

N° d'Ordre : 03 - 77  
INSAR

Évaluation TH-GC16  
par N. ROXNER.

  
TH-M43  
**THÈSE**

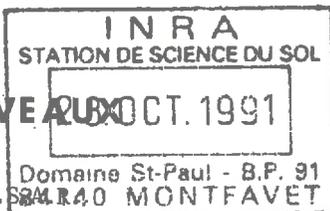
présentée devant  
L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE RENNES

pour l'obtention  
du grade de DOCTEUR - INGÉNIEUR en Génie Civil

par

**Daniel DEVEAUX**

Ingénieur E.N.S.



Sujet de la thèse : Contrôle, réalisation et traitement automatiques  
d'essais de laboratoire en Mécanique des Sols :  
Essais triaxiaux et oedométriques.

Présentée le 30 juin 1977 devant le jury de soutenance :

MM. J.C. CUBAUD } Président  
D. AMOROS }  
J.M. ARIBERT } Examineurs  
J.L. PAUTE }  
M. PIEL }

## AVANT - P R O P O S

- § -

Au terme de ce travail, réalisé au département Génie Civil de l'I.N.S.A. de Rennes sous la direction scientifique de Monsieur AMOROS, je tiens à le remercier ici pour toute la rigueur qu'il m'a imposée et la part importante qu'il a prise dans ma formation de chercheur.

Je suis particulièrement sensible à l'honneur que me font Monsieur CUBAUD, Directeur de l'I.N.S.A., président du jury, et Messieurs ARIBERT et AMOROS, Maîtres de Conférence à l'I.N.S.A., PAUTE, Chef de Groupe au C.E.T.E. de Nantes, et PIEL, IGRF, Adjoint au D.D.A. de Rennes, qui ont accepté de juger mon travail malgré leurs nombreuses occupations.

Je voudrais exprimer toute ma gratitude à Messieurs VUEZ et DOUSTENS pour l'aide scientifique et le soutien amical qu'ils m'ont apporté tout au long de cette étude.

C'est avec beaucoup de plaisir que je remercie Messieurs GAUTIER et BOURSICOT : leur efficacité, leur très grande disponibilité et leur gentillesse ont été pour beaucoup dans l'avancement rapide de ce travail.

Je remercie aussi sincèrement toutes les personnes qui, de près ou de loin m'ont aidé dans la réalisation de cette thèse, et particulièrement Madame PEROU et Monsieur CORONA qui ont directement pris part à sa mise en forme.

- § -

# SOMMAIRE

-5-

INTRODUCTION.....	
<u>1ère PARTIE</u> - GENERALITES SUR L'ACQUISITION DE DONNEES ET PRESENTATION DU SYSTEME UTILISE.....	
I-1 <u>L'acquisition des données</u> .....	3
I-1-1 Données numériques et analogiques...	5
I-1-2 Les éléments d'un système d'acquisition de données.....	5
I-1-2-1 Les éléments obligatoires...	5
I-1-2-2 Les éléments facultatifs....	6
I-1-3 Importance de la précision des sys- tèmes.....	7
I-2 <u>Les différents systèmes d'acquisition de       données</u> .....	9
I-2-1 Les systèmes analogiques.....	9
I-2-2 Les systèmes numériques.....	9
I-2-2-1 Enregistreurs numériques et centralisateurs programmables	9
I-2-2-2 Centralisateurs équipés d'un calculateur.....	10
I-2-3 Les critères de choix.....	10
I-3 <u>Le système utilisé</u> .....	13
I-3-1 Organisation de la chaîne d'acqui- sition.....	13
I-3-2 Le langage : ses possibilités.....	17
I-3-3 Possibilités et limites du système..	21
<u>2ème PARTIE</u> - ESSAIS DE MECANIQUE DES SOLS. ADAPTATION ET CHOIX POUR L'AUTOMATISATION.....	
II-1 <u>L'essai triaxial</u> .....	25
II-1-1 Généralités.....	25
II-1-1-1 But et principe de l'essai.	25

II-1-1-2 Divers types d'essais.....	27
II-1-1-3 Déroulement de l'essai....	30
II-1-2 La manipulation.....	34
II-1-2-1 Matériel d'essai.....	34
II-1-2-2 Mode de conduite de la ma- nipulation.....	34
II-1-2-3 Problèmes liés à la mesure automatique.....	36
II-1-2-3-1 Le contrôle de l'essai	36
II-1-2-3-2 Choix des capteurs....	37
II-1-2-3-3 Le capteur de variation de volume.....	40
II-1-3 Traitement de l'essai triaxial.....	55
II-1-3-1 Traitement conventionnel..	55
II-1-3-2 Autre mode de traitement..	59
II-1-3-3 Conclusion.....	62
II-2 <u>L'essai oedométrique</u> .....	65
II-2-1 Généralités.....	65
II-2-1-1 But et principe.....	65
II-2-1-2 Déroulement de l'essai....	67
II-2-2 La manipulation.....	71
II-2-2-1 Le matériel d'essai.....	71
II-2-2-2 Mode de conduite de l'essai	71
II-2-2-3 Problèmes apparus lors de la mesure automatique.....	74
II-2-3 Le traitement.....	94
II-2-3-1 Consolidation.....	94
II-2-3-2 Compressibilité.....	101
II-2-4 Conclusion.....	115
 <u>3ème PARTIE - PRESENTATION DU SYSTEME MIS EN PLACE...</u>	
III-1 <u>Conception globale du système</u> .....	119
III-1-1 Organisation matérielle.....	119

III-1-2 Le système de programmation.....	121
III-1-2-1 Découpage des essais et classement des données...	121
III-1-2-2 L'acquisition multitâche.	122
III-1-2-3 Fonctionnement pratique du système.....	125
III-2 <u>L'acquisition</u> .....	128
III-2-1 Les capteurs : étalonnage et con- trôle.....	128
III-2-2 Le contrôle et la conduite des essais.....	129
III-2-2-1 Organigramme type d'un pro- gramme de mesure.....	129
III-2-2-2 L'acquisition sur l'essai triaxial.....	132
III-2-2-3 L'acquisition sur l'essai oedométrique.....	134
III-2-3 Les limites du système actuel....	136
III-2-3-1 La taille mémoire.....	136
III-2-3-2 Le nombre de périphériques	136
III-2-3-3 Le problème des priorités	137
III-3 <u>Le traitement</u> .....	138
III-3-1 Caractéristiques générales.....	138
III-3-2 Traitement de l'essai triaxial...	139
III-3-3 Traitement de l'essai oedométrique	140

4ème PARTIE - DISCUSSION DES RESULTATS.....

IV-1 <u>La précision des mesures</u> .....	143
IV-1-1 Les apports du système sur la pré- cision.....	143
IV-1-2 Les erreurs spécifiques du système	144
IV-1-3 Résultats des premières utilisations	144
IV-2 <u>Avantages et inconvénients de l'automatisation</u>	146
IV-2-1 Gain de temps et baisse de prix de revient.....	146
IV-2-2 Les problèmes posés par l'automati- sation.....	146

IV-3 <u>Les extensions possibles du système.....</u>	150
CONCLUSION.....	151
BIBLIOGRAPHIE.....	
ANNEXES.....	

## INTRODUCTION

## I N T R O D U C T I O N

Les études de reconnaissance des sols s'appuient sur un certain nombre d'essais qualitatifs et quantitatifs. Parmi ces derniers, les essais "in situ" prennent une part de plus en plus importante : leur large utilisation s'explique par leur faible coût et par l'élaboration de méthodes et de théories d'interprétation assez bien vérifiées et facilement applicables. Les essais de laboratoire sont d'une mise en oeuvre plus difficile et de ce fait, coûtent assez cher ; par contre, ils sont les seuls à permettre l'étude des caractéristiques à long terme et fournissent les paramètres utilisés dans les formules issues des théories classiques.

L'ensemble de la profession s'accorde à penser qu'une étude de géotechnique doit s'appuyer à la fois sur les deux types d'essais ; leur importance relative est liée au type d'ouvrage et à la nature du site. Les études de laboratoire prennent une place prépondérante lorsque le site présente des terrains de caractéristiques médiocres (sols "mous"). Leur utilisation devra donc être plus fréquente, même pour les petits ouvrages, car les "bons" sols sont de plus en plus rares.

L'objet de notre travail est la mise au point d'une procédure d'automatisation de deux essais classiques (l'essai triaxial et l'essai oedométrique) en utilisant une chaîne d'acquisition pilotée par un petit ordinateur de bureau. Cette procédure, qui intègre le contrôle et la conduite de l'essai, l'acquisition et le traitement des données, a pour buts essentiels de réduire le temps de manipulation pour les techniciens donc le coût des essais, et de faciliter la réalisation d'essais de longue durée (essai triaxial C.D., essai oedométrique). Par ailleurs, elle permettra de déboucher sur des essais plus élaborés utilisés dans les laboratoires de recherche.

Après avoir, dans une première partie, rappelé le principe d'une chaîne d'acquisition et exposé le fonctionnement du matériel utilisé, nous examinons dans la seconde partie les modes de manipulation et de traitement des deux essais sur lesquels nous avons travaillé. Cette étude est faite dans l'optique de l'automatisation, elle s'attache à résoudre les difficultés que celle-ci soulève (mesures, conduite d'essais) et aboutit à un cahier des charges pour la mise en place du processus automatique.

Dans la troisième partie, nous présentons le système d'acquisition et de traitement multitâche que nous avons réalisé, ainsi que les particularités de chacun des programmes. Enfin, nous analysons rapidement les premiers résultats obtenus.

## PARTIE I

GENERALITES SUR L'ACQUISITION DE DONNEES  
ET PRESENTATION DU SYSTEME UTILISE

## I - I L'ACQUISITION DE DONNEES

Un essai est la traduction en données de phénomènes qui se déroulent naturellement ou que l'on provoque dans un échantillon. La norme française définit une donnée comme "un fait, notion ou instruction, représenté sous une forme conventionnelle, convenant à une communication, une interprétation ou un traitement, soit par l'homme, soit par des moyens automatiques".

Le phénomène qui a lieu dans le matériau se caractérise par l'évolution d'un certain nombre de grandeurs physiques. Une grandeur physique peut être définie comme un ensemble de  $n$  états discernables.

La mesure par l'intermédiaire d'un système d'observation permet d'apprécier l'état à un moment donné d'une ou plusieurs grandeurs physiques. Cette mesure fournit une donnée qui est l'image plus ou moins fidèle de l'état de cette grandeur.

Les essais traditionnels utilisent des appareils de mesure qui fournissent une donnée directement lisible par l'opérateur (généralement une lecture sur un cadran, ou une échelle graduée) ; celui-ci doit ensuite traiter ces données pour exprimer le phénomène observé.

Dans les essais automatiques, la mesure se fait au moyen de capteurs qui fournissent une donnée sous forme d'une tension, d'une fréquence, ou d'un nombre d'impulsions. Ces signaux électriques se prêtent très bien au transport, au stockage et au traitement automatique. On utilise avec ces capteurs un système d'acquisition de données qui peut être assimilé à une chaîne de communication (Fig. II) et qui restitue à l'observateur des données plus ou moins élaborées, c'est à dire plus ou moins rapidement interprétables.

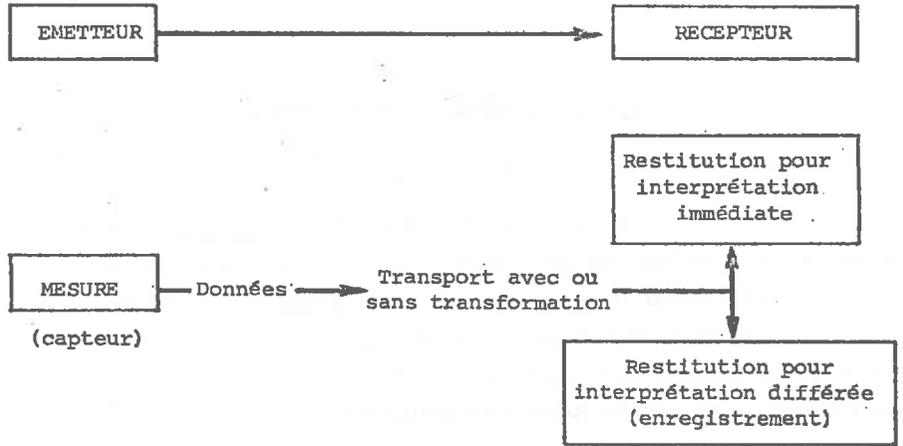


FIG. I.1 CHAINE D'ACQUISITION ASSIMILEE A UNE CHAINE DE COMMUNICATION

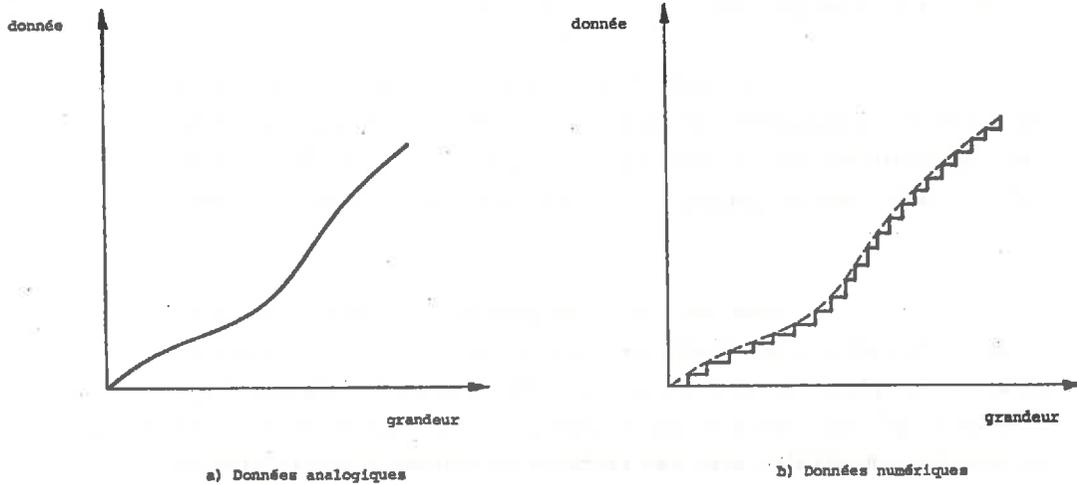


FIG. I.2 DONNEES NUMERIQUES ET ANALOGIQUES

### I-1-1 Données numériques et analogiques

On distingue deux grands types de données :

Les données analogiques : ce sont des fonctions continues de la grandeur primaire (Fig. I 2). C'est le type de données qui est émis par la plupart des capteurs classiques. L'emploi de ces données est délicat car elles sont sujettes à de nombreuses perturbations qui risquent d'en modifier le contenu et elles se prêtent mal aux opérations arithmétiques ou de mise en mémoire.

