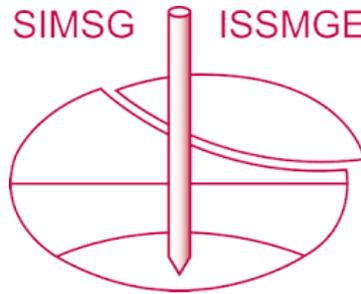


INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



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.

APPAREILLAGE D'ETUDE DYNAMIQUE DES SOLS FINS ROUTIERS

APPARATUS FOR DYNAMIC STUDY OF FINE GRAINED ROADS SOILS

ПРИБОР ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ГРУНТОВ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ

VERSTRAETEN J., Chef de la Division Recherches, Centre de Recherches Routières

VEVERKA V., Chef du Service Dimensionnement, Centre de Recherches Routières

FAGNOUL A., Professeur ordinaire, Université de Liège

BOLLE A., Assistant, Université de Liège, Belgique

RESUME. Dans le cadre de la mise au point d'une méthode générale de dimensionnement des chaussées, le Centre de Recherches Routières (Belgique) a confié à l'Université de Liège (Professeur A Fagnoul) l'élaboration d'un appareillage d'études du comportement des sols sous des charges dynamiques.

Le présent article décrit tout d'abord le principe et les buts de cette recherche.

Une éprouvette triaxiale est soumise à une pression hydrostatique constante et à un déviateur d'allure sinusoïdale. Les grandeurs mesurées sont la déformation irréversible, la déformation réversible, en amplitude et en phase, et la teneur en eau. On désire ainsi comparer le comportement dynamique de différents sols et éventuellement mettre au point des essais simples permettant de prévoir ce comportement.

Ensuite, l'appareillage est décrit dans son état actuel, avec une brève évocation des développements ultérieurs envisagés.

Finalement on donne un résultat extrait de la première série d'essais réalisés.

BUTS DE LA RECHERCHE

1. Déterminer de manière quantitative les grandeurs nécessaires pour apprécier la contribution des sols au comportement des chaussées
 - a. Comportement réversible pour le dimensionnement à la rupture.
 - b. Comportement irréversible pour le dimensionnement aux déformations permanentes.
2. Comparer les sols entre eux sous l'angle du point (1) ci-dessus.
3. Chercher à mettre au point des essais simples pour juger rapidement du comportement mécanique des sols sur la base des résultats du point (1).

PRINCIPE DES ESSAIS

1. Sols considérés

Les essais portent actuellement sur un sol non-cohésif (sable de Mont-Saint-Guibert). Ils seront ensuite étendus à d'autres sables caractéristiques, puis l'étude envisagera des sols cohésifs, principalement des limons, rencontrés habituellement en constructions routières en Belgique.

2. Conditions d'essai

- a. Les sols sont définis par leurs caractéristiques géotechniques : porosité, degré de saturation,...

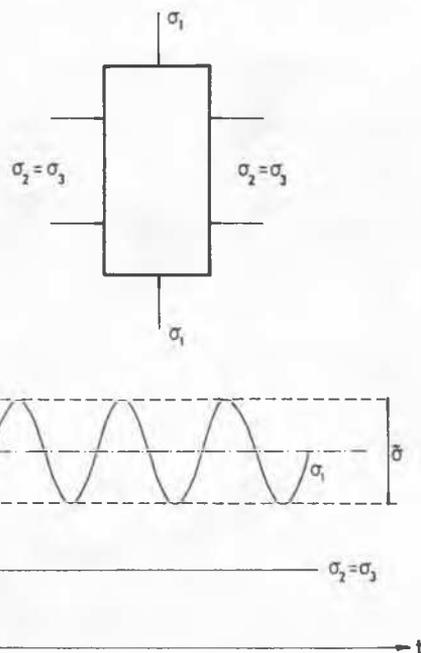


Figure 1. Sollicitations. Loadings.

