



VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES ET DU COMPORTEMENT D'ARGILES ESTUARIENNES

M. KISMI¹ - G. MOULIN² - P. THOMAS¹

Laboratoire de Génie Civil IUT Saint - Nazaire¹ - E. C. N.²
B.P. 420 - 44606 Saint-Nazaire Cedex

ABSTRACT

The importance of the developments in estuary zones necessitates the study of their fine soils which often occur in a stratified form. In the inner estuary of the Loire these are present in the industrial-port zones created on the adjacent sections of reclaimed land that are made up from the fine sands dredged from the channel. The distribution and the loading of these materials leads to point load failures, differential settlements and even rupture of the underlying soils.

The behaviour of the soils in this region is dependant on mechanical, hydraulic or chemical stresses which are exerted upon it. These stresses are linked to the hydraulic, geological and man-made environments for which identification is indispensable to the estimation of their geotechnical behaviour.

This study displays the variability and the heterogeneous nature of the material structure with the values and spread of their behaviour characteristics.

The various results equally permit a comparative analysis of these sediments with other homogeneous and heterogeneous soils coming from other estuaries, deltas, lakesides or seas.

1. INTRODUCTION

L'intérêt économique des régions estuariennes est à l'origine de leur développement. La situation privilégiée de ces sites, placés à la frontière des domaines terrestres, fluviaux et maritimes, a souvent été à l'origine d'importants travaux d'aménagement. Par ailleurs les estuaires des grands fleuves constituent un milieu de sédimentation très actif et complexe. Ainsi le remplissage quaternaire de l'estuaire interne de la Loire dont l'épaisseur peut atteindre plus de 50 m par endroits se caractérise par des sables et des galets à la base, puis par un complexe où alternent sables fins et argiles, enfin de vases molles très compressibles. Les chargements induits par les implantations d'ouvrages industrialoportuaires sur ces dépôts compressibles ont déjà conduit

à des désordres. En fonction de l'enjeu économique l'objet de cette étude est de préciser les caractéristiques physicochimiques et mécaniques de ces dépôts complexes.

2. LE SITE

Un site estuarien est caractérisé par la complexité des phénomènes hydrologiques et sédimentologiques qui s'y exercent. Dans les zones portuaires, il faut ajouter l'impact des aménagements. En France, un site estuarien récemment aménagé se révèle d'un grand intérêt: l'estuaire de la Loire, et plus particulièrement la zone industrialo-portuaire de Montoir - Donges, qui concentre l'essentiel du trafic du port de Nantes - Saint-Nazaire (figure 1).

