

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.

Variabilité des propriétés des sols et dimensionnement des ouvrages

Variability of soil properties and design of geotechnical structures

J.-P.MAGNAN, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

RESUME La variabilité des propriétés des sols dans l'espace limite beaucoup les incertitudes sur les résultats des calculs de dimensionnement des ouvrages en géotechnique. On montre sur des exemples de calculs de déformations et de consolidation que la prise en compte des lois de distribution réelles des propriétés des sols permet d'obtenir des incertitudes dont l'ordre de grandeur est conforme à l'expérience des ingénieurs.

ABSTRACT The spatial variability of the properties of soils limits to low values the uncertainties on the results of the design of geotechnical structures. This paper presents cases of deformation or consolidation analyses which show that, when taking the actual distributions of soil properties into account, the order of magnitude of the estimated uncertainties is very close to that deduced from the common experience of engineers.

INTRODUCTION

Il est frappant de constater que les nombreuses tentatives de calcul de probabilités faites sur la base des méthodes de calcul classiques de la mécanique des sols ont pour la plupart abouti à des incertitudes très élevées. Dans le cas des calculs de stabilité, ces analyses ont conduit certains auteurs à envisager de faire des analyses probabilistes avec des probabilités de rupture conventionnelles élevées (par exemple, 10%). Ces suggestions n'ont pas été acceptées dans la pratique, sans doute à cause de l'effet psychologique déplorable de telles hypothèses de calcul.

On peut aussi considérer ces expériences comme la preuve que l'hypothèse d'un massif homogène, doté de caractéristiques mécaniques dont la loi de probabilité est la distribution des valeurs mesurées des paramètres, n'est pas conforme à la réalité des sols et du fonctionnement mécanique des ouvrages.

On imagine facilement que les valeurs des paramètres mécaniques des sols mesurées en différents points d'un massif ne puissent pas être assimilées à une valeur unique avec des erreurs de mesure : l'expérience des ingénieurs est que les sols sont variables d'un point à l'autre et que, sous réserve bien sûr des erreurs de mesure, ces valeurs sont toutes présentes dans le sol, avec une distribution voisine de celle estimée lors de la reconnaissance.

Chaque ouvrage sollicite un certain volume de sol : son comportement est contrôlé par les valeurs des propriétés du sol dans ce volume. Si les paramètres du sol sont très peu liés d'un point à un autre, c'est à dire si l'autocorrélation des propriétés du sol n'a qu'une portée faible par rapport aux dimensions du massif de sol concerné par l'ouvrage, l'incertitude sur la valeur moyenne "efficace" des paramètres de calcul sera très faible, même si leur variabilité

est grande. Dans un tel cas, il est clair que l'incertitude sur le comportement calculé de l'ouvrage doit être très faible et plus liée à l'incertitude sur la loi de distribution estimée qu'à la variance des valeurs mesurées des paramètres mécaniques du sol. Par contre, si les dimensions de l'ouvrage sont petites par rapport à la distance d'autocorrélation des propriétés mécaniques du sol (ou à la portée du variogramme, si l'on utilise les techniques de la géostatistique), la variabilité des valeurs moyennes "efficaces" de ces paramètres restera élevée, et à la limite voisine de la variabilité des valeurs mesurées lors de la reconnaissance.

Ces quelques considérations générales constituent le cadre dans lequel les recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées se sont déroulées, au cours des dernières années. On a cherché à vérifier quantitativement la validité des idées développées ci-dessus, en traitant successivement plusieurs problèmes classiques de la mécanique des sols : déformations d'un massif élastique linéaire isotrope, analysé par la méthode de Monte Carlo et au moyen d'un programme de calcul par éléments finis stochastique, consolidation d'un massif de sol fin, traité en éléments finis par la méthode de Monte Carlo. Une étude de capacité portante de fondation superficielle, réalisée en parallèle à l'Ecole Centrale de Paris, a enrichi les conclusions de ces études.

PRINCIPES COMMUNS AUX ETUDES DE VARIABILITE

Les travaux réalisés jusqu'à présent dans le cadre des recherches sur l'influence de la structure spatiale des propriétés physiques et mécaniques des sols sur le comportement probabiliste des ouvrages ont porté sur des structures de variation uni- et bidimensionnelles (figure 1). Trois cas ont été envisagés : massif homogène, stratifié et "en barres".