Les données numériques varient de façon discontinue avec la grandeur primaire (Fig. I 2). L'utilisation de ces données suppose une "quantification" de l'information. Cette opération est effectuée soit par le capteur (rarement : codeur optique par exemple), soit par un convertisseur analogique/numérique (voltmètre ou autre).

L'utilisation des données numériques implique que l'on commette une erreur systématique au départ : l'importance de cette erreur est fonction du "pas de quantification". Par contre, ce type de données peut être transporté, transcrit de très nombreuses fois sans qu'il y ait de perte de précision de son contenu ; d'autre part, ce sont les données qu'utilisent les calculateurs électroniques, ce qui permet de nombreuses possibilités de traitement.

### I-1-2 Les éléments d'un système d'acquisition de données

#### I-1-2-1 Les éléments obligatoires

Ce sont ceux qui apparaissent sur la figure I 1 :

- Le capteur : il transforme la grandeur physique en donnée, en général une réponse électrique. Sauf cas

particulier (les thermocouples) il a besoin d'une alimentation électrique extérieure. Souvent, il faudra adapter au moyen d'un dispositif électronique les caractéristiques de sortie du capteur aux caractéristiques d'entrée de la chaîne de transmission. On regroupera l'ensemble de l'alimentation et du dispositif d'adaptation sous le nom de "conditionnement du capteur".

- La chaîne de communication : ce peut être un simple câble. Elle peut aussi contenir tout ou partie des éléments facultatifs.

- L'organe de restitution : il permet d'afficher la donnée pour une lecture immédiate (écran d'affichage, indicateur lumineux) ou de l'enregistrer pour une utilisation ultérieure (machine à écrire, perforateur de bande ou de cartes, traceur de courbe, enregistreur magnétique, etc...).

#### I-1-2-2 Les éléments facultatifs

- Les convertisseurs analogiques - numériques et numériques-analogiques : nous avons vu leur rôle ci-dessus.

- Les multiplexeurs et démultiplexeurs : ces appareils sont liés au transport des signaux. En effet, quand le nombre des capteurs est grand et que la distance de transport est longue ou qu'on utilise un convertisseur coûteux, il est intéressant de faire passer tous les signaux sur une même ligne. Suivant les problèmes à résoudre (mesures simultanées ou non, nombre de capteurs, niveau de sortie des capteurs, fréquence des prises de mesures), les technologies des multiplexeurs sont très variables. Les plus courants sont les commutateurs analogiques qui fonctionnent soit avec des relais (de 10 à 400 voies par seconde, bas niveau), soit par commutation électronique (transistors à effet de champ : plusieurs milliers de voies par seconde, haut niveau). La restitution de la donnée nécessite un démultiplexage du signal transmis.

- Calculateur ou ordinateur : suivant sa complexité, ce matériel permet un traitement plus ou moins élaboré des données transmises. Par les périphériques qui leur sont adjoints les ordinateurs offrent de nombreuses possibilités de sorties ou de stockage de données. En outre, ils sont capables par l'intermédiaire d'interfaces spéciaux de commander des processus électromécaniques donc de piloter des essais.

Il existe d'autres éléments qui peuvent être intercalés dans la chaîne de transmission et qui permettent de l'adapter aux différents cas particuliers. Les combinaisons possibles sont très nombreuses, nous verrons les principales familles de systèmes dans le chapitre suivant.

### I-1-3 Importance de la précision des systèmes

L'acquisition de données sur une grandeur physique peut être schématisée par la Figure I-3. La donnée est une image de l'état de la grandeur physique au moment de la mesure ; cet état peut être représenté par un domaine M de l'ensemble des états possibles.

Après transmission, l'analyse de la donnée restituée va permettre à l'observateur de définir un domaine M' d'état présumé de la grandeur. L'interprétation de l'utilisateur M' devra être aussi proche que possible de la réalité M. : cette précision est influencée par tous les maillons de la chaîne de transmission. Il sera donc nécessaire de faire attention à tous les éléments, mais les plus délicats sont :

- les capteurs
- les convertisseurs : nous avons vu l'importance du "pas de quantification".

- les câbles de liaison analogiques et les connexions : l'importance des perturbations sur les liaisons croît au fur et à mesure que le niveau du signal baisse ; dans la mesure du possible, il est préférable de travailler à moyen ou haut niveau (50 m V à 10 V).

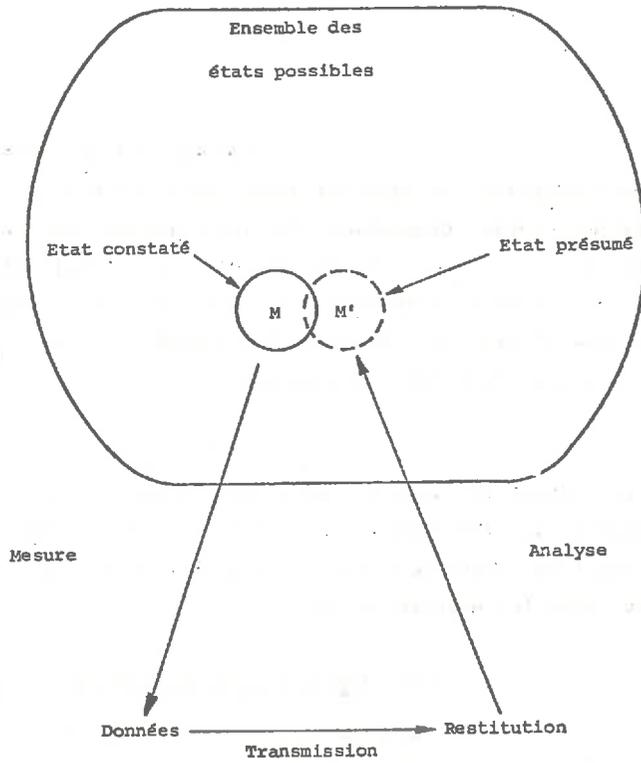
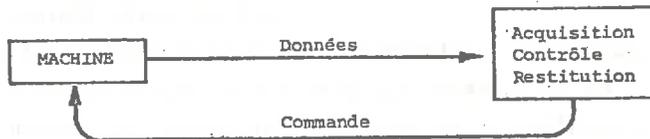


FIG. I.3 (D'APRES S.SAVOYSKI -1962-)



a) Acquisition de données en boucle ouverte



b) Conduite de processus en bouclé fermée

FIG. I.4 (D'APRES P.DUCASSE ET AL. -1976-)

## I - 2 LES DIFFERENTS SYSTEMES D'ACQUISITION DE DONNEES

### I-2-1 Les systèmes analogiques

Ce sont les systèmes les plus simples : ils sont constitués d'un ou plusieurs capteurs reliés à une table traçante ou à un enregistreur à déroulement continu. Ils conviennent très bien à certains essais où la lecture d'une courbe permet l'interprétation de l'essai (essai de cisaillement direct). Mais dans la plupart des cas, le dépouillement est assez fastidieux.

D'autre part, ils n'autorisent l'utilisation que de peu de capteurs et ne permettent en aucun cas de piloter des machines d'essai.

### I-2-2 Les systèmes numériques

#### I-2-2-1 Enregistreurs numériques et centralisateurs programma- bles

Ils permettent un enregistrement sur ruban perforé ou bande magnétique qu'il est ensuite facile de traiter sur un ordinateur. Les centralisateurs sont généralement équipés d'un commutateur analogique (jusqu'à 1 000 voies de mesures), une horloge interne et des matrices de programmation à diodes enfichées permettent la réalisation de séquences de scrutations assez complexes.

Ces systèmes n'assurent qu'un traitement très faible des données (compensation de soudure froide par exemple) ; ils conviennent très bien à des essais répétitifs car la programmation de séquences de scrutations complexes demande une manipulation importante, ils ne permettent pas de piloter directement des machines.

### I-2-2-2 Centralisateurs équipés d'un calculateur

On peut distinguer deux types :

- Les centralisateurs commandés par mini-calculateur de bureau avec un logiciel adapté à la mesure utilisant des langages conversationnels proches du BASIC. Ils sont adaptés à la saisie lente des données et ne permettent l'acquisition multitâche qu'au prix d'un système de programmation élaboré et d'une multiplication des périphériques de sortie. Par contre, la souplesse et la facilité de leur langage permet la mise au point très rapide d'un nouvel essai et la modification d'un essai existant.

- Les centralisateurs commandés par calculateurs industriels travaillant en temps réel. Le moniteur temps réel du calculateur permet de régler tous les conflits d'entrée-sortie donc facilite grandement l'acquisition multitâche sans multiplication des périphériques. Par contre, leur langage de programmation est très proche du langage machine, ce qui rend la programmation laborieuse et décourage souvent les modifications ultérieures. Ce type de matériel est très bien adapté aux laboratoires qui font un grand nombre d'essais plus ou moins simultanés sur plusieurs installations fixes.

Avec ces deux systèmes il est possible de conduire des processus en boucle fermée (Figure I-4), ce qui autorise la surveillance et le contrôle automatique d'essais. En général, ils permettent aussi le redémarrage de l'essai après une coupure accidentelle du secteur.

### I-2-3 Les critères de choix

Un certain nombre de ces critères sont déjà apparus lors de la description des différents systèmes. Nous allons ici brièvement passer en revue les principaux :

- Milieu où l'on fait l'essai : si le laboratoire

autorise tous les types de matériels, les essais qui s'exécutent dans la nature ou à partir de véhicules ou d'embarcations nécessitent un matériel souvent spécial.

- Le type de mesure va entraîner le choix des capteurs les mieux adaptés.

- Le niveau de sortie des capteurs, lorsqu'il est bas, implique des contraintes souvent coûteuses dans le choix des organes de liaison et de la résolution du convertisseur.

- Fréquence de scrutation : une fréquence élevée amène à travailler à haut niveau avec des commutateurs électroniques et un convertisseur rapide.

- Les essais réalisés : trois facteurs sont très importants :

. Les essais sont-ils figés ? Si oui, des enregistreurs ou des centralisateurs programmables conviendront parfaitement ; si non, il y a lieu de s'orienter vers un système à logiciel conversationnel.

. Veut-on pouvoir exécuter plusieurs essais simultanément ? Dans ce cas, le calculateur pilotant le centralisateur est intéressant.

. Veut-on contrôler et piloter les essais ? Là aussi, le calculateur s'impose.

- Le coût et la rentabilité du système d'acquisition : c'est un point essentiel. En effet, les systèmes d'acquisition sont chers tant à l'achat qu'à la maintenance, et il faut que le gain de rentabilité ou de temps qu'ils occasionnent justifie ces dépenses.

Le choix d'un système d'acquisition n'est pas une chose simple. Les possibilités offertes par les constructeurs sont très variées et permettent de s'adapter à presque toutes les situations. Mais

tout n'est pas possible, les contraintes physiques obligent à certains choix : il n'est pas possible par exemple de concilier cadence de mesures très rapide et résolution très fine. Ces choix sont d'autant plus importants qu'ils conditionnent souvent les équipements ultérieurs du laboratoire, au moins quand il s'agit de gros matériel.

## I - 3 LE SYSTEME UTILISE

### I-3-1 Organisation de la chaîne d'acquisition

Nous avons travaillé avec un système d'acquisition de données Solartron - Schlumberger, contrôlé par un mini-calculateur DEC PDP 11-05 de 8, puis 24 kmots de mémoire. La Figure I-5 décrit l'organisation de la centrale et l'articulation logique entre ses éléments.

On constate que le mini-calculateur assure tout le contrôle de l'acquisition et de la conduite du processus, par l'intermédiaire de périphériques appropriés et au moyen d'un logiciel conversationnel (Le BASAC dérivé du BASIC) sur lequel nous reviendrons.

La mesure est effectuée au moyen de capteurs qui délivrent en sortie une tension continue. L'utilisation de capteurs différents est possible en leur adjoignant un conditionneur approprié extérieur à la centrale.