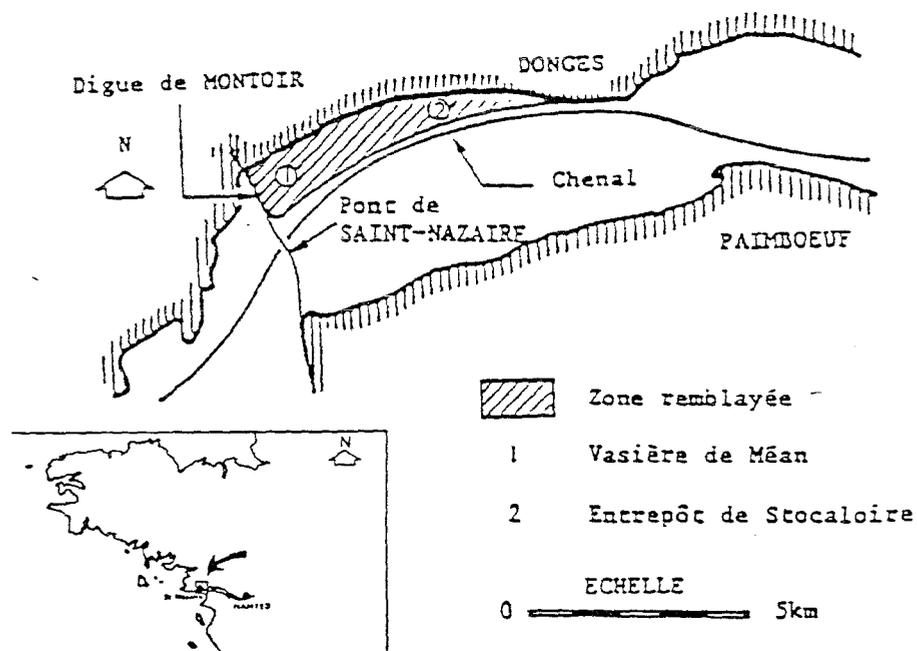


Fig. 1 - Situation géographique de la zone d'étude

Les diversités de l'histoire géologique, des sédiments du bassin versant, du débit fluvial et de l'amplitude de la marée ont engendré des phases de sédimentation de caractéristiques et d'ampleur particulièrement variables. Le développement du trafic portuaire et de l'activité industrielle sont à l'origine d'importants travaux de génie civil maritime ou terrestre: creusement et élargissement du chenal, implantation de quais et de terminaux, remblaiement, création d'aires de stockage ou de zones industrielles. La réalisation de ces travaux nécessite la caractérisation des sédiments en place et de leur comportement.

3. LE MATERIAU EN PLACE

La diversité et la variabilité de l'environnement hydrologique et géologique nécessitent une importante phase d'expérimentation sur le site. Nous avons ainsi réalisé quinze sondages au carottier à piston stationnaire de 96 mm de diamètre et 1 mètre de longueur, les points de sondage étant tous situés à l'intérieur d'un cercle de 25 m de diamètre. La faible distance entre ces différents sondages et la similitude de leurs résultats nous a conduit à faire l'hypothèse d'analogie des sédiments de cette zone, dans un plan horizontal. Dans le plan vertical, le matériau étudié (appelé localement "Jalle") présente l'originalité d'une remarquable hétérogénéité: il est en effet constitué d'une alternance de lits de sables fins à très fins et de silts, d'épaisseur millimétrique et de lits d'argiles d'épaisseur centimétrique, ce qui donne au matériau une structure stratifiée très fragile (figure 2). Ce matériau est très connu localement par sa résistance au dragage, malgré sa teneur en eau qui varie entre 50 à 115 %. Sur cette même figure, nous avons pu mettre en évidence l'influence de cette hétérogénéité de faciès sur les profils de teneur en eau, qui témoignent des modifications rapides de structure du matériau étudié. L'analyse granulométrique met en évidence la quasi-absence de grains de diamètre supérieur à 100 μm . Nous avons ainsi été conduits à réaliser une série d'analyses sédimentométriques. Les résultats de ces analyses effectuées sur 54 échantillons sont présentés sur la figure 3. Les deux familles de courbes granulométriques enveloppes représentées sur cette figure correspondent à la distinction des sédiments suivant un examen visuel. Cette analyse nous a permis d'établir les proportions de sable fin (100 μm - 20 μm), limon (20 μm - 2 μm) et argile (particules < 2 μm). L'hétérogénéité du matériau est mise en relief par les valeurs extrêmes des proportions de ces composants :

