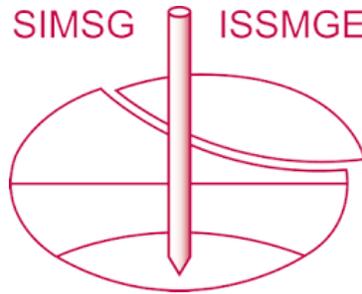


INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



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.



INFLUENCE DU PRELEVEMENT SUR LE COMPORTEMENT DES ARGILES

INFLUENCE OF SAMPLING ON THE BEHAVIOUR OF CLAYS

Jean-Pierre Magnan¹ Mohamed Khemissa² Henri Josseume³

¹Directeur Technique, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), Paris, France

²Chercheur, LCPC, Paris, France

³Ingénieur, Attaché de Recherches, LCPC, Paris, France

Résumé : Les résultats des essais triaxiaux et oedométriques effectués sur deux argiles molles françaises (Sites de Cubzac et de Guiche) sont analysés pour déterminer l'influence du mode de prélèvement des carottes d'argile sur les résultats des essais de laboratoire. Les courbes d'état limite expérimentales et les valeurs des modules déduits des essais sont reliées aux conditions de prélèvement (diamètre du carottier à piston stationnaire et profondeur de prélèvement). L'analyse montre que la forme des courbes d'état limite n'est pas sensiblement modifiée quand le diamètre du carottier passe de 80mm à 200mm. Toutefois, les modules de déformabilité et les valeurs de la pression de consolidation et de la résistance au cisaillement augmentent avec le diamètre du carottier. Pour les argiles non sensibles testées, la perturbation due au prélèvement semble secondaire pour le calcul des ouvrages, si l'on peut déterminer la valeur réelle de la pression de préconsolidation dans le sol intact.

INTRODUCTION

Lorsque l'on exécute des programmes complexes d'essais de laboratoire sur des sols prélevés en place, on obtient en général des lois de comportement qui ont l'allure habituelle des lois de comportement des sols argileux intacts, avec cette particularité que les pressions de préconsolidation, qui servent à normaliser l'ensemble des résultats, sont parfois un peu faibles, sinon très (trop) faibles. On a rencontré une telle situation pour la plupart des argiles testées au cours des dix dernières années dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées : argiles molles de Cubzac et de Guiche, argiles raides des Flandres et de la région parisienne (argile verte). L'analyse des données publiées sur d'autres argiles donne également l'impression que les sols testés n'étaient peut-être pas aussi intacts qu'il aurait été souhaitable.

Face à cette situation, assez inquiétante a priori, il est indispensable de savoir si les sols testés en laboratoire sont encore représentatifs des sols réels ou s'ils sont devenus des matériaux différents. Dans l'hypothèse la plus optimiste, les sols conservent toutes leurs propriétés sauf leur pression de préconsolidation. Dans ce cas, il suffit d'évaluer par tout moyen la valeur vraie de la pression de préconsolidation et de multiplier les comportements adimensionnels déduits des essais par cette vraie valeur de la pression de préconsolidation. Dans le cas le plus défavorable, par contre, seule une partie des lois de comportement est conservée et il est important de savoir les paramètres qui ne sont plus représentatifs.

La présente communication présente les conclusions que l'on peut tirer des données disponibles dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées, où des carottiers différents ont été utilisés sur certains sites, mais avec une grande homogénéité de manipulation des carottes et des éprouvettes à l'intérieur du laboratoire d'essai.

L'analyse porte principalement sur deux argiles molles, prélevées sur deux sites expérimentaux où plusieurs remblais ont été édifiés et pour lesquels des études numériques détaillées ont permis de caler les valeurs probables des paramètres des sols (site de Cubzac-les-Ponts et site de Guiche).

Les données disponibles sont d'abord passées en revue, puis la méthode d'analyse est présentée, les données expérimentales sont analysées et les conclusions pratiques en sont présentées. L'essentiel du travail a été effectué sur l'argile de Cubzac, qui est de loin la plus étudiée.