Le signal délivré par les capteurs est acheminé par l'intermédiaire d'un commutateur analogique à relais vers le volt-mètre numérique. A l'heure actuelle, nous disposons sur le commutateur de 30 voies extensométriques et 50 voies analogiques ; ce dispositif est extensible à 1 000 voies et des paniers indépendants de 50 ou 100 voies peuvent être placés à une distance pouvant atteindre cent mètres, de l'unité centrale. Les voies extensométriques contiennent les compléments de pont pour les montage 1/4 pont et 1/2 pont avec ou sans jauge de compensation de température. Sur les voies analogiques, la commande simultanée de quatre relais secs par voie permet soit de commuter la garde, soit d'alimenter les capteurs au moment de la mesure à partir d'une des deux alimentations montées dans la baie. Les relais assurent la commutation de signaux compris entre 500 V et 1  $\mu$ V avec une f.e.m. parasite de  $\pm 1 \mu$ V. La vitesse de scrutation peut être fixée à 10, 25 ou 100 voies par seconde. Toutes les séquences de scrutation sont possibles : elles sont commandées directement par l'ordina-

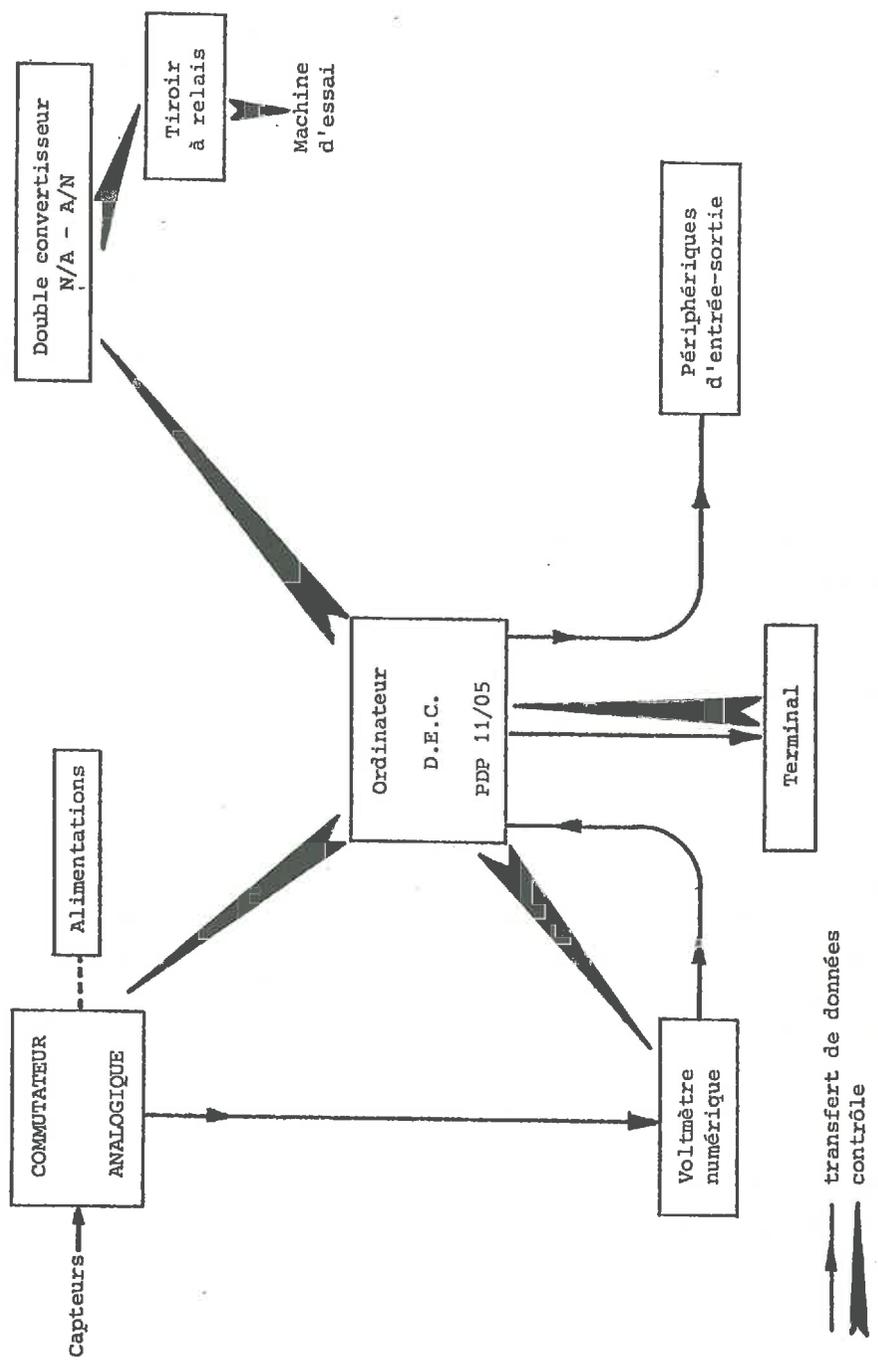


FIG. I.5 ORGANISATION DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION SCHLUMBERGER

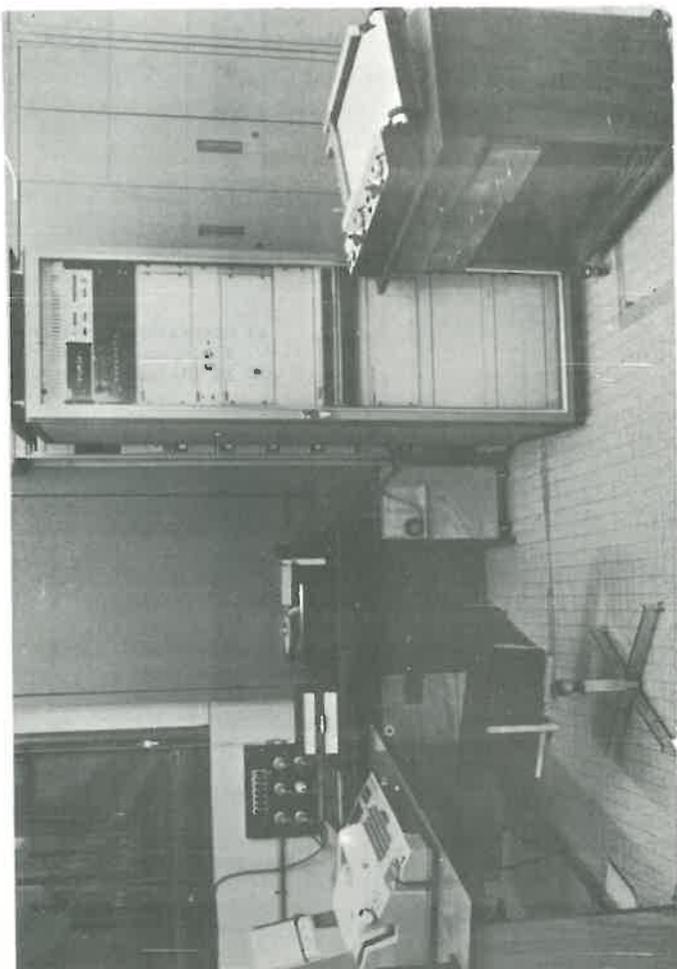
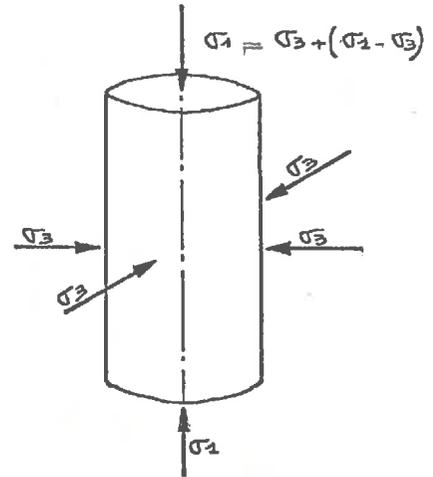
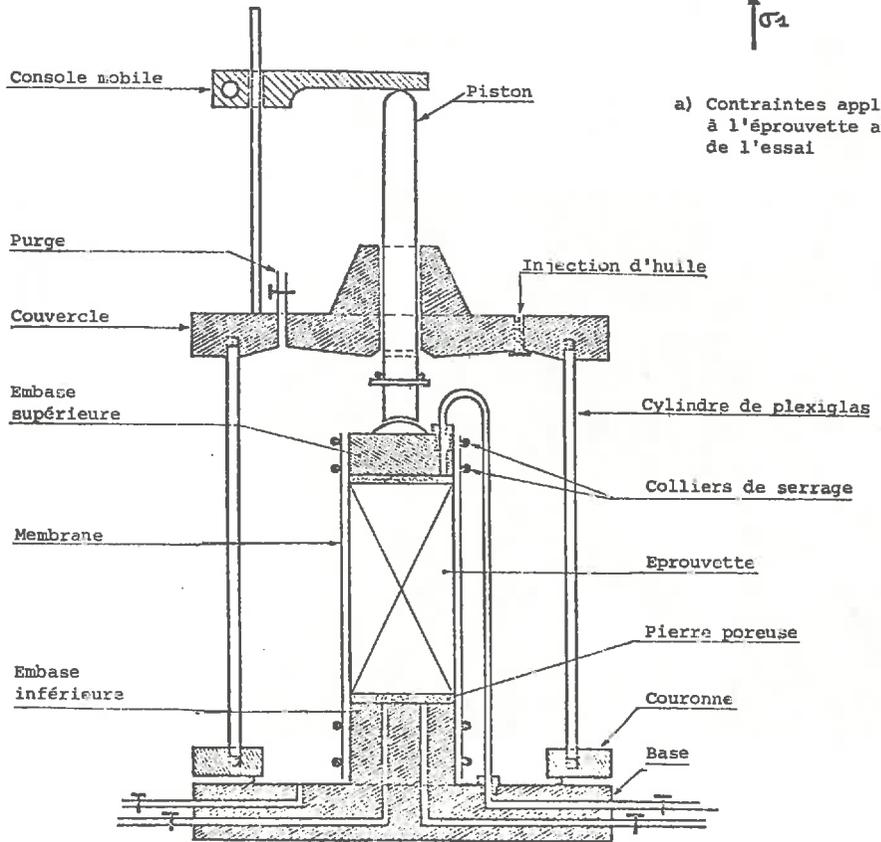


FIG. I.6 - CENTRALE D'ACQUISITION.



a) Contraintes appliquées à l'éprouvette au cours de l'essai



b) Cellule d'essai

FIG. II.1 ESSAI TRIAXIAL

rer une acquisition très souple des données et le contrôle de processus électromécaniques. Au vu de l'organisation de cette centrale, où le calculateur gère directement toutes les fonctions, on comprend aisément l'importance de la programmation : c'est le logiciel implanté dans l'ordinateur qui va déterminer les possibilités et la facilité d'utilisation de la centrale.

### I-3-2 Le langage : ses possibilités

Le langage utilisé est le BASAC : il s'agit d'un langage conversationnel évolué, dérivé du BASIC. Le compilateur est résident en mémoire centrale ce qui facilite beaucoup la programmation (la compilation et l'assemblage se font automatiquement) et permet des commandes de fonctions en mode immédiat. Ceci a cependant l'inconvénient de prendre beaucoup de place en mémoire centrale : le compilateur actuel utilise 19 kmots sur 24 et laisse une place relativement faible pour les programmes utilisateurs. On peut séparer les fonctions de ce compilateur en deux grandes familles :

#### - Les fonctions mathématiques et d'entrée-sortie.

Nous ne nous y attarderons pas car on les retrouve dans tout compilateur BASIC. Signalons cependant qu'un certain nombre de ces fonctions a été supprimé, les fonctions matricielles par exemple. Par contre, on trouve des fonctions de manipulation de chaînes de caractères (variables "*string*" (1)) et un programme de gestion de tables traçante per-

---

Note (1) Une variable *string* est une chaîne de caractères alphanumériques (jusqu'à 250 caractères) représentée par un nom de variable suivi de \$. Un certain nombre d'opérations est possible sur ces variables : les principales sont la segmentation, la mise bout à bout et l'extraction de la valeur numérique représentée par la chaîne de caractères.

mettant l'écriture de texte. D'autre part, toutes les opérations d'entrée-sortie sont ou peuvent être "bufferisées" (2) : cette disposition permet des gains de temps appréciables dont nous verrons plus tard l'utilité.

- Les fonctions de gestion de la chaîne d'acquisition : elles permettent le contrôle de la scrutation d'une part, des processus de commande d'autre part. On peut en distinguer trois catégories:

a) Fonctions de gestion du temps : le calculateur dispose d'une horloge interne. Quatre fonctions permettent l'initialisation puis la lecture à tout moment de la date et de l'heure. Une fonction supplémentaire en temps réel commande l'exécution d'un sous-programme après l'attente d'un délai fixé par le programmeur ; son énoncé est :

DELAY (n, Line XX)

son fonctionnement est illustré par la Figure I-7. Quand l'instruction "DELAY" est rencontrée, l'horloge interne commence à compter un délai de n secondes, et le programme continue de se dérouler ; quand le délai est écoulé, le programme principal est interrompu et le contrôle est

---

Note (2) Un "buffer" est une mémoire tampon intercalée entre le processeur central et le périphérique : quand un ordre d'entrée ou de sortie est rencontré les variables sont transférées dans le buffer qui se vide ensuite vers le périphérique à la vitesse de ce dernier ; pendant ce temps, le programme continue de s'exécuter.