Sable fin	:	22 à 72 %
Limon	:	12 à 40 %
Argile	:	5 à 44 %

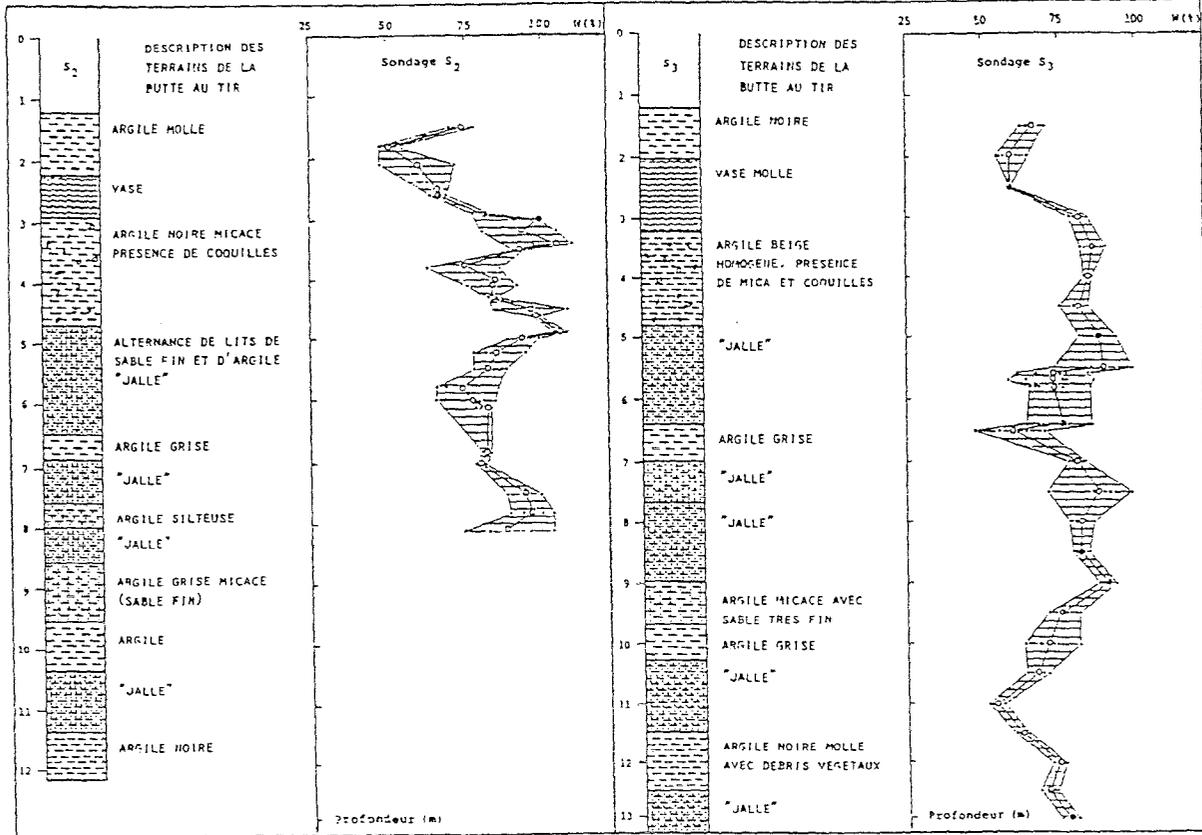


Fig. 2 - Coupes de sondages S2 et S3 et profils des teneurs en eau associés

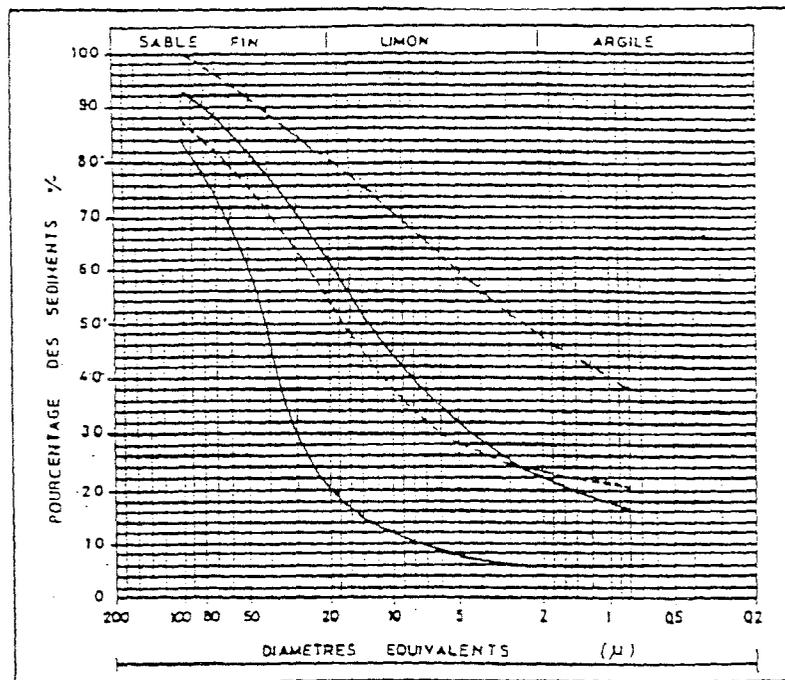


Fig. 3 - Courbes enveloppes relatives au c sédiments de Montoir de Bretagne : --- Argile, — "Jalle"

