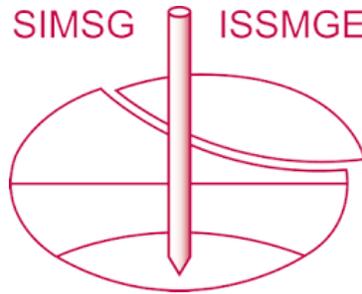


INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



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.

Appareil d'Autoforage pour l'Application en Mer

Self-Boring Device for Seabed Survey

P. Le TIRANT Institut Français du Pétrole, Rueil, France
J.B. FAY
F. BRUCY
J.F. JEZEQUEL Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Saint-Brieuc, France

RESUME - Avec l'accroissement continu des profondeurs d'eau d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures en mer, les mesures géotechniques in-situ prennent une importance croissante pour la reconnaissance des sols avant l'implantation des ouvrages. Dans ce but, l'Institut Français du Pétrole a développé un appareil d'autoforage prototype permettant la mise en oeuvre, par 300 mètres d'eau, d'une sonde pressiométrique jusqu'à une profondeur de 60 mètres dans le sol. La sonde auto-foreuse, dérivée de celle utilisée par les Laboratoires des Ponts et Chaussées pour les applications terrestres, a donné toute satisfaction dans divers types de terrains. L'appareil sera mis en oeuvre en mer en 1981.

INTRODUCTION

Les profondeurs d'eau des zones d'activités pétrolières en haute mer ne cessent de croître, atteignant en 1979 plus de 300 mètres en exploitation, près de 1 500 mètres en exploration. La conception et l'ingénierie des fondations d'ouvrages à mettre en place nécessitent la description et la connaissance du comportement des couches de sols sur des profondeurs de plusieurs dizaines de mètres.

Avec l'accroissement des profondeurs d'eau concernées les mesures in-situ prendront nécessairement une importance accrue pour la détermination des caractéristiques géotechniques des sols. Dans ces conditions l'appareil d'autoforage réalisé par l'Institut Français du Pétrole (avec l'assistance technique des Laboratoires des Ponts et Chaussées qui ont développé ce procédé, pour les applications terrestres) répond à cet objectif (Fig. 1).

L'appareil prototype assure la mise en oeuvre par des profondeurs d'eau de plus de 300 mètres, jusqu'à une pénétration de 60 mètres dans le sol, d'une sonde de mesures in-situ comprenant actuellement un module pressiométrique, puis ultérieurement un module de γ - densimétrie.

L'application de cet appareil permettra notamment de déterminer les caractéristiques géotechniques in-situ (relations contrainte-déformation, résistance au cisaillement) des sols sensibles (sols mous, sols carbonatés,...) très fréquents en mer sous grandes profondeurs d'eau et dans lesquels le carottage n'est jamais représentatif et où les mesures in-situ actuelles sont très insuffisantes et mal adaptées.



Fig. 1 - Appareil d'autoforage pour la reconnaissance des sols en mer.

1. PRINCIPE DE L'AUTOFORAGE ET DE L'APPAREIL REALISE

• Le procédé d'autoforage assure la pénétration dans le sol d'une sonde de mesures in-situ, dans des conditions de remaniement minimal du terrain. Le non-remaniement du sol à tester résulte des dispositions suivantes (Fig. 2).

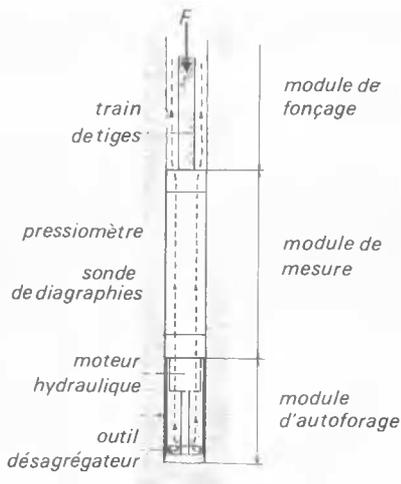


Fig. 2 - Principe de l'autoforage.