- b. Les conditions de sollicitations sont les suivantes : après une consolidation sous les pressions minima d'essai, on réalise le cisaillement triaxial (actuellement drainé) avec les contraintes suivantes :

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \text{Constante},$$

$$\sigma_1 = \text{Constante} + \text{fonction sinusoïdale} \\ (\text{actuellement}); \text{fréquence} = 5 \text{ Hz} .$$

L'essai est poussé jusqu'à 10^6 cycles ou limité à une déformation verticale de 20 %.

3. Mesures effectuées

- a. Avant et après l'essai proprement dit : détermination de p , w , ...
- b. En cours d'essai, mesure du tassement vertical
- irréversible,
 - réversible (en amplitude et en phase).

Ces mesures permettent de déterminer l'évolution de la déformation permanente ϵ et du module complexe E^* , en fonction du nombre de répétitions N .

- c. Mesure de la variation du volume d'eau dans l'éprouvette. Cette mesure nous donne une estimation valable de la variation du volume de l'éprouvette dans le cas particulier des sols non-cohésifs saturés. Pour le cas des sols non-saturés, l'appareillage de mesure des variations de volume doit encore être conçu, ainsi que l'appareil de mesure de la pression interstitielle pour les sols cohésifs.

APPAREILLAGE

L'appareillage est installé dans un local climatisé. Ceci permet d'obtenir une excellente stabilité de tout le matériel électronique. De plus, cela permet de limiter les erreurs lors des mesures des variations de volume d'eau.

1. Application des sollicitations

a. Epreuve et cellule

Les essais sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques ($\phi = 50,8$ mm, $h = 100$ mm) enrobées d'une membrane de caoutchouc et placées dans une cellule triaxiale "Geonor". Le drainage se fait par des pierres poreuses supérieure et inférieure.

Le frottement du piston à l'entrée de la cellule est éliminé par une bague tournante.

b. Pression latérale

La pression latérale est appliquée par l'eau contenue dans la cellule qui est en communication avec un réservoir soumis à une pression d'azote réglée par un détendeur de précision.

c. Mise en charge verticale

Une vanne électromagnétique alimentée par de l'huile sous une pression de 100 bars actionne un vérin à double effet. Celui-ci applique l'effort à l'éprouvette par l'intermédiaire d'un anneau dynamométrique qui mesure la force