4. EXEMPLE DE COMPORTEMENT MECANIQUE

Sur le site étudié, le matériau prédominant est donc marqué par sa complexité, liée à son hétérogénéité. Son comportement mécanique, sous l'action d'un chargement, peut être simulé à partir de plusieurs procédures expérimentales (MOULIN, KISMI et al., 1990). Nous présentons ici un exemple de comportement : la résistance au cisaillement mesurée à l'aide du triaxial.

Nous avons ainsi réalisé 13 essais sur des éprouvettes (hauteur 101,6 mm, diamètre 50,8 mm) prélevées entre 5,80 m et 6,10 m de profondeur, ces éprouvettes étant issues des sondages précédemment décrits. Les essais triaxiaux réalisés sont des essais consolidés isotropiquement et cisailés en mode non drainés avec mesure de pression interstitielle (C.I.U), les contraintes de consolidations isotropes (σ'_c) variant de 5 kPa à 190 kPa.

Les chemins de contraintes obtenus dans le repère $p' - q$ (figure 4) permettent de définir en particulier la courbe d'état critique (C.E.C) du matériau étudié. La pente de celle-ci, soit $M=1,11$ correspond à un angle de frottement interne $\phi' = 28^\circ$ pour des contraintes effectives de consolidations supérieures à environ 80 kPa. Pour des contraintes effectives de consolidations plus faibles, l'enveloppe des pics ou déviateurs maximaux se situe au-dessus de cette courbe d'état critique. Il semble que l'état limite et la rupture soient confondus.

A titre de comparaison le tableau I présente l'angle de frottement interne ϕ' pour des argiles naturelles d'origines diverses, suivant cette caractéristique, le sédiment de Montoir de Bretagne est similaire aux argiles de Pomic, de Cubzac et de Saint-Alban.

Argiles	Montoir de Bretagne	Pomic	Cubzac	St - Alban	Winnipeg
ϕ'	28°	29°	28° à 34°	28°	17

Tableau I - Angles de frottement interne de quelques argiles naturelles

Ainsi, malgré les caractéristiques particulières du matériau testé, celui-ci se comporte pratiquement comme une argile naturelle homogène. De plus, suivant la figure 4 représentant le cheminement des contraintes dans l'espace tridimensionnel $\varepsilon_v - q - p'$, plusieurs remarques peuvent être formulées:

- la courbe de gonflement isotrope (C.S.I.) et la courbe de compression isotrope (C.C.I.) sont parfaitement définies dans le repère $p' - \varepsilon_v$.

- la valeur de la contrainte de préconsolidation isotrope $\sigma'_{p\ iso}$ est voisine de 60 kPa.
- comme dans la formulation de WROTH (1984) établie à partir des modèles "Cam Clay", dans le plan $p' - e_v$, la courbe de compression isotrope (C.C.I.) est parallèle à la courbe d'état critique (C.E.C.).
- pour les essais 1- 2 - 3 - 4, l'accroissement du déviateur au cours du cisaillement n'induit pratiquement aucune augmentation de pression interstitielle, confirmant ainsi le développement de leurs chemins de contraintes dans le domaine surconsolidé. Toutefois, pour préciser la position de la courbe d'état limite (C.E.L.) il serait nécessaire de réaliser des essais sur des chemins de contraintes anisotropes.