LES DONNEES EXPERIMENTALES

Site expérimental de Cubzac-les-Ponts

Les premières études expérimentales sur le site de Cubzac-les-Ponts datent de 1972. Elles ont porté sur les caractéristiques générales d'un terrain d'environ 4 hectares, situé en bordure de la Dordogne, rivière dont la vallée est comblée de sédiments d'environ 5000 ans d'âge. Par la suite, des reconnaissances géotechniques détaillées, comportant des essais en place et en laboratoire, ont été effectuées à l'emplacement des quatre remblais expérimentaux construits en 1974, 1975, 1978 et 1981. Les données intéressantes l'objet de la présente étude proviennent de sondages avec prélèvement d'échantillons au carottier à piston stationnaire, effectués à plusieurs époques avec des carottiers de diamètres différents (Fig. 1). Les résultats détaillés de ces études peuvent être trouvés dans les rapports de recherche de Vogien (1975), Magnan et al. (1983), Shahanguian (1980), Piyal et Magnan (1983a,b), Haghgo (1983) et Kenana et Félix (1989).

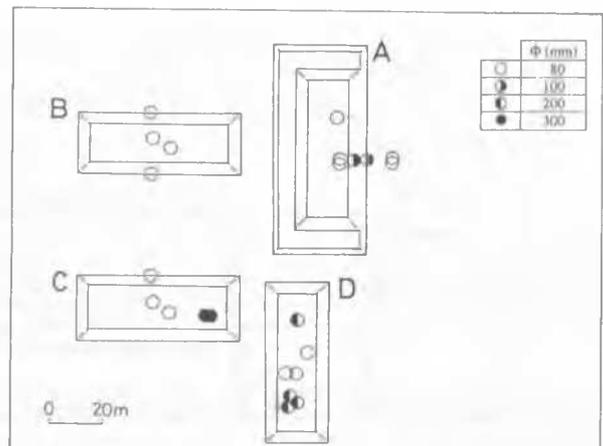


Figure 1 Emplacement des sondages carottés (site de Cubzac-les-Ponts).

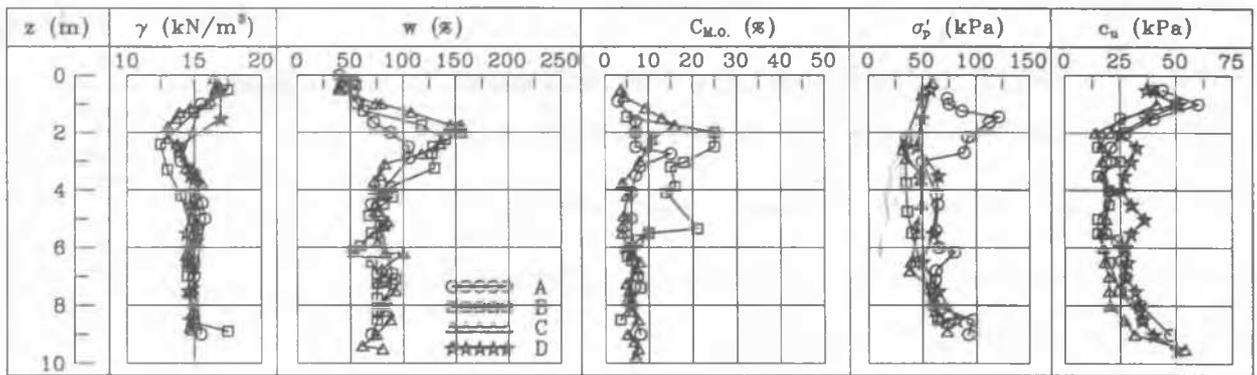


Figure 2 Propriétés moyennes des sols argileux sous les quatre remblais expérimentaux de Cubzac-les-Ponts.