- la sonde (qui ne tourne pas) comporte une trousse coupante, biseautée vers l'intérieur afin de ne provoquer aucune expansion latérale du terrain pendant la mise en place.,
 - le terrain à l'intérieur de la trousse est détruit par un outil désagrégateur situé en retrait du biseau,
 - le fluide de circulation chargé de sédiments remonte par l'intérieur de la sonde,
 - le module de mesure est situé rigoureusement dans le prolongement de la trousse coupante.
- La mise en place de la sonde dans le sol par des profondeurs d'eau supérieures à 50-100 mètres nécessite un bâti immergé, posé sur le fond. L'effort de fonçage de la sonde peut être fourni soit par son propre poids (dans les sols mous), soit obtenu par la reprise de la réaction sur les parois du trou de sondage (dans les terrains plus raides).

2. BESOINS DE RECONNAISSANCE DES SOLS EN MER ET SPECIFICATIONS DE L'APPAREIL D'AUTOFORAGE.

Les besoins actuels de reconnaissance des sols pour la mise en place des ouvrages pétroliers de haute mer concernent :

- l'implantation des structures fixes de forage ou de production,
- l'ancrage des structures flottantes de conceptions très diverses,

- la pose et la protection des différentes installations sous-marines,
- la pose et l'ensouillage des pipelines.

Les spécifications de l'appareil d'autoforage prototype ont été spécialement choisies dans l'objectif des applications par grandes profondeurs d'eau où les pénétrations dans le sol exigées seront notablement plus faibles que sur le plateau continental.

- La profondeur d'eau d'application du prototype est limitée à 300 mètres, mais toute la technologie développée est applicable sans modifications importantes jusqu'à 1000 mètres d'eau.
- La pénétration dans le sol de la sonde d'autoforage pourra atteindre 60 mètres. Cette profondeur satisfait aux besoins prévisibles de la reconnaissance détaillée des sols pour l'ancrage de la plupart des structures flottantes, la mise en place des tubes conducteurs ou des diverses installations pétrolières sous-marines. Par ailleurs l'amélioration des connaissances du comportement des sédiments marins sous l'effet des sollicitations cycliques est surtout importante jusqu'à quelques dizaines de mètres.
- L'application courante de l'appareil a conduit à prévoir sa mise en oeuvre à partir de navires non spécialisés (sans puits central et sans derrick), mais équipés de moyens de manutention de 20 à 30 tonnes.

3. DESCRIPTION DE L'APPAREIL

L'appareil comprend essentiellement :

- au fond de la mer un bâti pour la mise en oeuvre de la sonde autoforeuse marine LPC/IFP,
 - en surface, un système de télécommandes et de télémessures,
 - un ombilical électrique assurant la liaison fond-surface.
- La sonde d'une longueur de 6 mètres et d'un diamètre nominal de 160 mm, se compose de trois modules (fig. 3) :
- le module d'autoforage,
 - le module de fonçage avec ses deux variantes "masse-tige" ou "vérin-bloqueur" assurant une avance séquentielle de la sonde par reprise de la réaction sur les parois du trou de sondage,
 - le module de mesure limité actuellement à un pressiomètre monocellulaire d'élançement 2.
- Le bâti de l'appareil, d'une hauteur totale de 8,5 mètres et d'un poids (dans l'air) de 16 tonnes, reposant sur le fond de la mer par l'intermédiaire de trois semelles, assure la mise en oeuvre de la sonde par le déroulement d'une tige flexible (tige de flexoforage de conception IFP) enroulée sur la roue de stockage.
- L'ensemble des fonctions (commandes et mesures) sont contrôlées depuis la surface par un

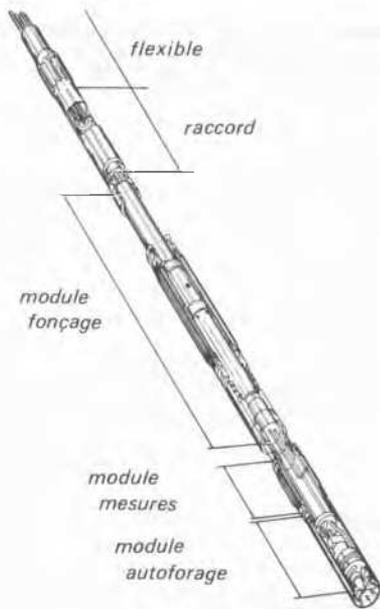


Fig. 3 - Sonde autoforeuse marine LPC/IPF

calculateur en temps réel, relié au fond par l'intermédiaire d'un câble ombilical d'alimentation électrique, de télécommandes et télémesures (par multiplexage).

