode 7, demandent d'utiliser, pour la valeur caractéristique du terrain, une estimation prudente de la valeur moyenne donnée par la valeur moyenne du paramètre géotechnique avec un niveau de confiance de 95%.
- Cela signifie par exemple que l'angle de frottement effectif moyen de la couche de sol qui sollicite un ouvrage doit être compris dans l'intervalle: $[(\bar{\varphi} - q_{95\%}); (\bar{\varphi} + q_{95\%})]$.
- Le seuil de confiance se calcul au moyen d'un coefficient **t** provenant d'une distribution statistique standard et fonction du nombre d'essais et du niveau de confiance choisi.



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Illusion de l'analyse statistique en géotechnique**

Celles de Student ou de Gauss sont le plus souvent utilisées.

Avec la relation de Student, on obtient la relation suivante:

$$q_{95\%} = \frac{t_{95\%}}{\sqrt{n}} \times \frac{V}{100} \times \bar{x}$$

$q_{95\%}$: Seuil de confiance pour une probabilité de 95%

$t_{95\%}$: Coefficient de la distribution de Student

n : nombre d'essai

\bar{x} : moyenne des valeurs

V : Coefficient de variation

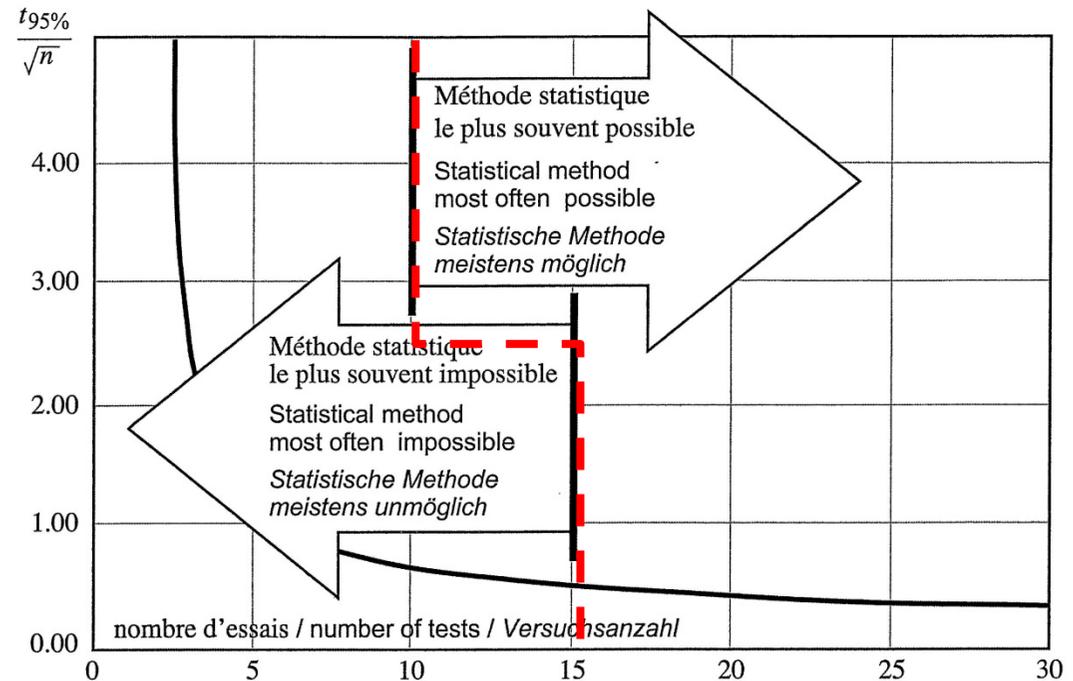
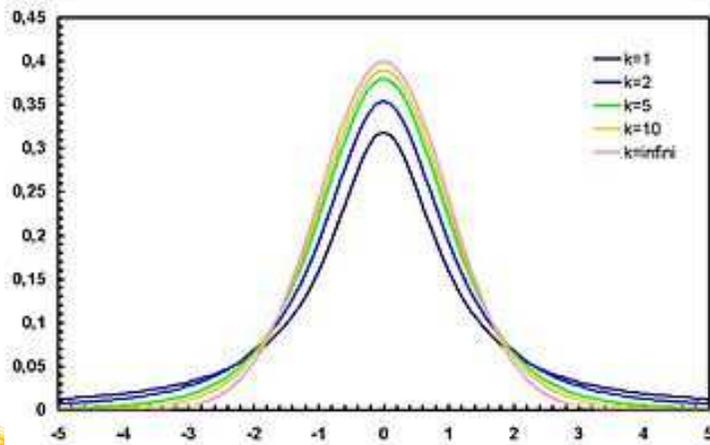


Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Illusion de l'analyse statistique en géotechnique**

L'examen du domaine de variation du facteur $t_{95\%}/\bar{x}$ est très important car il permet de diviser la relation en deux zones dont la limite se trouve approximativement entre 10 et 15 essais



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Illusion de l'analyse statistique en géotechnique**

- En deçà de cette limite approximative, l'analyse statistique est le plus souvent pratiquement impossible.
- Le nombre d'essais, (10 à 15), qu'il faudrait réaliser sur une même couche de sol est le plus souvent irréaliste.
- La détermination d'une valeur caractéristique des propriétés du terrain x_k , au moyen d'une analyse statistique basée sur des intervalles de confiance, n'est que très rarement possible en géotechnique !
- Le degré de confiance que l'on peut avoir pour presque toutes les valeurs caractéristiques tirées d'une étude géotechnique est très faible, à savoir beaucoup plus faible que celui demandé...



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Illusion de l'analyse statistique en géotechnique**

- En droit français, **le géotechnicien a une obligation de moyens pour justifier de la représentativité des hypothèses qu'il avance dans la conception d'un projet.**
- On doit s'interroger sur les attentes des Eurocodes / responsabilité et / à notre obligation de moyens et les contraintes financières d'un MOE ou MOA.
- Que représente une valeur caractéristique que nous transmettons à un BE Structure ?



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

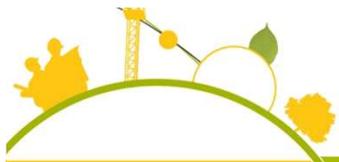
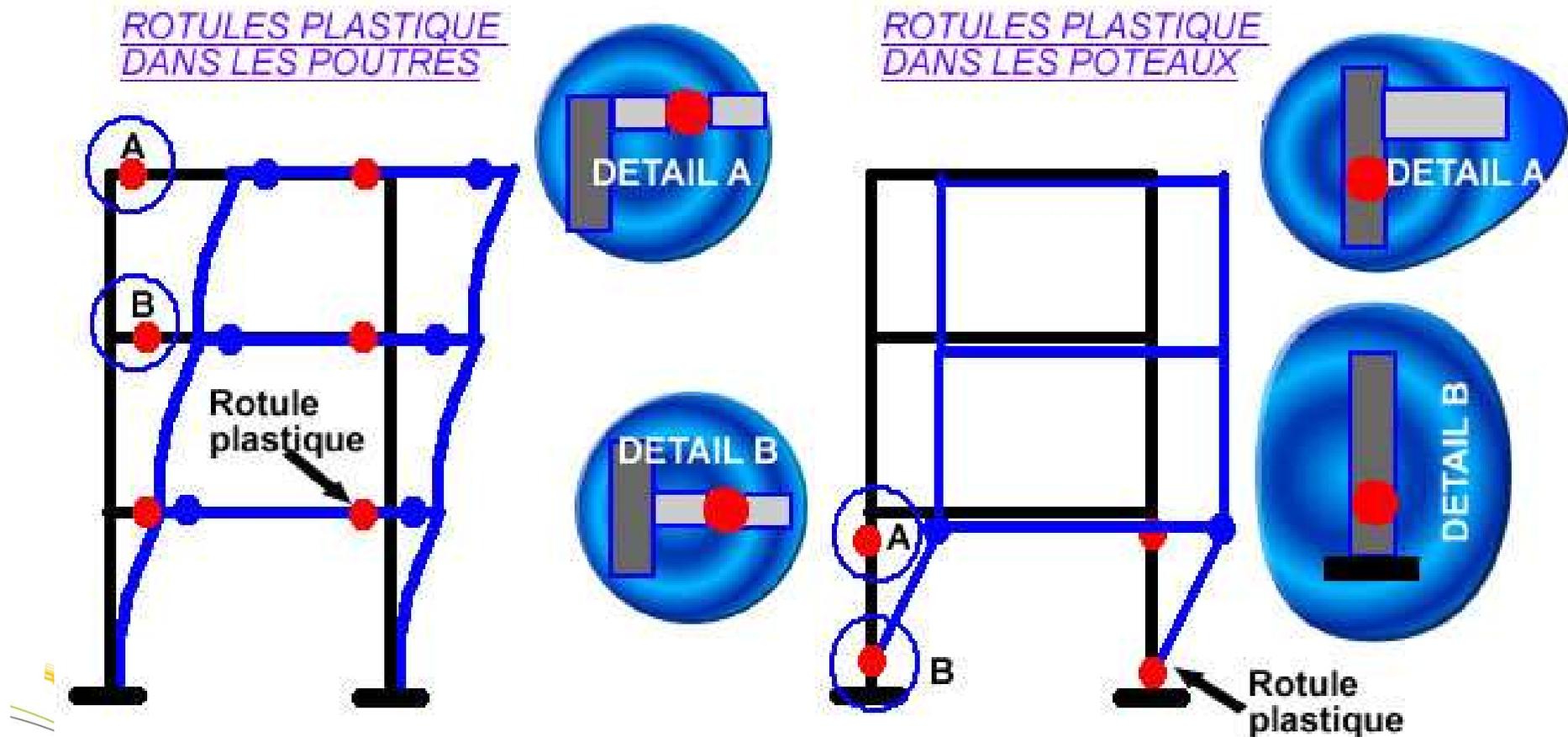
- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**
 - Il est noté que **le dimensionnement en capacité** est accepté comme **une méthode standard de dimensionnement pour la superstructure** et qu'elle peut être mise en œuvre pour le dimensionnement des fondations.
 - Le principe de base est que l'ordre séquentiel de formation des mécanismes plastiques doit être déterminé et que les résistances relatives de la superstructure, des fondations et du sol doivent être proportionnées en conséquence.