Les propriétés moyennes des sols argileux sous les différents remblais expérimentaux sont comparées sur la figure 2. On observe des variations significatives de la nature des sols et de leur résistance quand on passe d'un remblai à l'autre, ce qui n'est pas sans conséquences sur la fiabilité des conclusions que l'on peut tirer des comparaisons faites entre tous les essais. Il se trouve en effet que les prélèvements d'échantillons intacts effectués au carottier à piston stationnaire de 200mm de diamètre (carottier de l'Université Laval, La Rochelle et al., 1981) ont été effectués assez tardivement et sont concentrés sous le remblai D, édifié en 1981. Les études détaillées qui peuvent servir de base expérimentale à l'analyse de l'influence des conditions de prélèvement portent pour cette raison sur des sols prélevés à quelques mètres (sous le remblai D), sinon dizaines de mètres de distance (comparaisons entre les remblais C et D), ce qui relativise certaines des conclusions que l'on voudrait tirer sur la base d'un examen rapide des résultats et oblige à prendre des précautions dans la formulation de ces conclusions.

Site expérimental de Guiche

Les études expérimentales réalisées sur le site de Guiche accompagnent la construction de six remblais expérimentaux : quatre pour la vérification du comportement de drains verticaux (Queyrol et al., 1991) et deux pour le test de l'effet de nappes de géotextile placées à la base des remblais sur leur stabilité à court et long terme (Quaresma, 1992). L'argile de Guiche a fait l'objet d'une étude rhéologique détaillée, exposée par Khemissa (1992), avec une partie des essais effectuée sur des éprouvettes taillées dans des carottes de 100mm de diamètre et les autres dans des carottes de 200mm de

diamètre. La position des sondages avec prélèvement d'échantillons intacts pour essais de laboratoire réalisés sur le site de Guiche est indiquée sur la figure 3. Les propriétés typiques de cette argile sont présentées sur la figure 4.

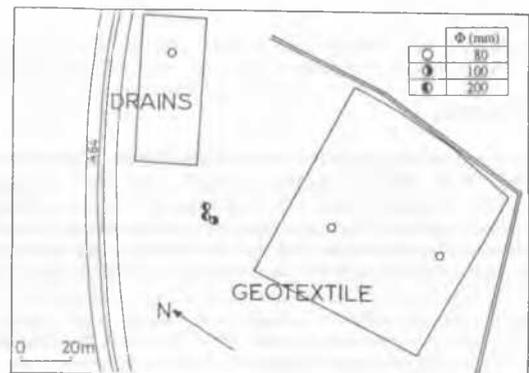


Figure 3 Positions des sondages carottés sur le site de Guiche.

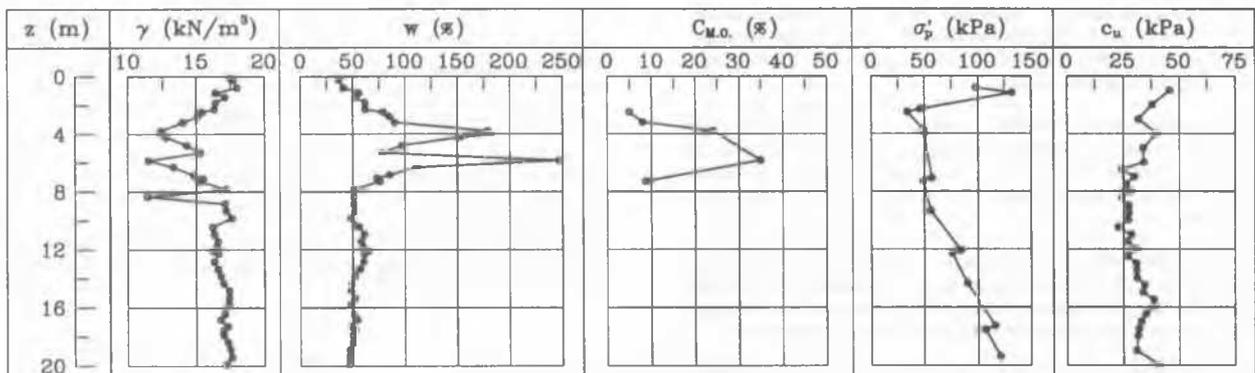


Figure 4 Principales propriétés des argiles molles du site expérimental de Guiche.

METHODE D'ANALYSE

Pour définir l'influence des conditions de prélèvement sans disposer d'essais sur des sols directement comparables (carottes voisines extraites avec des carottiers différents), nous avons rassemblé toutes les données directement comparables et cherché à éliminer celles dont la différence pouvait être justifiée par la variabilité naturelle des sols sur chaque site. Ce travail a été facilité sur le site de Cubzac par l'analyse statistique faite sur les caractéristiques oedométriques des sols de fondation du remblai D.