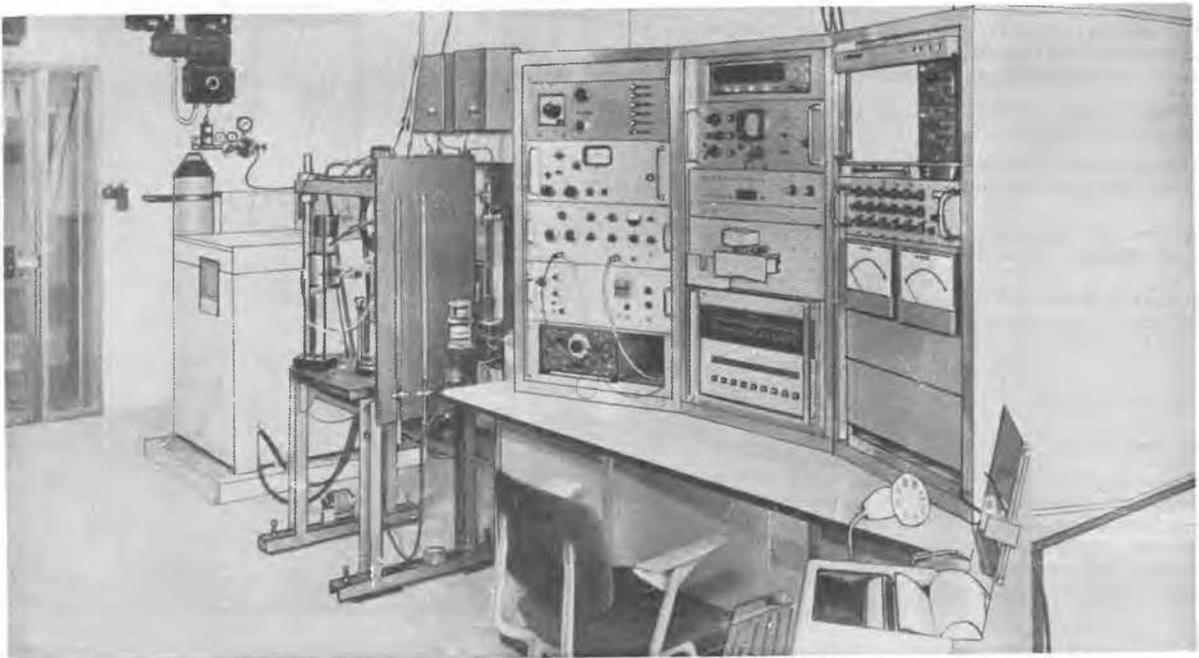


Figure 2. Vue d'ensemble - General view

appliquée. Cette mesure de la force est faite par un capteur inductif de déplacement et alimente en retour la chaîne d'asservissement qui actionne la vanne. Cet anneau, trop déformable, sera remplacé par un capteur plus rigide placé à l'intérieur même de la cellule. Cette solution éliminerait la nécessité d'une bague tournante et permettrait une mesure simple de la variation de volume, même dans le cas d'éprouvettes non-saturées.

d. Logique de commande

Le démarrage d'un essai comprenant l'application simultanée pour une durée prédéterminée de la pression latérale et de la pression verticale de consolidation ainsi que le début du cisaillement sous charges répétées, commençant au point bas de la sinusoïde, est entièrement automatisé, dans le but de réaliser des conditions d'essai le plus reproductibles possible.

e. Performances

En restant dans des limites acceptables au point de vue de la précision d'application et de mesure des efforts, il est possible d'appliquer des déviateurs verticaux ($\sigma_1 - \sigma_3$) de forme sinusoïdale ou triangulaire variables entre $0,050 \text{ kgf/cm}^2$ et 5 kgf/cm^2 avec une erreur de $\pm 0,002 \text{ kgf/cm}^2$ dans le domaine de fréquence de 0 à 20 Hz.

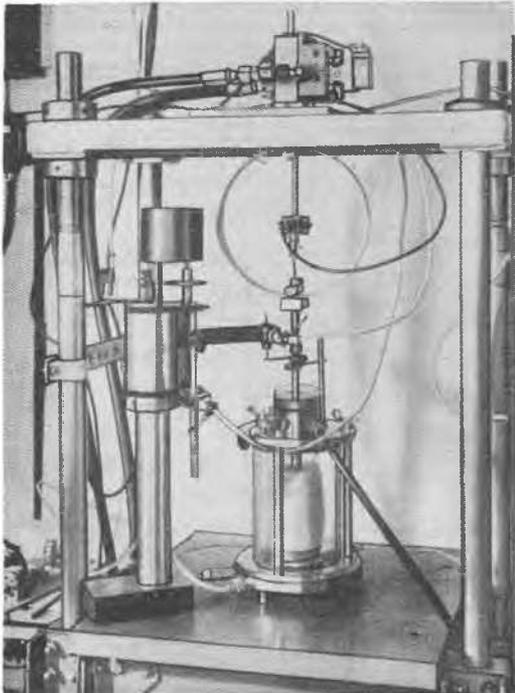


Figure 3. Cellule - Cell

2. Equipement de mesure

a. Mesure du déviateur

La mesure de la force verticale réalisée actuellement par l'anneau dynamométrique alimente la chaîne d'asservissement et est également introduite dans les circuits de mesure pour la détermination du module complexe.