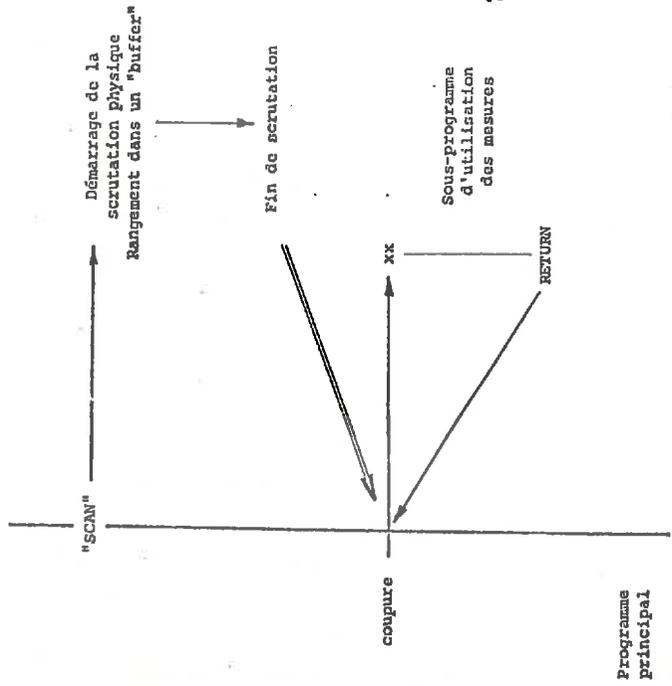


FIG. I.8 FONCTION "SCAN"

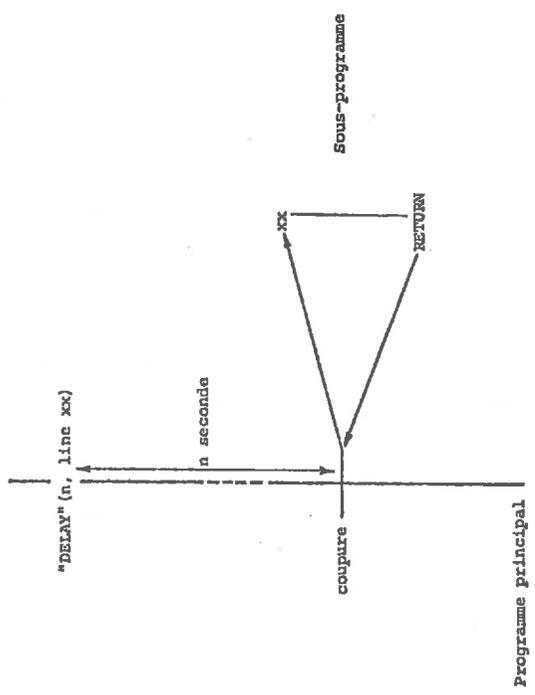


FIG. I.7 FONCTION "DELAY"

donné au sous-programme commençant à la ligne XX ; à la fin du sous programme le contrôle revient au programme principal au niveau de la coupure. Cette fonction permet entre autre, d'effectuer une mesure à intervalles de temps réguliers ou non et de l'imprimer alors que le programme principal exécute des tâches tout à fait différentes.

b) Les fonctions d'acquisition de données : la fonction "MEASURE" permet de faire une mesure isolée sur une voie choisie et d'attribuer la valeur de cette mesure à une variable. On peut aussi, grâce à la fonction "SCAN" scruter un ensemble de voies physiques comprises entre un minimum et un maximum définis par le programmeur, les résultats sont stockés dans un tableau préalablement défini. Il faut noter que cette fonction travaille aussi en temps réel (Figure I-8). Une fonction secondaire a permis au préalable de choisir la gamme du voltmètre et la vitesse de scrutation. Fonctionnant de la même façon que la fonction "SCAN", la fonction "LOGSCAN" a beaucoup plus de possibilités : elle permet, après attribution d'un numéro logique à chaque voie physique, de scruter les voies physiques dans le désordre ; en outre, on peut attribuer à chaque voie une loi d'éta-lonnage et des niveaux d'alarme haute et basse : la fonction LOGSCAN permet d'enregistrer directement les valeurs des grandeurs physiques et de connaître l'état des voies (normale, en alarme haute et basse). Une fonction "ALARM" travaille comme "LOGSCAN" mais sans enregistrer de mesure et avec la possibilité de modifier le cours du programme en cas de fonctionnement anormal. Ces deux dernières fonctions consomment beaucoup de mémoire et sont d'un intérêt discutable lorsqu'un essai utilise toujours les mêmes capteurs (les procédures de programmation courantes sont alors largement suffisantes) ; par contre, elles facilitent beaucoup la programmation d'essais où plusieurs capteurs de caractéristiques différentes ont tour à tour la même fonction.

c) Les fonctions de commande de processus : ces fonctions commandent le double convertisseur Numérique/Analogique - Analogique/Numérique. Elles sont au nombre de deux :

. "DIGOUT" change l'état d'une sor-

tie (actif ou passif) : pratiquement, dans le montage que nous avons réalisé la commande "DIGOUT" fait basculer un double inverseur ; l'état de l'inverseur est rappelé en façade par une diode électroluminescente. Cette commande en association avec des tests sur les mesures et la commande "DELAY" permet de réaliser assez simplement toute opération d'asservissement, même relativement complexe.

. "DIGIN" teste l'état d'une entrée (ouverte ou fermée). Ceci facilite la mise en place de systèmes de sécurité (test de contacts de fin de course par exemple). Il est possible aussi à l'aide de cette commande de faire travailler le calculateur sur plusieurs tâches (Figure I-9). Si un programme principal de mesure par exemple utilise très mal le calculateur (mesures peu fréquentes), on peut régulièrement dans ce programme vérifier l'état d'une ou plusieurs entrées. Le test positif donne le contrôle au début d'un programme secondaire qui, en fin d'exécution revient dans la boucle du programme principal. Ceci permet à l'utilisateur d'appeler autant de fois qu'il le désire des programmes secondaires sans jamais interrompre le déroulement du programme principal.

De plus, ce compilateur comporte des dispositifs particuliers qui permettent l'exécution de fonctions en mode immédiat sans interrompre le déroulement du programme et le redémarrage automatique en cas de coupure accidentelle du secteur : ce redémarrage s'effectue au choix, au début du programme, au point de coupure ou à un sous-programme particulier, ceci, sans perte d'information.

### I-3-3 Possibilités et limites du système

Le matériel d'acquisition très souple associé à un logiciel assez performant, permet d'espérer une grande facilité d'emploi et d'adaptation du système. En effet, les fonctions de commande en temps réel et les mémoires d'attente sur les entrées-sorties occasionnent des pertes de temps minimales dans le déroulement du programme de gestion. On peut donc envisager avec ce système de faire de

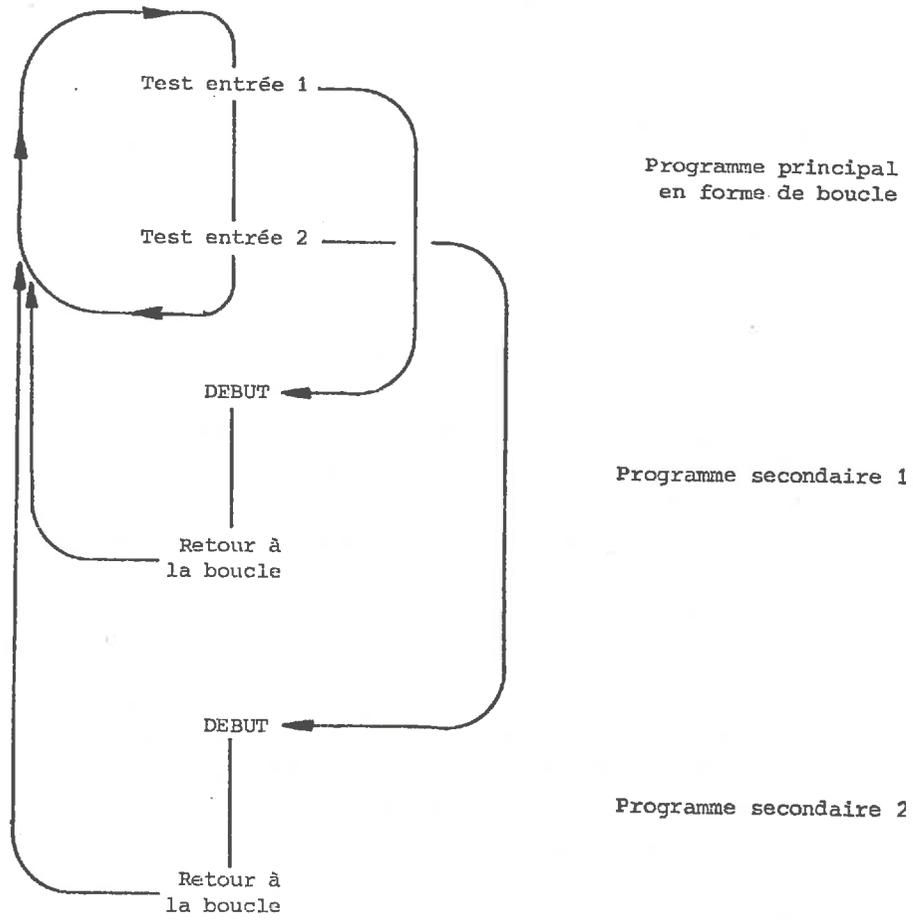


FIG. I.9 ORGANISATION GENERALE D'UN PROGRAMME MULTITACHE

l'acquisition multitâche, c'est à dire sur plusieurs essais simultanément.

Cependant, il ne faut pas exagérer ses possibilités : ces facilités ne sont obtenues qu'au prix d'un compilateur fort encombrant qui réduit d'autant la place pour le ou les programmes utilisateurs. L'appel d'un programme secondaire n'est possible que s'il a été chargé initialement avec le programme principal. Le nombre de programmes secondaires est vite limité par la place mémoire disponible. Le déroulement simultané de plusieurs programmes entraîne la sortie enchevêtrée de données ou de parties conversationnelles : il faut alors soit faire des tris fastidieux, soit multiplier le nombre de périphériques pour en assigner un à chaque programme. Enfin le calculateur ne dispose pas, comme un ordinateur industriel, de moniteur temps réel : cette absence fait que le problème des priorités de tâches ne peut être réglé complètement et conduit parfois à des décalages dans les scrutations qui peuvent atteindre plusieurs secondes.

Cet examen rapide des principales caractéristiques du système montre qu'il est bien adapté à l'acquisition multitâche avec contrôle en retour pour des essais ne nécessitant pas des mesures trop rapprochées dans le temps et dont l'écart n'est pas forcément à respecter rigoureusement. Sur un essai où ces paramètres seraient gênants, le système peut cependant apporter une réponse en supprimant l'acquisition multitâche. D'autre part, le langage conversationnel très accessible et dont l'apprentissage est aisé permet la mise au point, ou la modification très rapide de nouvelles procédures d'essai, ou de traitement.

Ces caractéristiques du système l'adaptent assez bien à un laboratoire de recherche de Mécanique des Sols : les essais courants sont parfois très longs : en effet, un essai oedométrique complet peut durer trois semaines ou un mois et l'écart entre deux mesures successives peut atteindre huit à dix heures. Si l'on veut rentabiliser la chaîne d'acquisition, il faut pouvoir faire d'autres essais ou d'autres traitements simultanément. D'autre part, les recherches en

cours peuvent parfois dicter des essais spéciaux qu'il est alors nécessaire de programmer rapidement.

PARTIE II

ESSAIS DE MECANIQUE DES SOLS. ADAPTATIONS  
ET CHOIX POUR L'AUTOMATISATION

## II - 1 ESSAI TRIAXIAL

### II-1-1 Généralités

L'appareil triaxial est un outil très souple pour l'étude du comportement des sols ; il est possible de faire varier énormément les conditions d'essais. Dans ce travail, nous nous sommes limités à l'automatisation de l'essai conventionnel tel qu'il est défini dans le Mode Opératoire des Laboratoires des Ponts et Chaussées (Dunod 1970).

#### II-1-1-1 But et principe de l'essai

L'essai est effectué sur des éprouvettes cylindriques d'élanement deux. Chaque éprouvette est placée dans une cellule où elle est soumise au champ de contraintes suivant :

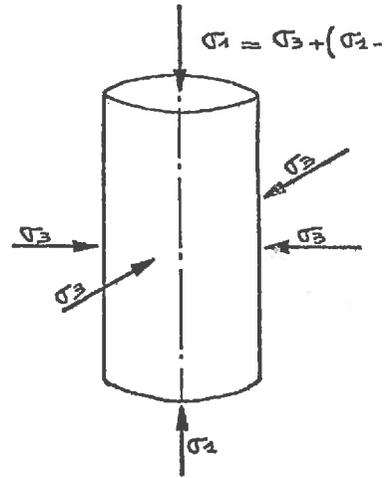
. Une pression hydrostatique  $\sigma_3$  appliquée par un fluide (en général de l'eau) remplissant la cellule. L'éprouvette est isolée de ce fluide par une membrane de caoutchouc souple.

. Une contrainte axiale, appliquée par l'intermédiaire d'un piston (Figure II 1).