L'analyse a porté sur trois points :

- la forme de la courbe d'état limite déduite des essais de laboratoire, selon la méthode exposée par Leroueil et al. (1985) ;
- les valeurs des déformations à la rupture,
- les modules de déformations dans la phase précédant la rupture (domaine surconsolidé).

EFFETS DU PRELEVEMENT SUR L'ARGILE DE CUBZAC

Forme de la courbe d'état limite

Les courbes d'état limite déterminées sur l'argile de Cubzac à des profondeurs voisines sous les remblais C et D (Fig. 5) ont des allures voisines mais elles correspondent à des pressions de préconsolidation très différentes : presque deux fois plus pour la courbe du remblai D, déterminée à partir de carottes de 200mm de diamètre. Cette différence peut être due en partie au fait que l'état du sol n'est pas le même pour les deux sondages : indices des vides de l'ordre de 1,8 pour le remblai D, de l'ordre de 2,3 pour le remblai C à la même profondeur. Il a donc été nécessaire d'examiner les variations des pressions de consolidation sur le site, ce que l'on peut faire grossièrement en comparant les fuseaux de valeurs représentés sur la figure 2. Une autre démarche consiste à examiner les données relatives au remblai D seul, pour lequel des carottes de 80 et 200mm de diamètre ont été prélevées : on observe (Fig. 6) que les pressions de préconsolidation déterminées à l'oedomètre dans des sondages distants d'une dizaine de mètres sont plus élevées pour les éprouvettes taillées dans les carottes de 200mm, bien que la variabilité des valeurs trouvées pour ces carottes soit assez importante (tous les essais correspondants ont été faits par le même opérateur, dans les mêmes oedomètres, en appliquant le même mode opératoire). Il semble donc qu'il y ait bien une influence assez forte du mode de prélèvement sur les propriétés mécaniques des sols en laboratoire, mais que la loi de comportement de l'argile ne soit pas fondamentalement modifiée. Les tentatives faites par Piyal et Magnan (1983b) pour mettre en évidence un effet de déstructuration pour l'argile de Cubzac lors du dépassement de la courbe d'état limite n'avaient d'ailleurs pas montré de modification sensible de la courbe d'état limite dans les conditions d'essais, à la différence des résultats obtenus sur les argiles sensibles du Canada.

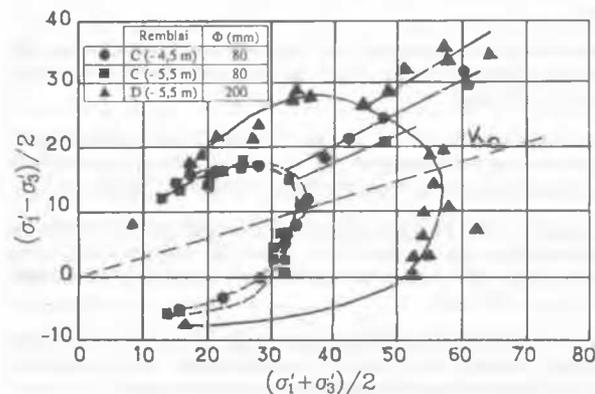


Figure 5 Courbes d'état limite de l'argile de Cubzac.

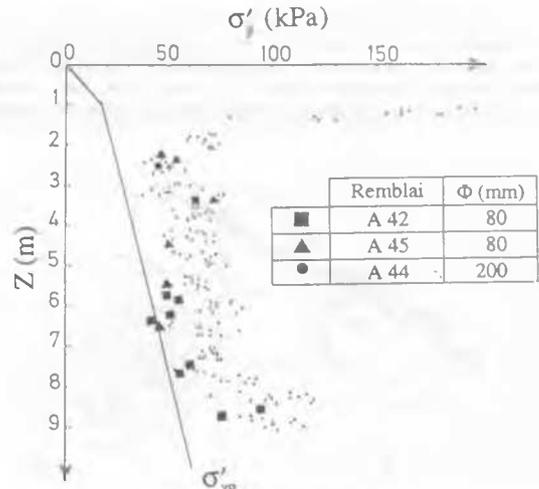


Figure 6 Distribution des pressions de consolidation oedométriques sous le remblai D du site expérimental de Cubzac-les-Ponts.