b. Mesure du tassement

Le tassement de l'éprouvette est mesuré par l'enfoncement du piston dans la cellule à l'aide de capteurs inductifs de déplacement. La précision nécessaire pour la mesure du tassement réversible imposant l'utilisation d'un capteur de course très réduite ($\pm 0,6 \text{ mm}$), il a été nécessaire de rendre celui-ci solidaire d'un support mobile qui le maintient en permanence à l'intérieur de son domaine linéaire de mesure. Le déplacement de ce support mobile, entièrement automatique, est mesuré par un capteur de course plus longue ($\pm 12,5 \text{ mm}$) et le tassement est calculé à partir de ces deux mesures. La précision obtenue est de $5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$ pour la déformation réversible et 10^{-2} mm pour le tassement total.

c. Pression latérale

La pression latérale appliquée est contrôlée par un manomètre à mercure. Cependant, dans le but d'étudier les variations de pression induites dans un système fermé par la variation du déviateur, un capteur de pression à jauges ohmiques, raccordé sur la cellule et connecté aux circuits de mesure permet de mesurer la pression latérale dans la cellule isolée.

d. Variation de volume d'eau

Un réservoir cylindrique relié aux circuits de drainage permet, grâce à un flotteur dont le déplacement est mesuré par un capteur inductif, d'obtenir la mesure des variations du volume d'eau de l'éprouvette avec une précision de $0,05 \text{ cm}^3$. Cette précision est obtenue grâce aux très faibles variations de température ($\pm 0,1 \text{ C}$) réalisées par la climatisation.

e. Contrôles

Le contrôle des divers paramètres de l'essai et du bon fonctionnement de l'installation est assuré, soit par des circuits automatiques, soit visuellement pour la partie haute pression. Un dépassement des limites pré-réglées entraîne soit le déclenchement et l'arrêt de l'essai en cours, soit encore une correction automatique comme dans le cas du support mobile du capteur de déplacement.

f. Affichage des paramètres

Un oscilloscope à double trace permet le contrôle de la forme de la mise en charge et du bon fonctionnement de la chaîne d'asservissement. Il permet également la visualisation de la déformation verticale réversible et de la fonction $(\bar{\sigma}, \bar{\epsilon})$.

Divers ampèremètres connectés directement aux appareils de mesure ou raccordés à l'ordinateur fournissent à tout instant e.a. la valeur de la pression latérale, le tassement total irréversible (valeur calculée), etc,...

Un traceur de courbes X-Y sur papier permet à l'ordinateur de tracer en fin d'essai les divers résultats sous la forme désirée.

Un compteur électromécanique permet de visualiser le nombre de cycles révolus. Il ne joue cependant aucun rôle actif dans le système de mesure.

g. Développements ultérieurs

Outre la mise au point d'un système de mesure des variations de volume valable même pour les éprouvettes non-saturées, il faudra également envisager la mesure de la pression interstitielle dans les sols cohésifs. D'autre part, une automatisation plus poussée du système sera réalisée notamment pour le consolidation et le démarrage de l'essai, ainsi que du point de vue contrôle et sécurité afin de permettre à l'appareillage de fonctionner sans surveillance et en toute sécurité, ce qui est indispensable pour les essais de longue durée.

3. Traitement digital par ordinateur intégré

a. Présentation du matériel

Lors de l'étude des systèmes de mesure, il est apparu assez rapidement que la complexité des mesures à réaliser ainsi que la fréquence de celles-ci rendaient impossible la lecture directe. Les enregistrements oscillographiques U.V. sur papier photosensible réalisés au début manquaient de précision, ne permettaient pas la mesure du module complexe et requerraient la présence constante d'un opérateur. La solution idéale était l'intégration au système d'un petit ordinateur connecté à des appareils de prise de mesure et permettant de commander, en temps réel, des processus extérieurs. Nous utilisons donc actuellement un ordinateur Hewlett-Packard de 8 K mots de 16 bits de mémoire centrale, connecté à une base de temps programmable, à un voltmètre digital à 8 canaux, à une sortie double "digital-analog", à une sortie "relais", ainsi qu'à un lecteur optique de bandes perforées et à un téléscripteur. Ce système permet le contrôle continu du bon fonctionnement de l'appareillage, la commande du processus de démarrage, la prise des différentes mesures, leur traitement et leur stockage, le tracé des courbes obtenues, etc, ... La souplesse de ce système permet de modifier à