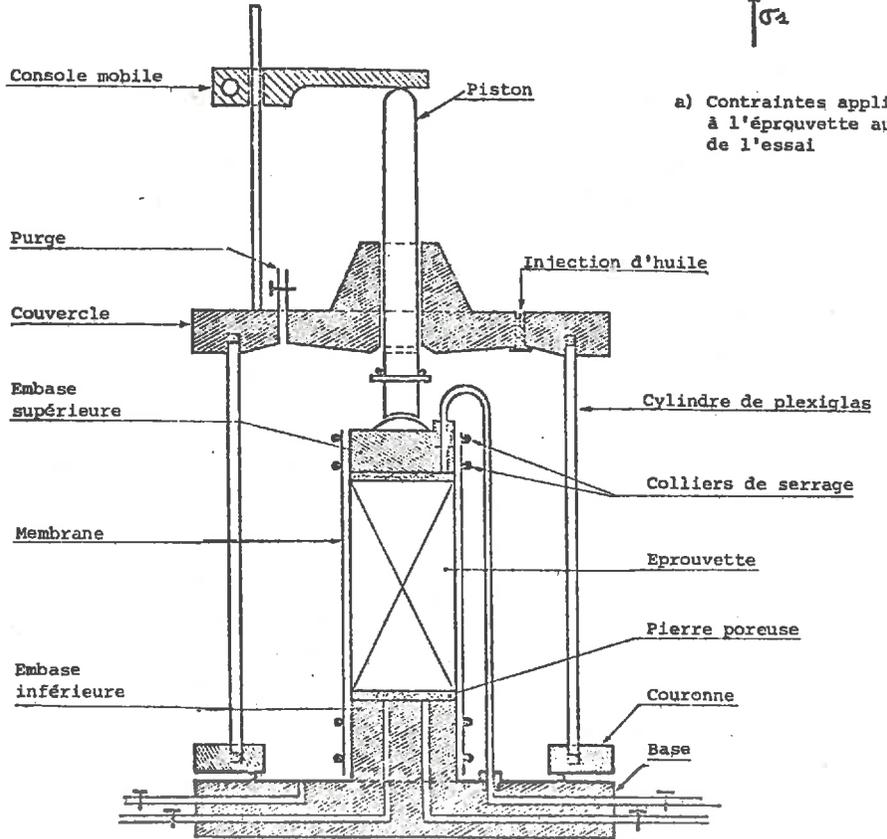
Dans l'essai conventionnel, on maintient la pression hydrostatique constante en faisant croître la contrainte axiale jusqu'à la rupture de l'éprouvette ; cette augmentation du déviateur  $\sigma_1 - \sigma_3$  est obtenue par enfoncement du piston qui est actionné par une presse à vitesse constante.

On déduit de la courbe déviateur - déformation les contraintes principales s'exerçant sur l'éprouvette au moment de la rupture.

L'essai triaxial nécessite le cisaillement de trois ou quatre échantillons sous des pressions hydrostatiques



a) Contraintes appliquées à l'éprouvette au cours de l'essai



b) Cellule d'essai

FIG. II.1 ESSAI TRIAXIAL

différentes. L'état de contrainte de chaque échantillon au moment de la rupture est représenté par un cercle dans le diagramme de Mohr (contraintes normales - contraintes tangentielles). On assimile l'enveloppe des cercles aux droites d'équations  $\tau = \frac{1}{2} (c + \sigma \operatorname{tg} \phi)$  de paramètres  $c$  et  $\phi$  -  $c$  = cohésion ;  $\phi$  = angle de frottement interne - (Figure II 2). Les conduits qui relient l'échantillon à l'extérieur de la cellule peuvent être utilisés pour la saturation, le drainage de l'éprouvette et la mesure des pressions interstitielles (Figure II 1).

L'essai conventionnel s'effectue sur des échantillons saturés . Donc, quand une pression extérieure est appliquée à un sol, la résistance interne se traduit par un accroissement de la pression de l'eau interstitielle et des contraintes développées entre les grains du sol : suivant Terzaghi (1923) on postule l'existence d'un état de contrainte dit "effectif" . Les contraintes effectives se déduisent des contraintes totales par les relations :

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$$

$\sigma_1 \sigma_3$  contraintes totales

$\sigma'_1 \sigma'_3$  contraintes effectives

$u$  pression interstitielle

La mesure de la pression interstitielle pendant le cisaillement permet d'exploiter l'essai en contraintes totales et en contraintes effectives. (Figure II 3).

#### II-1-1-2 Divers types d'essais

Les caractéristiques du matériau varient beaucoup en fonction des possibilités de drainage au cours du cisaillement. A ce titre, trois types d'essais sont réalisés de façon courante.

. Essais non drainés : (U.U.) après saturation de l'échantillon, on effectue le cisaillement sans permettre

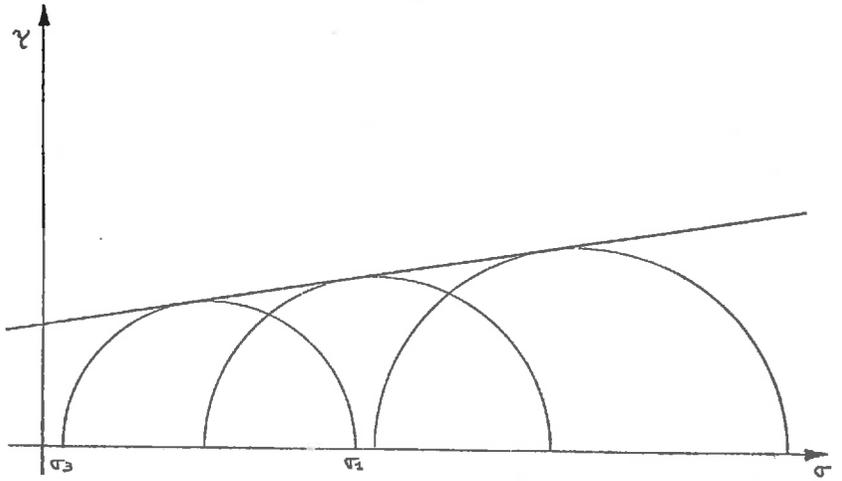
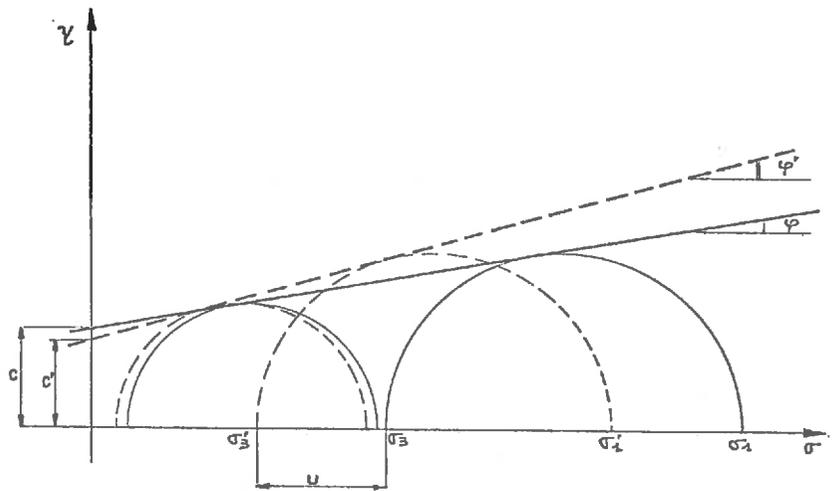


FIG. II.2 EXPLOITATION DE L'ESSAI TRIAXIAL



————— Caractéristiques en contraintes totales  
----- Caractéristiques en contraintes effectives

FIG. II.3 EXPLOITATION D'UN ESSAI C.U. AVEC MESURE DE U.  
EN CONTRAINTES TOTALES ET EFFECTIVES

le drainage. Rapide et peu coûteux, il renseigne uniquement sur les réactions immédiates du sol (tenue d'une tranchée avant étaie- ment). L'application des contraintes entraîne un excès de pression interstitielle parfois considérable.

. Essais consolidés - non drainés (C.U.). Il n'y a drainage que pendant l'application préalable de la contrainte  $\sigma_3$  destinée à assurer la consolidation primaire totale de l'échantillon. Ce type d'essai a deux applications :

- L'étude de la variation de résistance au cisaillement non drainé en fonction de la pression de consolidation : dans ce cas, on exprime les paramètres en contraintes totales :  $C_{cu}$  et  $\phi_{cu}$ .

- L'établissement des caractéristiques  $c'$  et  $\phi'$  des sols saturés sans avoir recours aux essais C.D.. Il faut alors mesurer la pression interstitielle pendant le cisaillement.

C'est l'essai le plus pratiqué en raison de ses possibilités d'interprétation et d'un temps de cisaillement relativement bref.

. Essais consolidés - drainés (C.D.)  
Après consolidation le cisaillement est suffisamment lent pour que la pression interstitielle soit toujours nulle, les contraintes mesurées sont donc les contraintes effectives et l'on détermine directement les caractéristiques intrinsèques du squelette.  $c'$  et  $\phi'$ . Cet essai s'applique très bien à tous les problèmes de stabilité à long terme. Son emploi est limité par la durée souvent considérable de la manipulation.

La plupart des problèmes pratiques courants présentent des conditions de drainage qui peuvent se ramener à l'un des trois cas ci-dessus.