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**
 - La situation la plus directe est celle pour laquelle les résistances des fondations et du sol support sont suffisantes pour supporter les actions correspondant au mécanisme plastique ductile choisi pour la superstructure.
 - Dans ce cas, les fondations sont supposées conserver un comportement élastique (cad non dissipatives) et des dispositions constructives ductiles ne sont pas requises pour les fondations.



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**
 - La résistance sismique de fondations non dissipatives est évaluée de la façon suivante. La demande sismique dépend du parti structurel choisi pour la structure comme indiqué dans l'EC8, Partie 5.4, Clause 5.3.1:
 - Pour les structures non dissipatives les effets des actions sur les fondations doivent être obtenues à partir de l'analyse sans prise en compte de considération de dimensionnement en capacité.



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**
 - La résistance sismique de fondations non dissipatives est évaluée de la façon suivante. La demande sismique dépend du parti structurel choisi pour la structure comme indiqué dans l'EC8, Partie 5.4, Clause 5.3.1:
 - Pour les structures dimensionnées pour dissiper de l'énergie pendant le séisme, les effets des actions sur les fondations, E_{Fd} , doivent être obtenus à partir de considérations de dimensionnement en capacité, tenant compte d'une possible sur-résistance; cependant il n'est pas nécessaire qu'ils soient supérieurs aux effets des actions correspondant à un comportement élastique de la structure ($q = 1$).



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul sismique, prise en compte du coefficient « q »**
 - De façon simplifiée, pour les types usuels de fondations tels que les semelles filantes et les radiers, supportant plus d'un élément vertical, les effets des actions peuvent être calculés à l'aide de la relation suivante:

$$E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{RD} \times E_{FE}$$

- Des méthodes plus précises sont acceptables, par exemple en établissant les effets sur la fondation des actions résultant du dimensionnement en capacité à partir d'une analyse statique non linéaire (Méthode dite du « Push Over »).