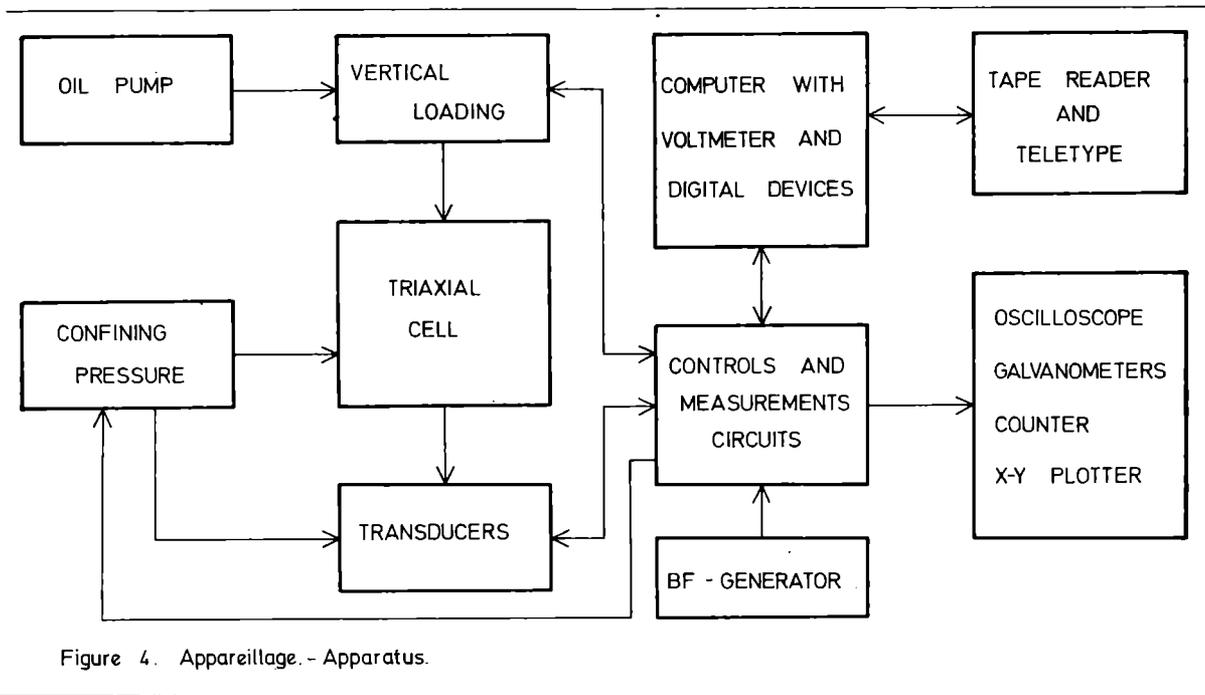


Figure 4. Appareillage. - Apparatus.

b. Procédés de mesure et traitement

Les signaux fournis par les divers capteurs sont amplifiés, si nécessaire, et sont mesurés par le voltmètre digital à 8 canaux. La fréquence de commutation et de conversion de ce voltmètre (35 KHz) est telle qu'elle permet la mesure d'un nombre suffisant de points répartis sur un seul cycle de chargement. La rapidité de l'ordinateur permet d'effectuer simultanément ces mesures et de calculer ensuite, sans interruption dans les lectures, les diverses valeurs désirées. De plus, il surveille simultanément certains paramètres et intervient au besoin directement pour les corriger. Après l'essai, l'ordinateur est disponible dans les limites de sa capacité de mémoire pour effectuer tout traitement désiré des résultats.