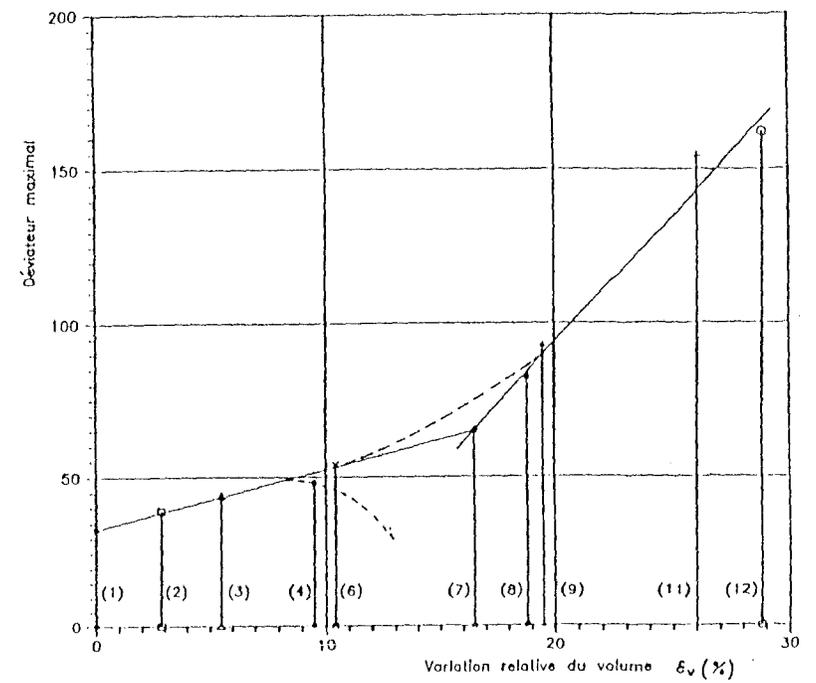
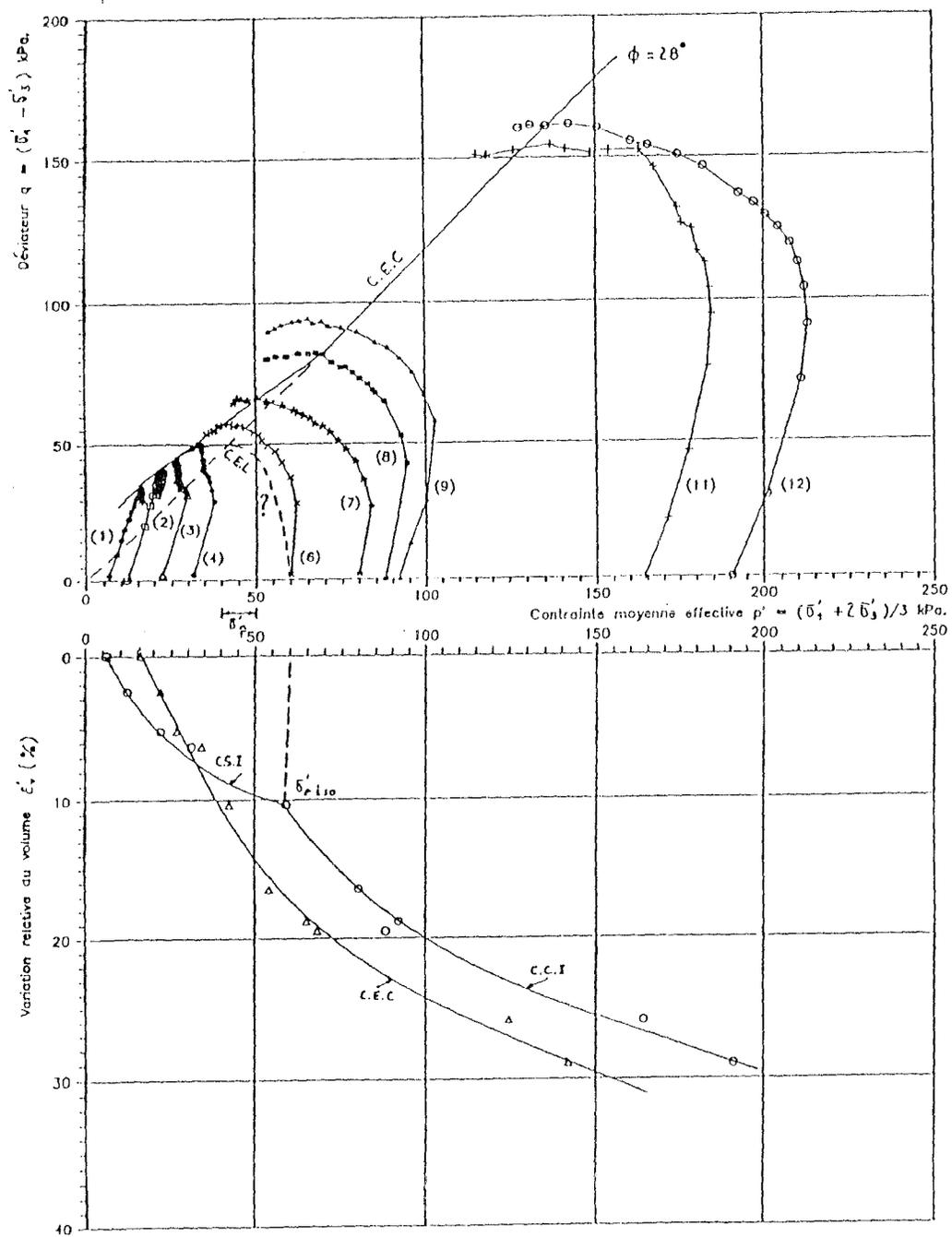