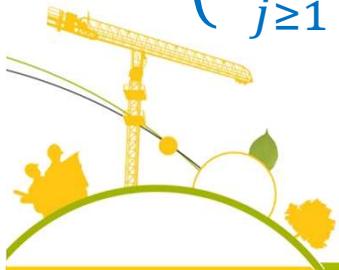
Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des écrans de soutènement: NF P 94 282**

- Selon l'Eurocode 0, § 6.4.3.2, la combinaison d'action à considérer pour les situations de projet durables ou transitoires (combinaisons fondamentales) sont définies pour les états limites STR et GEO par la plus défavorable des deux expressions suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \zeta_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right.$$



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des écrans de soutènement: NF P 94 282**

- Selon la norme NF P 94-282, § 7.3.2, la vérification des états limites ultimes GEO ou STR dans les situations de projet durables ou transitoires sont définies par les combinaison d'actions suivantes:

- Lorsqu'on applique les facteurs partiels aux actions

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

- Lorsqu'on applique les facteurs partiels à l'effet des actions

$$E_d = \gamma_{Gj,sup} E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} + \sum_{j \geq 1} \frac{\gamma_{Gj,inf}}{\gamma_{Gj,sup}} + \frac{\gamma_{Q,1}}{\gamma_{Gj,sup}} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \frac{\gamma_{Q,i}}{\gamma_{Gj,sup}} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des écrans de soutènement: NF P 94 282**
 - On notera que la norme NF P 94-282 élimine une des situations proposées par la norme NF P 06-100 (Eurocode 0);
 - Que les pondérations proposées peuvent parfois différer de règlements spécifiques comme les IN (SNCF);
 - Que le design d'un écran par une méthode MISS s'appuie sur **une pondération des effets des actions** sans qu'il soit avéré dans tous les cas de figure **qu'une pondération de actions ne conduise pas à un design plus défavorable...**



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des fondations superficielles: NF P 94 261**

- La justification d'une fondation superficielle passe par la vérification de l'inégalité:

$$V_d \leq R_d$$

- Exprimée en force [kN] et non plus en contrainte [kPa].
 - V_d est la valeur de calcul de la charge verticale transmise par la fondation superficielle
 - R_d est la valeur de calcul de la résistance ultime du terrain



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des fondations superficielles: NF P 94 261**

- Nota 1: Lorsque la réalisation du projet peut être facilitée, il est loisible de présenter les résultats de l'inégalité précédente en termes de contraintes... et conformément à l'EC7 partie 1:
§6.3.3: Lorsque la rigidité de la structure est importante, il convient d'analyser l'interaction de la structure et du terrain afin de déterminer la distribution des action.
- Force ou contrainte ? Interaction sol-structure ou pas ?



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des fondations superficielles: NF P 94 261**
 - Justification des états limites
 - Instabilité d'ensemble; **OK**
 - Défaut de capacité portante, rupture par poinçonnement; **OK**
 - Rupture par glissement; **OK**
 - **Rupture combinée dans le terrain et la structure ???**
 - **Rupture de la fondation du fait des mouvements de la fondation ???**
 - Tassement excessifs; **OK**
 - Soulèvement excessif sous l'effet du gonflement du sol, du gel ou d'autres causes; **OK**
 - Vibrations inadmissibles: **Evaluation des modes propres respectifs ???**



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Calcul des fondations superficielles: NF P 94 261**

- Lors de la vérification de l'inégalité précédente, le poids du terrain au dessus du niveau de la fondation avant travaux doit être retranché de la valeur de la charge verticale réellement transmise par la fondation au terrain, en le considérant comme une action favorable (en appliquant à cette action un facteur partiel de 1). Toutefois conformément aux pratiques habituelles, le poids des terrains au dessus de la semelle est pris en compte dans l'estimation de la valeur de la résistance du terrain.

- **Attention aux conditions réelles de terrassement et de remblaiement.**

- **Ne s'applique pas systématiquement aux sols renforcés !**



Les nouvelles normes en géotechnique...

Ou du langage des signes entre la géotechnique et les structures...

- **Conclusions**

- Fiabilité des paramètres d'entrées et cohérence de la gestion du risque
- Cohérence des combinaisons et des coefficients partiels entre Eurocodes
- Le géotechnicien doit désormais davantage s'impliquer dans le calcul des structures pour être en mesure d'apporter une solution adaptée tant du point de vue de la résistance que des tassements.

**C'est le comportement de l'ensemble
qui doit être pris en compte !**