c. Développements ultérieurs

Dans le stade actuel, la sortie "digital-analog", qui fournit deux tensions électriques générées par l'ordinateur, et la sortie "relais" qui fournit 16 contacts indépendants, ne servent qu'à l'affichage de certains paramètres, au tracé des courbes et aux interventions de contrôle ou de correction. Elles permettront, dans un stade ultérieur, de réaliser des cycles de chargement plus complexes (amplitude variable, formes non-sinusoïdales, temps de repos entre les cycles, etc...). De plus, la souplesse de ce matériel est telle qu'un remaniement complet du processus d'essai ne nécessiterait qu'un effort de programmation, sans modification sensible de l'appareillage.

EXEMPLE DE RESULTAT

Les conditions d'essai sont :

$$p = 0,40$$

$$S_Y = 1$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0,050 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 0,100 - 0,400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Fréquence} = 5 \text{ Hz}$$

A la figure 5 sont représentés en fonction du nombre de cycles N :

- le tassement irréversible $\bar{\epsilon}$,
- le module complexe E^* ,
- le déphasage $(\bar{\sigma}, \bar{\epsilon})$.

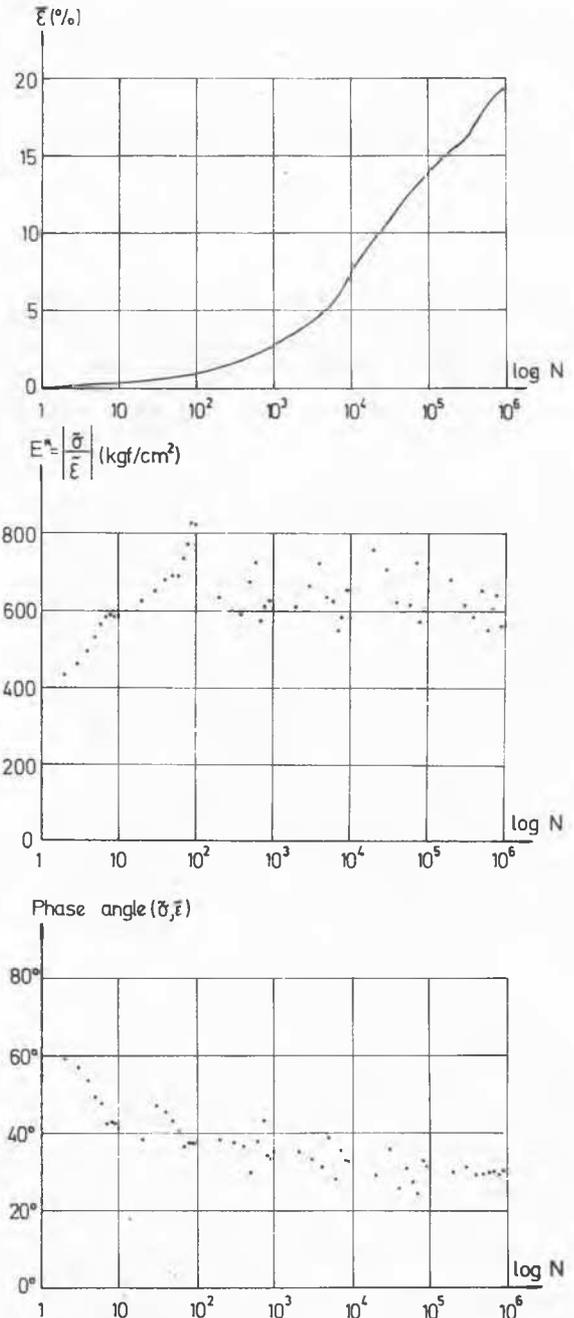


Figure 5. Résultats.-Results.