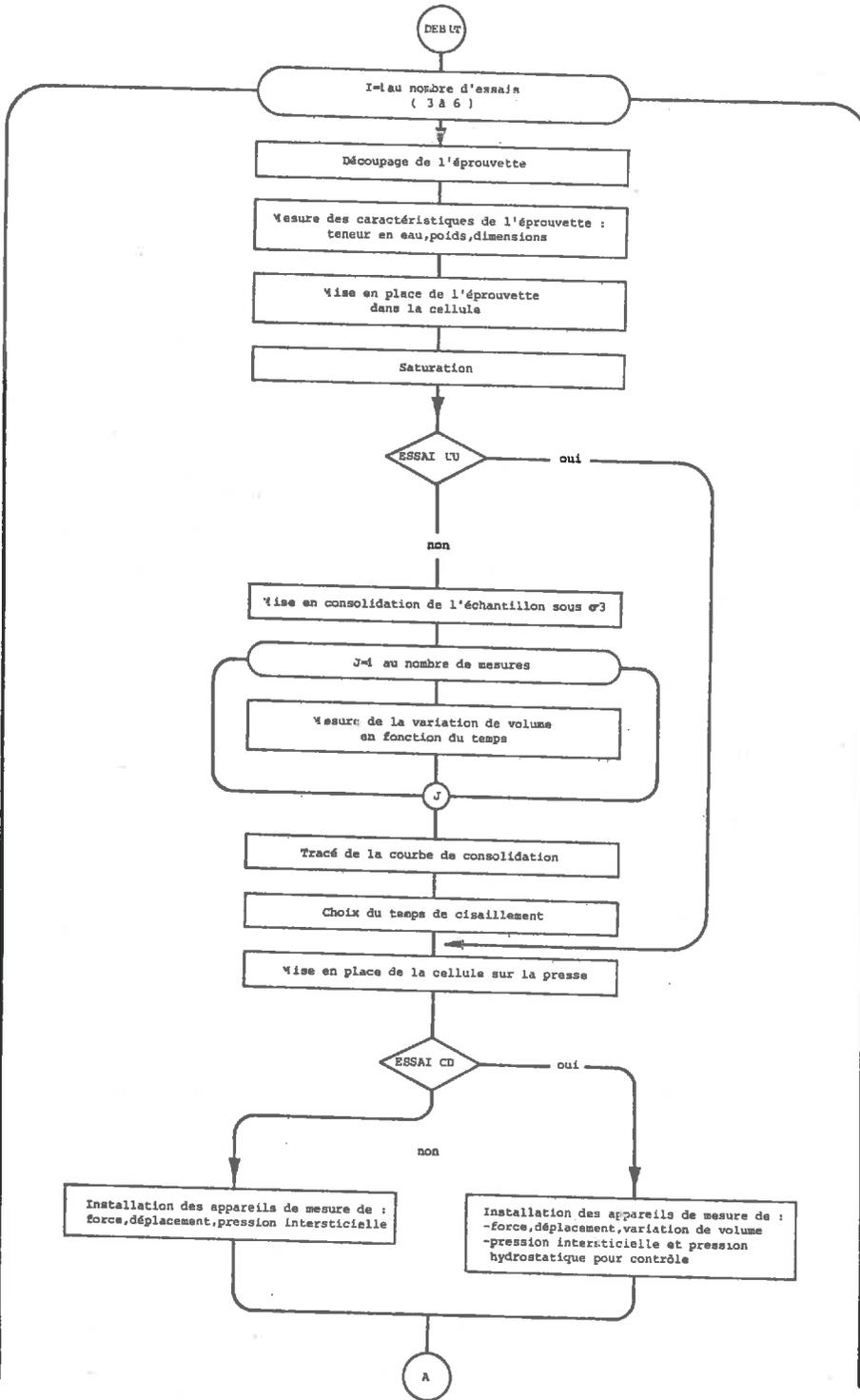
### II-1-1-3 Déroulement de l'essai

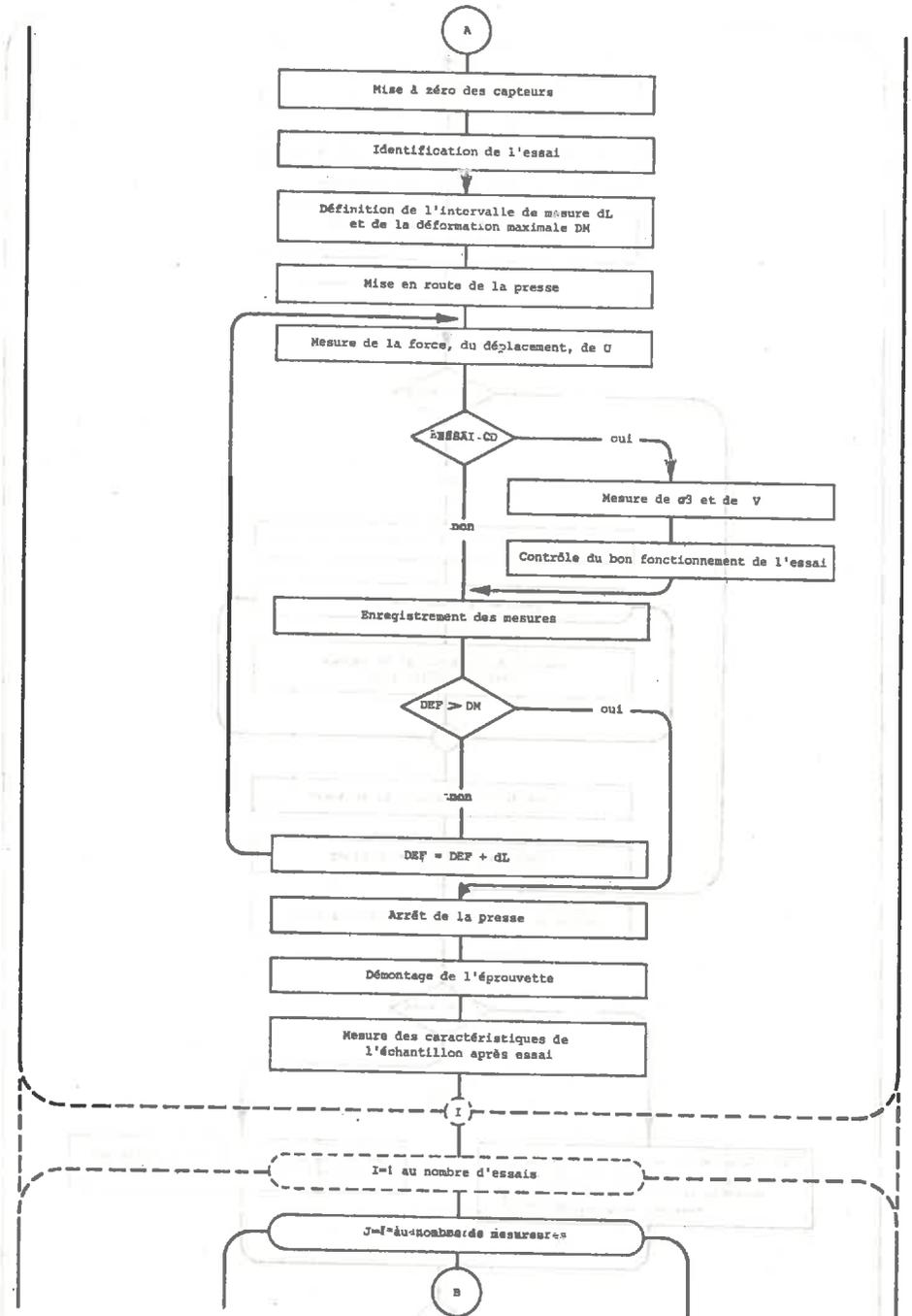
L'automatisation nécessite une analyse détaillée du déroulement de l'essai et du traitement. Afin de faciliter la suite du travail, nous avons présenté cette analyse sous forme d'organigramme.

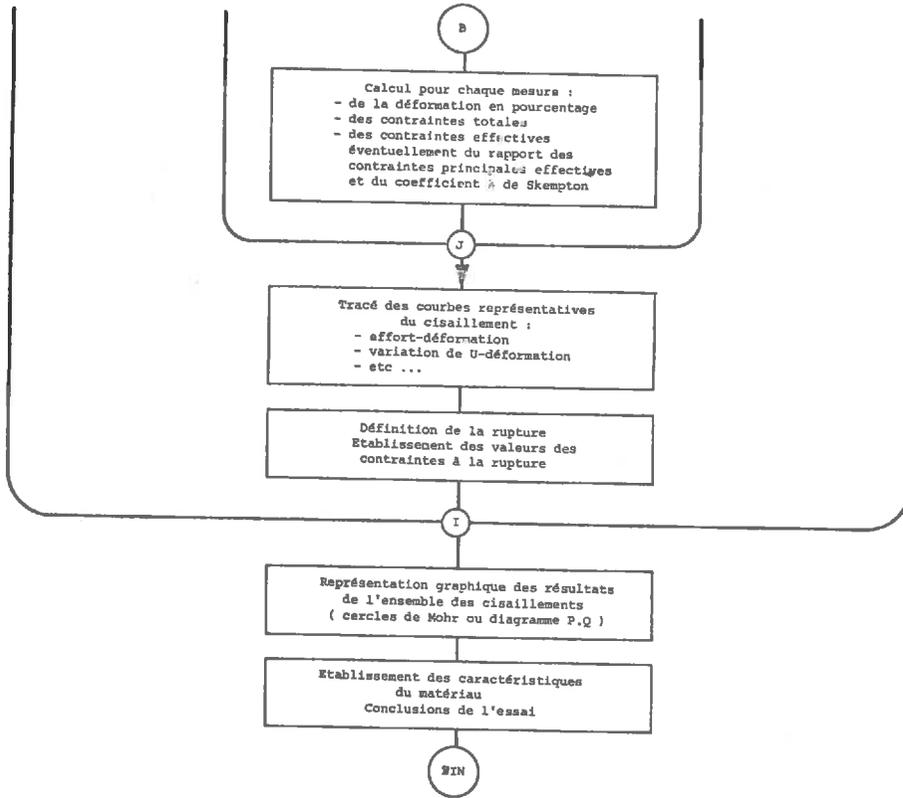
Après montage de l'éprouvette dans la cellule, celle-ci est saturée. Lorsqu'il y a consolidation (essais C.U. et C.D.), la pression  $\sigma_3$  est maintenue dans la cellule à drainage ouvert jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de variation de volume de l'éprouvette. Lors du cisaillement, on mesure à intervalles réguliers de temps ou de déformation, la force appliquée sur le piston et la pression interstitielle (pour les essais non drainés) ou la variation de volume (pour les essais drainés). L'essai est arrêté lorsque la déformation axiale atteint 10 à 20 % (suivant le type de matériau).

Le traitement consiste à calculer les contraintes principales totales et effectives correspondant à chaque mesure et à exprimer les déformations. ( $\Delta h$  et  $\Delta V$ ) de façon relative. Les valeurs des contraintes à la rupture sont déduites de l'examen de la courbe effort - déformation et des courbes de variation de pression interstitielle ou de variation de volume. On emploie aussi souvent la courbe d'évolution du rapport des contraintes principales effectives ( $\sigma'_1/\sigma'_3$ ) en fonction de la déformation.

Toutes ces opérations sont répétées pour chaque cisaillement.







## II-1-2 La manipulation

### II-1-2-1 Matériel d'essai

Ce travail a été effectué sur un appareil triaxial WYKHAM-FARRANCE à quatre postes de consolidation par pots de mercure. Le cisaillement est exécuté sur une presse de dix tonnes, à commande digitale de la vitesse entre  $10^{-4}$  et 50 mm par minute. Toutes les fonctions de la presse (choix de gamme, sens de déformation, déplacements rapides) sont pilotées par un système électronique à relais (Fig. II-4).

Les mesures étaient effectuées à l'aide des moyens classiques : anneaux dynamométriques pour la mesure de force, comparateur et appareil de mesure de pression interstitielle à indicateur de zéro.

### II-1-2-2 Mode de conduite de la manipulation

Le mode de conduite de l'essai est décrit dans l'organigramme ci-dessus (II-1-1-4). Habituellement, les mesures sont faites en fonction de la déformation axiale de l'échantillon ; l'intervalle de mesure est de 0,25 mm pour les petits échantillons (moins de 5 cm de diamètre) et 0,5 mm pour les grands. Comme la vitesse de déformation imposée est constante pendant le cisaillement et qu'il est plus facile de programmer des mesures de temps que les autres, dans la procédure d'essai automatique nous ferons les mesures en fonction du temps. Le calcul de cet intervalle de temps est effectué automatiquement à partir de la vitesse d'essai et de l'intervalle de déformation choisi par l'opérateur. Sauf lors des premières mesures qui correspondent à la mise en compression de l'anneau, la différence entre les deux modes d'essais est insignifiante.

Nous avons prévu de mesurer automatiquement la force, le déplacement du piston, la pression interstitielle, la variation de volume de l'échantillon et la pression hydrostatique ; dans l'essai classique cette dernière mesure n'a qu'un rôle de

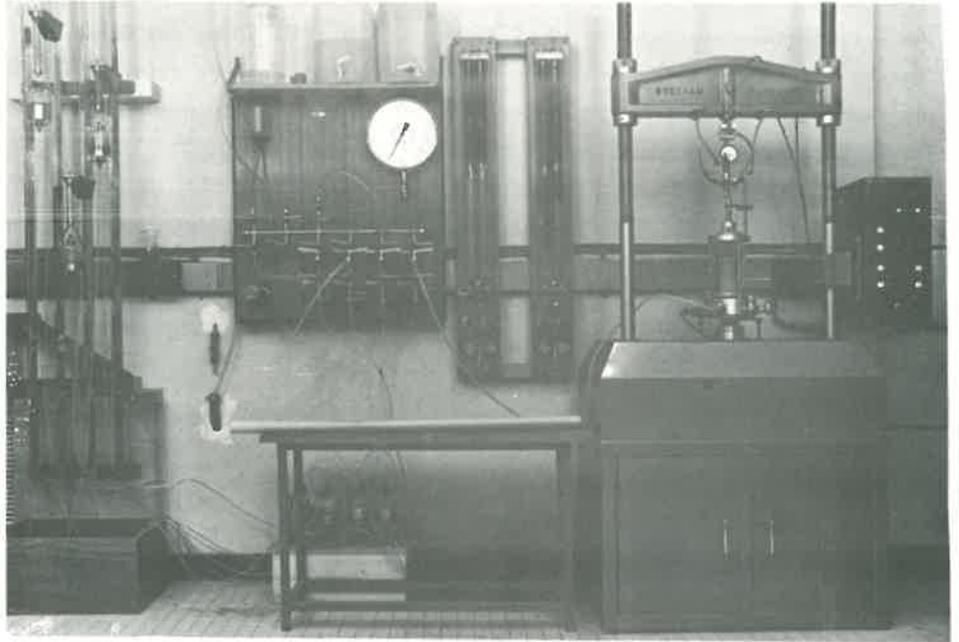


FIG. II. 4 - APPAREIL TRIAXIAL.

sécurité pour déceler une éventuelle défaillance de la cellule du système de mise en pression.

A part ces deux points, le déroulement de l'essai n'a pas été modifié par l'automatisation.

II-1-2-3 Problèmes liés à la mesure automatique

II-1-2-3-1 Le contrôle de l'essai

Dans les essais C.D. le cisaillement peut durer très longtemps (plusieurs journées). L'automatisation n'est alors intéressante que si l'on peut laisser l'appareil sans surveillance durant toute la manipulation. Ceci nous a conduit à intégrer dans le processus d'essai des fonctions de contrôle et de pilotage. Ces fonctions s'exercent dans trois cas :

- Pour tous les essais, afin de faciliter le travail de l'opérateur et éviter d'éventuels oublis, il y a mise en route automatique au début du cisaillement et arrêt à la fin.

- Si une coupure de courant accidentelle et de courte durée survient pendant la phase de mesure, le calculateur assure le redémarrage de la presse et la reprise de l'acquisition.

- Pour les essais de longue durée, laissés sans surveillance, un contrôle de l'effort sur anneau et de la pression dans la cellule est effectué toutes les trente secondes. Si les valeurs de ces deux grandeurs sortent des limites imposées au départ par l'opérateur - ce qui correspond à un fonctionnement anormal risquant de détériorer le matériel - l'essai est arrêté immédiatement et un signal d'alarme est déclenché.

Ces commandes du matériel d'essai sont réalisées assez simplement grâce aux sorties analogiques tout ou rien du calculateur ; il a fallu cependant modifier quelque peu le câblage du boîtier de contrôle de la presse pour arriver à ce résultat.

#### II-1-2-3-2 Choix des capteurs

La mesure automatique suppose l'emploi de capteurs : leur choix est conditionné par le type de grandeur étudié, la pression requise et le système de mesure utilisé.

La chaîne d'acquisition est équipée d'un voltmètre pour courant continu et dispose d'une alimentation de 10 V continu commutable sur les capteurs. Dans la mesure du possible nous avons choisi des capteurs directement compatibles avec ces caractéristiques.

. Mesure de force : Les efforts mesurés dans l'essai triaxial varient dans une plage assez grande suivant les types de sol et les dimensions des échantillons ; les forces nécessaires sont de quelques kilogrammes, à quelques tonnes pour les dimensions d'échantillon courantes (jusqu'à 140 mm de diamètre). Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas possible de mesurer des efforts aussi variés avec une bonne précision (de l'ordre de 1 %) au moyen d'un seul capteur. Il faut donc disposer de tout un jeu d'appareils adaptés aux différents cas. Les capteurs d'effort étant parmi les plus coûteux, nous avons tenté d'utiliser les anneaux dynamométriques dont nous disposions. Deux transformations étaient possibles :

- Remplacer le comparateur par un capteur de déplacement.

- Câbler sur l'anneau des jauges de déformation dans la zone de plus grande flexion.

La seconde solution étant moins onéreuse, nous l'avons essayée. Quatre jauges ont été collées sur l'

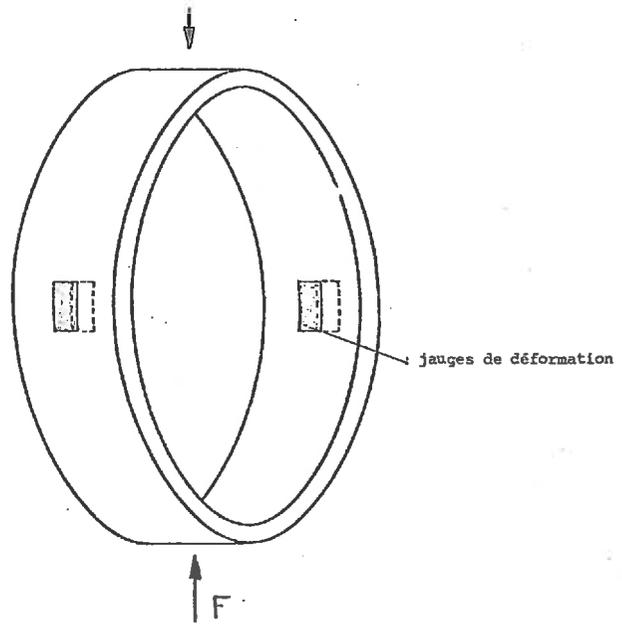
anneau comme l'indique la figure II 5 a et câblées en pont complet. Notre choix s'est porté sur des jauges de grande résistance (350  $\Omega$ ) afin d'améliorer la sensibilité. Des tests systématiques des anneaux ainsi préparés ont été faits au moyen d'un bâti de chargement à poids. Ces essais conduits selon la méthode décrite en III-2-1 font apparaître une erreur de linéarité globale (incluant l'hystérésis) de l'ordre de 0,8 à 0,9 % dans une plage de 10 à 100 % de la pleine échelle. (voir exemple d'étalonnage figure II 5 b). Ces caractéristiques sont très voisines de celles annoncées par le constructeur des anneaux et sont largement suffisantes pour la précision requise par l'essai. Nous avons donc adopté ces capteurs pour la mesure de force.