Fig. 4 : Chemin des contraintes dans l'espace tridimensionnel $\epsilon_v - p' - q$

5. CONCLUSION

Les sites industrialo-portuaires, généralement implantés dans des régions estuariennes, peuvent être soumis à des instabilités des sols engendrés par les aménagements. Dans cette étude, nous avons pu mettre en évidence la complexité et l'hétérogénéité des matériaux estuariens liées à la diversité de la géologie, de l'hydrologie et des processus de sédimentation induits.

Les paramètres obtenus lors des essais triaxiaux font, toutefois, apparaître un comportement de ce matériau hétérogène tout à fait comparable à celui d'argiles homogènes d'origines diverses.

Pour améliorer la connaissance du comportement de ce matériau complexe, nous avons pour objectif de développer d'autres types d'essais. En particulier, compte-tenu de l'hétérogénéité d'ordre centimétrique du matériau, nous envisagerons des procédures expérimentales mettant en œuvre des éprouvettes de 200 à 400 mm de diamètre permettant d'intégrer l'hétérogénéité du matériau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) GRAHAM J., CROOKS J. H. A., LAU S. L. K. (1988) Yield envelopes : identification and geometric properties. *Géotechnique* 38, n° 1, pp125- 134.
- (2) LEROUEIL S., TAVENAS F., LEBIHAN J.P. (1983) Propriétés caractéristiques des argiles de l'Est du Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 20 pp 681-705.
- (3) KISMI M. (1991) Caractérisation et comportement de sols hétérogènes. Application à l'estuaire de la Loire. Thèse de Doctorat. Ecole Centrale de Nantes, 178 pages.
- (4) MOULIN G. (1989) Caractérisation de l'état limite de l'argile de Pornic. *Canadian Geotechnical Journal*, 26 pp705-717.
- (5) MOULIN G., KISMI M., DUPAIN R., THOMAS P. (1990) Caractérisation et lois de comportement des sols statifiés d'un site portuaire estuarien. 6ème congrès Int. de Géologie de l'ingénieur. Amsterdam 6-10 août 1990. BALKEMA Ed., pp 2907 - 2912.
- (6) TAVENAS F., LEROUEIL S. (1979) Les concepts d'état limite et état critique et leurs applications pratiques à l'étude des argiles. *Revue Française de Géotechnique*, N°6, pp 27-49.
- (7) WROTH C.P. (1984) The interpretation of in situ soil tests. *Géotechnique* 34, n°4, pp 449 - 489.