Déformations à la rupture

Une autre constatation systématique est que la déformation correspondant à la rupture dans les essais triaxiaux est toujours plus faible dans les essais sur éprouvettes taillées dans les carottes de 200mm que dans les éprouvettes issues des carottes de 80mm (Fig. 7). Cette plus grande déformation est associée à la perturbation due au prélèvement et a été constatée par de nombreux chercheurs sur des sols très divers. On la retrouve aussi dans les valeurs plus élevées des déformations correspondant à la pression de préconsolidation dans les essais oedométriques.

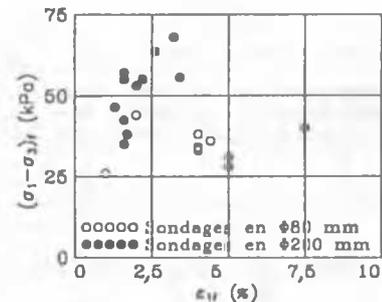


Figure 7 Déformations à la rupture dans les essais triaxiaux (Cubzac).

Modules de déformabilité avant la rupture

L'analyse des courbes de déformation des éprouvettes, tant à l'appareil triaxial qu'à l'oedomètre, montre une différence significative entre les modules de déformabilité correspondant au domaine de surconsolidation du sol : les modules sont de 2 à 3 fois plus élevés pour les carottes prélevées avec un carottier de diamètre plus élevé.

Toutes les données expérimentales précédentes sont en accord avec les conclusions tirées des nombreuses études numériques réalisées au cours des quinze dernières années sur les remblais du site expérimental de Cubzac-les-Ponts, qui montrent que les paramètres déduits des premières reconnaissances (carottages en diamètre 80mm) étaient trop faibles, notamment pour les modules, et que les résultats des études ultérieures, sur carottes de 200mm, fournissaient des résultats de calcul beaucoup plus proches des déplacements et pressions interstitielles observés.

EFFETS DU PRELEVEMENT SUR L'ARGILE DE GUICHE

L'étude de l'argile molle de Guiche a été effectuée pour partie sur des éprouvettes taillées dans des carottes de 80 et 100mm (essais oedométriques) et pour partie sur des éprouvettes issues de carottes de 200mm de diamètre (essais triaxiaux et oedométriques). La courbe d'état limite obtenue (Fig. 8) ne peut donc être analysée du point de vue des conditions de prélèvement.

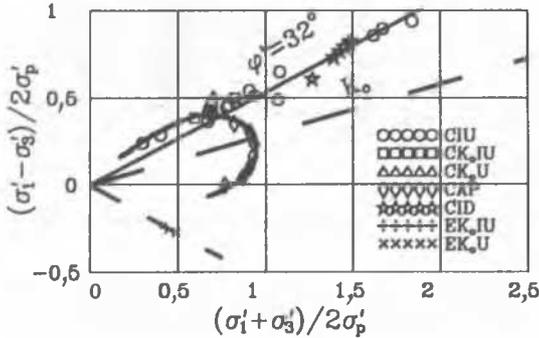


Figure 8 Courbe d'état limite de l'argile de Guiche.

Les essais oedométriques réalisés sur les trois types de carottes prélevées à Guiche (Fig. 9) ne permettent pas de conclure sur l'influence du mode de prélèvement sur les résultats des essais : les éprouvettes ont été prélevées à des niveaux différents (entre 10 et 15m de profondeur) et le paramètre essentiel paraît être la profondeur, qui détermine la pression de préconsolidation. Les déformations correspondant à la pression de préconsolidation témoignent dans ce cas d'un remaniement de l'ensemble des éprouvettes, qui peut provenir de l'influence du diamètre du carottier pour les carottes de diamètre 80 et 100mm et de l'effet général de la profondeur sur les prélèvements pour les carottes de 200mm.