. Mesure du déplacement : Nous avons utilisé un potentiomètre linéaire (plage de mesure : 0 à 50 mm  $\pm$  0,01 mm).

. Mesure des pressions : Le contrôle de la pression hydrostatique est fait à l'aide d'un capteur à jauges de gamme 0-10 bars. Le choix pour la mesure de pression interstitielle est plus délicat, il faut un capteur susceptible de mesurer des pressions inférieures à la pression atmosphérique et surtout de très grande sensibilité : en effet, si la réponse du capteur requiert une grande déformation de la membrane, cela provoque un drainage de l'échantillon. Nous avons utilisé un capteur à fil tendu ayant une gamme de 0 à 5 bars (absolu) (variation volumique inférieure à  $10^{-4}$  cm<sup>3</sup>). Les tests réalisés à l'aide d'un manomètre à mercure font apparaître une erreur absolue maximale de  $\pm$  7 mbars sur la mesure (erreur de linéarité globale). Les capteurs de pression sont branchés sur la cellule par l'intermédiaire d'un raccord qui permet leur jonction en parallèle sur un circuit classique, leur isolement et la purge de l'ensemble.

. Mesure des variations de volume :

Aucun appareil n'étant disponible sur le marché pour la mesure du volume drainé, nous avons conçu et fa-



a) Position de collage des jauges de déformation sur l'anneau dynamométrique

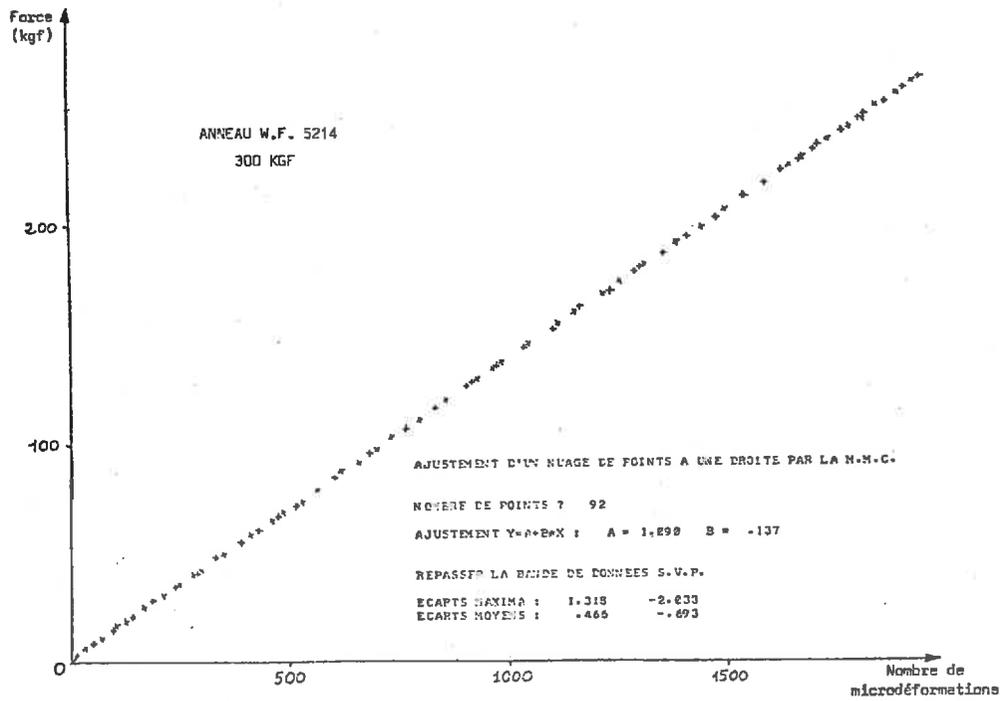


FIG. II.5 CAPTEUR DE FORCE

briqué un capteur (1) qui est décrit dans le paragraphe suivant.

II-1-2-3-3 Le capteur de variation de volume

- Le problème posé : La connaissance de la variation du volume de l'échantillon est d'un grand intérêt pour l'interprétation des essais drainés et des essais sur sols non saturés. Les mesures de grandeurs caractéristiques (par voie optique ou mécanique) qui permettraient de calculer le volume, sont exclues car l'échantillon se déforme de façon tout à fait irrégulière. Il reste alors deux possibilités :

. dans le cas des échantillons saturés, mesurer la quantité d'eau qui entre ou qui s'échappe de l'échantillon pendant la déformation ;

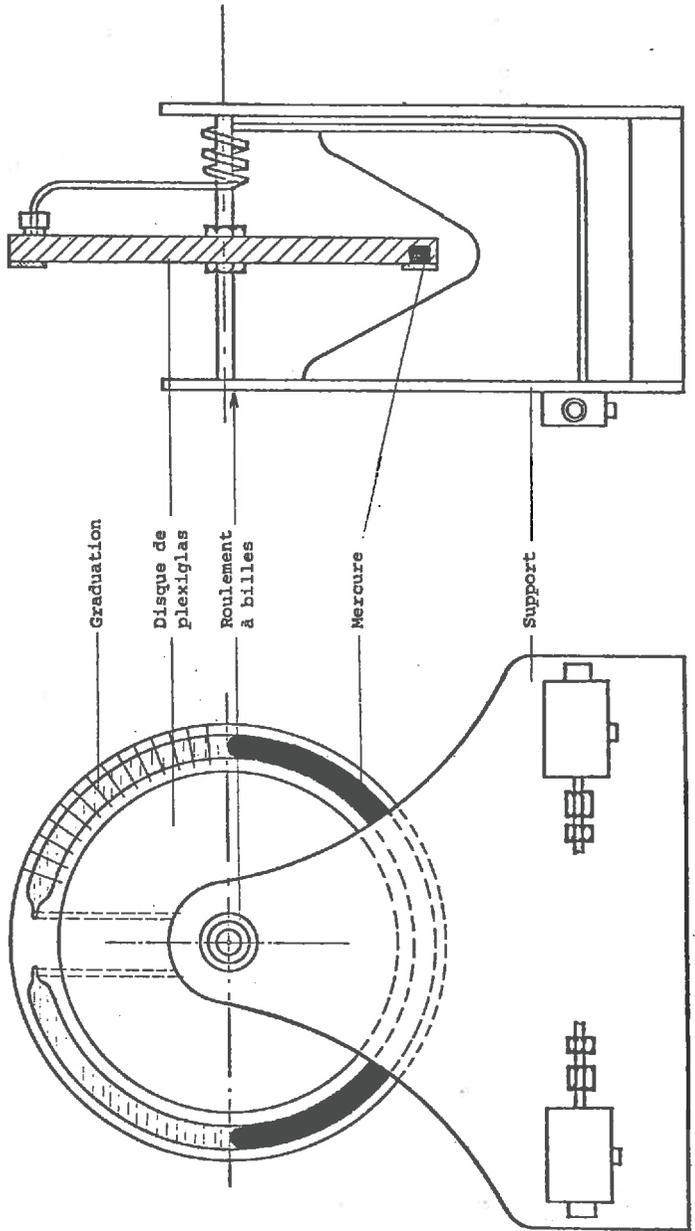
. dans tous les cas, la taille de la cellule ne variant pas pendant l'essai (à part l'enfoncement du piston qui peut être facilement étalonné), mesurer la quantité d'eau qui entre ou qui sort de la cellule.

Il faut donc réaliser un appareil qui permette la mesure sans modification du drainage de l'échantillon ni modification de la pression ou de la contre-pression éventuelle qui doit être transmise par l'eau vers la cellule ou l'échantillon. Nous avons commencé ce travail par une étude bibliographique des appareils déjà décrits.

- Les systèmes de mesure de la variation de volume : Beaucoup de systèmes de mesure électrique étant des

---

(1) Ce capteur a fait l'objet d'un dépôt de brevet enregistré le



adaptations des systèmes à mesure directe traditionnels, il n'est pas inutile de rappeler les principes de ces derniers.

1°) Tubes à deux liquides : il s'agit de l'extrapolation du traditionnel tube en U sur le principe duquel nous ne reviendrons pas. Il faut cependant signaler que la dénivellation entre les deux branches du U introduit une petite différence de pression entre l'amont et l'aval de l'appareil (au maximum quelques dizaines de grammes par  $\text{cm}^2$ ) - Ajoutons que la réalisation du tube en U utilisant deux tubes concentriques permet de limiter les erreurs dues à la dilatation du tube de mesure lors de la mise sous pression (dilatation qui provoque une variation de la section de mesure).

2°) Burette de mercure : elle est décrite par Bishop (1962) ; son principe est le même que celui des appareils précédents mais, le liquide utilisé étant le mercure, elle est munie d'un système autocompensateur à ressort qui permet d'obtenir rigoureusement la même pression à l'amont et à l'aval de l'appareil.

3°) Appareil à roue mobile : décrit par Bishop (1962) ; il est encore basé sur l'utilisation d'un tube en U, mais ici le tube a une forme circulaire et est solidaire d'un disque vertical mobile autour de son axe ; le liquide de séparation est du mercure si bien que lorsqu'il y a déplacement du liquide, le balourd provoqué par le mercure fait tourner le disque d'un angle proportionnel au déplacement (voir figure II-6).

La plupart des capteurs électriques proposent des adaptations de ces systèmes.

Ainsi, Marucic (1974) propose une burette à deux liquides où un flotteur suit l'interface entre les deux liquides : ce flotteur est relié par une tige au noyau d'un capteur de déplacement rectiligne à transformateur différentiel. L'utilisation d'un tel capteur évite le problème de l'étanchéité au passage d'une

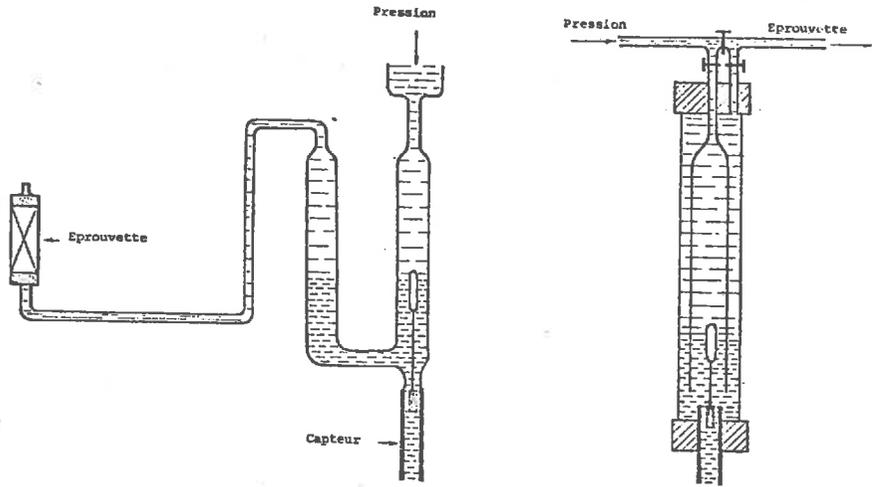


FIG. II.7 (D'APRES J.MARUCIC -1974-)

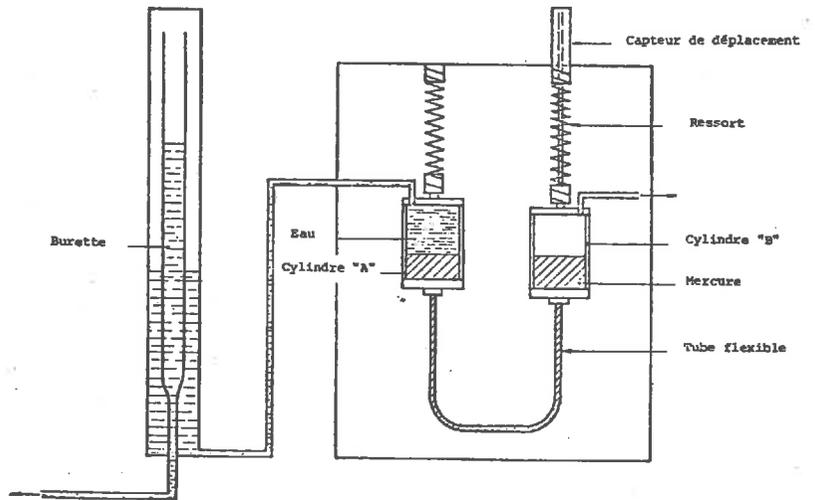


FIG. II.8 (D'APRES G.O.ROWLANDS -1972-)

tige de transmission. L'auteur a mis au point et testé un modèle d'une capacité de  $20 \text{ cm}^3$ . Le schéma de l'appareil se trouve figure II 7.