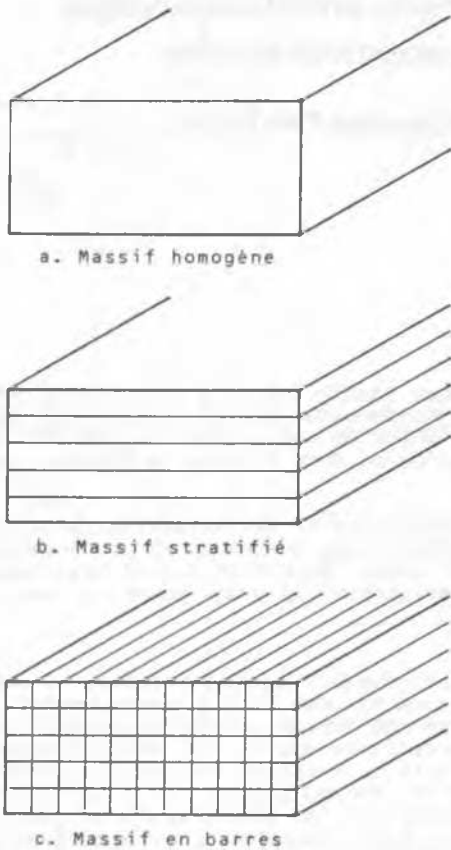


Figure 1 Types de variabilité spatiale

On s'est limité à des lois de variations du second ordre, définies par une valeur moyenne, un écart type et une fonction d'autocorrélation.

CALCULS DE DEFORMATIONS ELASTIQUES

Le programme de calcul PROBEF (calcul par la méthode des éléments finis stochastiques, LCPC) a été utilisé, en parallèle avec la méthode de Monte Carlo, pour évaluer l'effet de la distance d'autocorrélation, comparée aux dimensions d'une fondation superficielle, sur la variance des résultats des calculs de déformations d'un massif élastique linéaire isotrope. La figure 2 montre l'un des maillages utilisés (Boulefkhad, 1986). On a pu vérifier que, plus la distance d'autocorrélation est petite par rapport aux dimensions de la zone chargée, plus l'incertitude sur les résultats des calculs est faible. Par exemple, pour une loi de variation linéaire du module d'Young avec la profondeur

$$E(y) = 0,0633 y + 3,511 \text{ (MPa, m)},$$

avec

$$CV[E] = 0,3$$

on montre que, pour une couche homogène isotrope, le coefficient de variation du tassement du sol sur l'axe de la semelle vaut approximativement 0,27, tandis que, lorsque l'autocorrélation est faible, on obtient un coefficient de variation beaucoup plus faible (0,06).

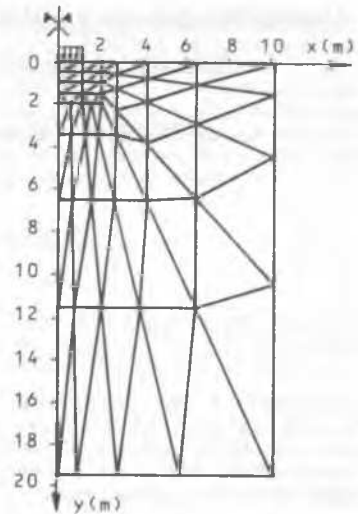


Figure 2 Maillage de calcul en éléments finis

AUTRES CALCULS

Genevois (1984) a analysé par la méthode des éléments finis la capacité portante d'une fondation superficielle sur sol élastoplastique. Il a montré que le coefficient de variation du facteur de capacité portante N_f est cent fois plus petit quand on tient compte de la variabilité des sols sous la semelle que quand on suppose que le sol est homogène, avec une variabilité égale à celle des valeurs mesurées de l'angle de frottement interne (coefficient de variation de 15%).

Bouheraoua (1988) a étudié par la méthode de Monte Carlo, avec le programme de calcul par éléments finis ROSALIE-Groupe 9 du LCPC, l'effet de la variabilité des coefficients de consolidation sur les tassements et pressions interstitielles dans un massif de sol. Il a montré que le coefficient de variation maximal des tassements calculés est divisé par 10 quand on passe du modèle homogène au modèle "en barres".

CONCLUSION

Les trois études citées montrent que la variabilité spatiale des sols devrait toujours être prise en compte dans les calculs probabilistes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bouheraoua A. (1988) Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie, Paris.

Boulefkhad T. (1986) Influence de la variabilité des propriétés des sols sur le calcul du tassement des fondations superficielles. Thèse de docteur-ingénieur, Université de Clermont 2.

Genevois B. (1984) Rôle de la variabilité spatiale des paramètres de sol sur la capacité portante des fondations superficielles. Thèse de docteur-ingénieur, Ecole Centrale de Paris.