4. MISE EN OEUVRE DE L'APPAREIL EN MER

Le principe de la mise en oeuvre de l'appareil d'autoforage en mer est représenté schématiquement sur la figure 4.

- Dans le cas d'utilisation du module de fonçage "masse-tige", applicable dans les sols mous (poids total de la sonde d'environ 10 kN), la sonde avance en continu, à une vitesse de

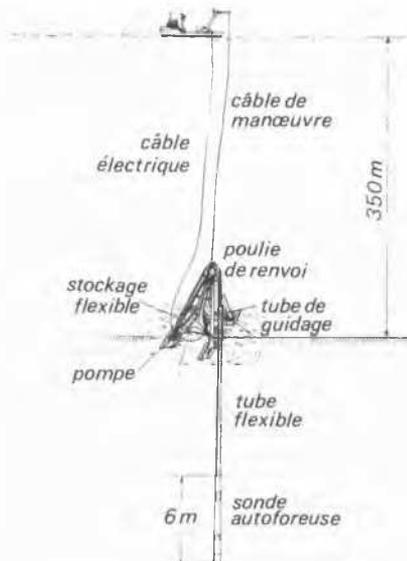


Fig. 4 - Mise en oeuvre de l'appareil d'autoforage en mer.

0,20-0,30 mètre/mn, entre les cotes choisies pour les mesures pressiométriques.

Dans le cas d'utilisation du module de fonçage "vérin-bloqueur", susceptible de mobiliser un effort de 40 kN, la sonde avance par séquences de 0,50 mètre.

La durée d'exécution d'un sondage de 50 mètres, à raison d'une mesure pressiométrique par mètre, sera de l'ordre de 24 heures.

5. RESULTATS D'ESSAIS DE LA SONDE AUTOFOREUSE MARINE

De nombreux sondages ont été effectués au moyen de la sonde autoforeuse marine sur différents sites bien connus d'argile molle, d'argile raide, de sable, préalablement reconnus au moyen du pressiomètre autoforeur (PAF 76) des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Les résultats sont analysés du double aspect : diagraphies d'autoforage et mesures pressiométriques.

Diagraphies d'autoforage

L'enregistrement continu des diagraphies d'autoforage constitue une source d'informations très précises sur les caractéristiques des

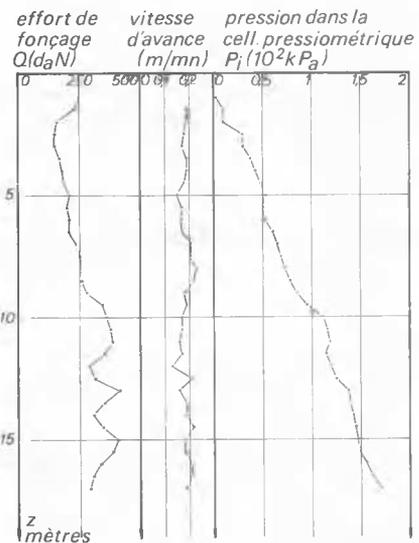


Fig. 5 - Diagraphies d'autoforage enregistrées dans une argile moyenne.

terrains rencontrés (Fig. 5).

A vitesse d'avancement sensiblement constante (d'environ 0,20 m/mn) deux paramètres s'avèrent particulièrement sensibles aux caractéristiques des sols :

- l'effort de fonçage Q de la sonde dans le sol, (comprenant l'effort de "pointe" et le frottement latéral) dépend à la fois des caractéristiques du terrain et de la réalisation de la trousse coupante (indice de surface, débordement; ..). L'effort Q de fonçage de la sonde autoforeuse marine, de diamètre 160 mm, varie de quelques centaines de daN dans les argiles molles ($C_u \approx 30$ à 50 kPa), à 20-30 kN dans les argiles raides et plastiques ($C_u \approx 100$ kPa).

- la pression p_i dans la cellule pressiométrique en cours de fôchage, en principe représentative de la pression horizontale totale des sols au repos ($p_i = p_{hyd.} + K_o \sigma'_v$) est très significative des conditions de mise en place de la sonde, c'est-à-dire en fait de la qualité de l'autoforage : p_i faible traduit une décompression du sol (p_i remaniement) tandis que p_i fort est significatif de refoulement, dans les argiles raides notamment, à la manière du pénétromètre.