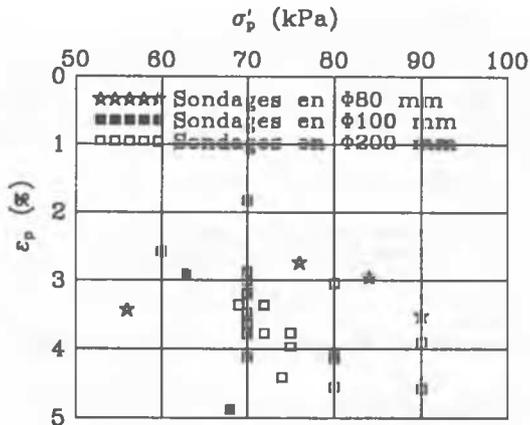


Figure 9 Pressions de préconsolidation de l'argile de Guiche.

CONCLUSIONS

Les données expérimentales obtenues par les Laboratoires des Ponts et Chaussées sur les sites de Cubzac-les-Ponts et Guiche ont été utilisées pour analyser l'effet de la procédure de prélèvement sur les propriétés mécaniques des argiles testées en laboratoire. Il semble que la forme des lois de

comportement puisse être considérée comme insensible et que les perturbations portent principalement sur les pressions de préconsolidation (c'est-à-dire l'échelle des résistances du sol) et sur les modules. Cette constatation est plutôt favorable pour la conduite des études courantes pour lesquelles des carottages de 200mm de diamètres ne sont normalement pas effectués, l'utilisation de méthodes de correction des pressions de consolidation pouvant fournir les éléments nécessaires pour obtenir des données géotechniques satisfaisantes. Néanmoins, cette étude ne porte que sur des carottages en 80, 100 et 200mm de diamètre et il est probable que les perturbations entraînées par des carottages de plus petit diamètre seraient plus fortes et porteraient peut-être aussi sur la forme des lois de comportement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Haghgou M. (1983) Etude du comportement d'un remblai expérimental sur sols compressibles. Thèse de docteur-ingénieur, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 137 pages.
- Kenana A., Félix B. (1989) Etude expérimentale du comportement visco-élastique d'une argile molle à l'appareil triaxial. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Rapports des laboratoires, Série Géotechnique, n° GT-40, 99 pages.
- Khemissa M. (1992) Recherches expérimentales sur les propriétés mécaniques d'une argile molle naturelle (Argile de Guiche, vallée de l'Adour). Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 386 pages.
- La Rochelle P., Sarrailh J., Tavenas F., Roy M., Leroueil S. (1981) Causes of sampling disturbance and the design of a new sampler for sensitive soils. Revue Canadienne de Géotechnique, vol. 18, n° 1, pp. 52-66.
- Leroueil S., Magnan J.P., Tavenas F. (1985) Remblais sur argile molle. Technique et documentation - Lavoisier, Paris, 342 pages.
- Magnan J.P., Mieussens C., Queyroi D. (1983) Etude d'un remblai sur sols compressibles : le remblai B du site expérimental de Cubzac-les-Ponts. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Rapport de recherche LPC, n° 127, 100 pages.
- Piyal M., Magnan J.P. (1983a) Paramètres d'élasticité anisotrope de l'argile molle organique de Cubzac-les-Ponts à l'état surconsolidé. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Rapport de recherche LPC, n° 131, 107 pages.
- Piyal M., Magnan J.P. (1983b) Déstructuration et déformations de l'argile molle organique de Cubzac-les-Ponts. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Rapport des Laboratoires, Série Géotechnique, n° GT-14, 32 pages.
- Quaresma M. (1992) Comportement et modélisation d'un remblai sur sols mous renforcé par géotextile. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble 1), 385 pages.
- Queyroi D., de Saint-Amand F., Magnan J.P. (1991) Les remblais d'essai de drains verticaux de l'Autoroute A64 à Guiche (Vallée de l'Adour). Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 176, pp. 57-72.
- Shahanguian S. (1980) Loi de comportement des argiles molles : détermination expérimentale des courbes d'état limite de l'argile organique de Cubzac-les-Ponts. Thèse de docteur-ingénieur, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 180 pages.
- Vogien M. (1975) Etude du comportement avant la rupture d'un remblai expérimental construit sur sol mou à Cubzac-les-Ponts. Thèse de docteur-ingénieur, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 217 pages.