Mesures pressiométriques

L'adaptation de la sonde aux conditions d'utilisation en mer a entraîné d'importantes modifications tant sur les dimensions de la cellule pressiométrique (diamètre 160 mm, élancement 2) que sur la procédure opératoire (suppression par exemple de la phase de relaxation avant essai pressiométrique pour des raisons évidentes d'immobilisation en mer). Ces modifi-

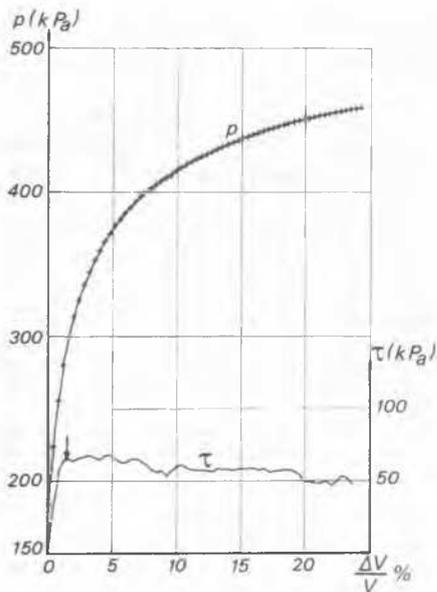


Fig. 6 - Courbe pressiométrique et courbe de résistance au cisaillement dans une argile moyenne.

cations ont nécessité l'exécution de très nombreuses mesures aux fins de "calage" des résultats par rapport à ceux du pressiomètre-autoforeur (PAF 76) (Fig. 6 et 7).

Par analogie avec les mesures au PAF on définit par :

P_0 et P_{20} les pressions correspondant respectivement à des dilatations 0 et 20 % de la cellule pressiométrique,

G_0 et G_2 les modules de cisaillement respectivement tangent à l'origine et correspondant à 2 % de dilatation.

Les résultats obtenus sur divers sondages sont en bon accord avec ceux déduits du pressiomètre autoforeur. Toutefois dans l'argile les valeurs de p_0 sont sensiblement supérieures avec la sonde marine du fait de la suppression de la phase de relaxation. Il en résulte que le module de cisaillement G_0 est légèrement sous-estimé.

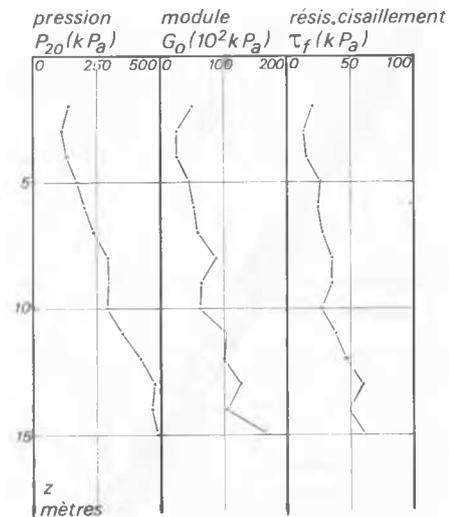


Fig. 7 - Caractéristiques d'une argile moyenne mesurées au pressiomètre.

La dérivation de la courbe "pression-déformation radiale" permet de déduire directement la résistance au cisaillement du sol.

CONCLUSIONS

1. L'appareil d'autoforage prototype réalisé sera applicable en mer par des profondeurs d'eau de 300 mètres, la profondeur de pénétration dans le sol pouvant atteindre 60 mètres.
2. Les sondages effectués au moyen de la sonde autoforeuse marine montrent que les dispersions des paramètres des sols déterminés par autoforage sont faibles par rapport à celles observées couramment au moyen des essais classiques.
3. L'application en mer de l'appareil d'autoforage permettra très certainement d'améliorer la connaissance du comportement du sol, contribuant ainsi au progrès de l'ingénierie des fondations et des ancrages de structures marines et à une estimation plus correcte de leur sécurité.

REFERENCES

- BAGUELIN (F.), JEZEQUEL (J.F.), LE MEHAUTE (A.) (1976) - Mesures des caractéristiques des sols par autoforage. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 81, janv.-fév., 63-72.
- BAGUELIN (F.), JEZEQUEL (J.F.), SHIELDS (D.H.) (1978) - The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans Tech. Publications, 617 p.
- LE TIRANT (P.) (1979) - Seabed Reconnaissance and Offshore Soil Mechanics for the Installation of Petroleum Structures. Editions Technip, Paris, 508 p.