Les systèmes autocompensés à pots de mercure ont donné lieu à plusieurs réalisations. La première, celle de Rowlands (1972) (figure II 8) utilise deux pots de mercure suspendus à des ressorts dont le coefficient est tel que le niveau du mercure reste constant dans l'absolu quel que soit l'état de remplissage du pot. Dans ces conditions un mouvement de liquide se traduit par un déplacement vertical du pot qui est proportionnel à la variation de volume à mesurer. Il suffit alors de mesurer ce déplacement à l'aide d'un capteur potentiométrique ou à transformateur différentiel.

Cet appareil doit d'après l'auteur enregistrer des variations de volume jusqu'à  $250 \text{ cm}^3$  avec une précision de  $0,0016 \text{ cm}^3$ . Nos essais pour réaliser un capteur de ce type se sont soldés par un échec : nous nous sommes heurtés à deux problèmes :

. Les pots de plexyglas ont des variations de section assez importantes avec l'augmentation de pression.

. Le fonctionnement correct de l'appareil suppose l'utilisation de deux ressorts, parfaitement étalonnés et parfaitement linéaires. Malgré de nombreux essais, nous ne sommes jamais parvenus à ce résultat.

Sur un principe voisin, Klementev (1974) décrit une balance à jauges de contrainte dont l'utilisation semble fort compliquée.

Enfin, parmi les capteurs existants, il faut signaler ceux où le liquide de séparation est remplacé par un piston relié à un capteur de déplacement linéaire (voir principe sur la figure II 9). Un tel système a été commercialisé par la fir-

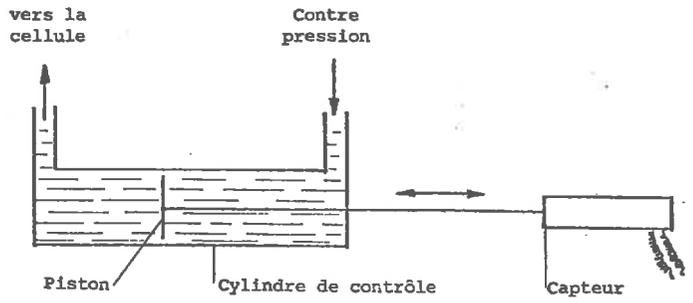


FIG. II.9

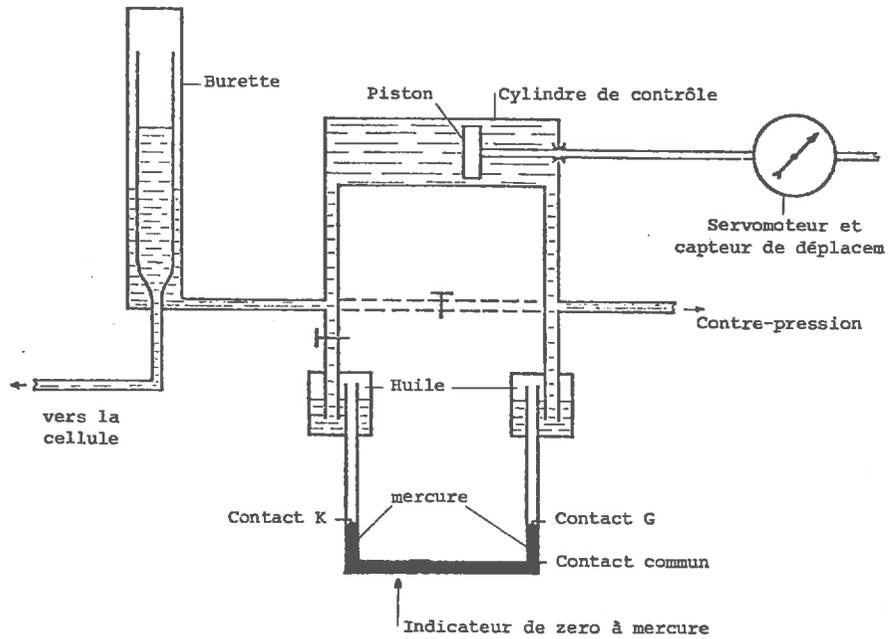


FIG. II.10 (D'APRES P.I.LEWIN -1971-)

me Wykeham Farrance avec un succès modéré car outre, une capacité réduite, cet appareil présentait de graves défauts d'étanchéité au niveau du piston et de la sortie de la tige de mesure : il est en effet très difficile d'obtenir un frottement très doux exigé par la conservation des pressions et une bonne étanchéité à haute pression (10 bars). Pour palier cet inconvénient Lewin (1971) a proposé un appareil à servomécanisme (figure II 10) où un indicateur de zéro à contacts électriques déclenche le fonctionnement d'un servomoteur qui entraîne le piston, un capteur de déplacement est simplement relié à la tige du piston. Ce système permet d'assurer une bonne étanchéité mais présente l'inconvénient d'être très coûteux.

Parmi les appareils décrits, beaucoup sont très compliqués, faisant intervenir des servomécanismes coûteux, ou des pièces mécaniques délicates à réaliser (ressorts). Le seul appareil intéressant est la burette à flotteur décrite par Marucic. Nous n'avons cependant pas retenu ce capteur car une grande précision est nécessaire dans la mesure des volumes drainés et dans ce cas, une augmentation de précision se traduit par une diminution de la section de la burette : il faut alors utiliser des capteurs à très grande course pour garder une gamme de mesure acceptable.

- Description du capteur réalisé :

L'appareil que nous avons réalisé reprend le principe de l'indicateur à roue décrit par Bishop : un capteur de déplacement angulaire mesure l'angle de déviation de la roue.

Les figures II 11 et II 12 montrent des vues d'ensemble et le schéma de montage de l'appareil. Le disque de Dural est creusé d'une gorge légèrement trapézoïdale de  $0,5 \text{ cm}^2$  de section (les tolérances sur les dimensions de la gorge sont de 1/100 de mm).

---

Note : La Société Wykeham Farrance a commercialisé, début 1977, un appareil sur ce principe : l'étanchéité est réalisée au moyen d'une membrane Bellofram et la mesure est effectuée par un capteur inductif immergé.

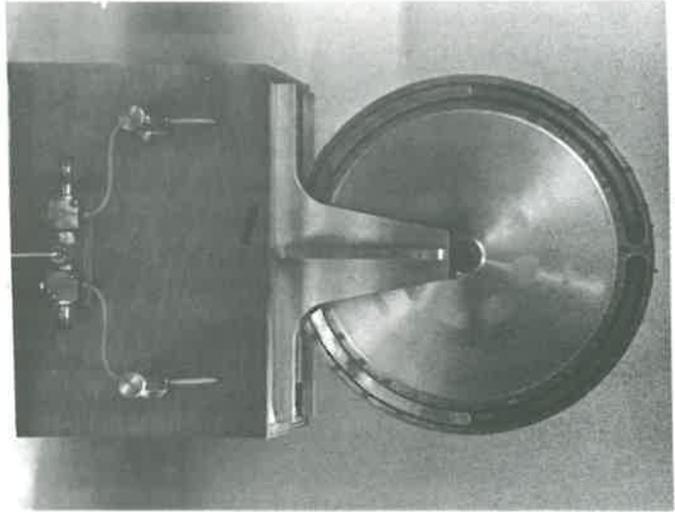
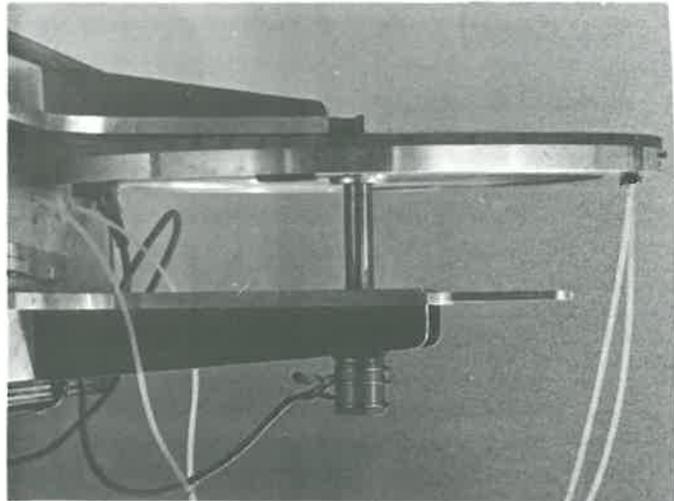


FIG. II.11 - CAPTEUR DE VARIATION DE VOLUME.



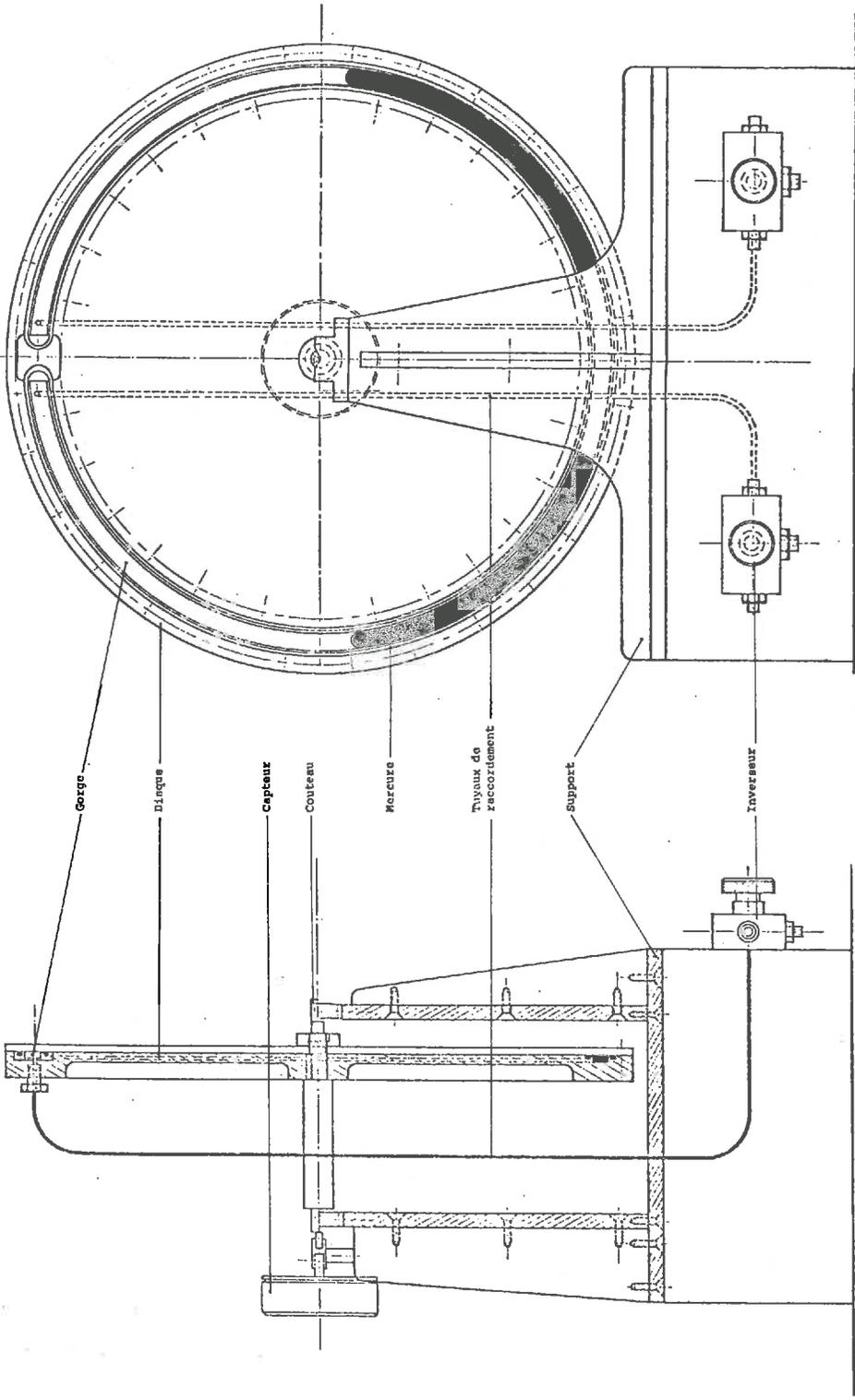


FIG. II.12 CAPTEUR DE VARIATION DE VOLUME

La gorge est fermée par un disque de plexyglas de 1 cm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint cylindrique ; les vis de maintien ont été serrées rigoureusement au même couple pour éviter que des différences d'écrasement du joint n'engendrent des variations de section de la gorge. Celle-ci est reliée par deux tubes de rilsan de 3 mm de diamètre extérieur à un système de robinetterie qui permet d'inverser le sens de l'écoulement dans l'appareil. Le disque est posé sur deux couteaux et peut avoir une rotation de plus ou moins 30° autour de la position d'équilibre : ceci fournit une gamme de mesure de plus ou moins 5 cm<sup>3</sup> pour cette dimension de gorge. Le capteur de rotation est raccordé en bout d'axe par l'intermédiaire d'un joint souple : il s'agit d'un capteur inductif dont le couple d'entraînement est très faible (0,5 g.cm).

- Les inconvénients du capteur :

Les premières difficultés sont liées au choix des matériaux : le disque ne doit réagir ni avec l'eau ni avec le mercure. Nous avons écarté les matières plastiques car on ne peut pas les usiner avec précision, pour utiliser finalement du dural : celui-ci a été plastifié pour l'isoler du mercure (la couche de plastique de quelques microns n'affecte pas les dimensions de la gorge).

Les caractéristiques de sensibilité et de précision du capteur ne sont réalisées qu'avec un couple résistant très faible : celui-ci est obtenu pour l'emploi des couteaux et du capteur inductif.

La linéarité peut être considérablement affectée par la résistance à la flexion des tuyaux de raccordement entre disque et le support ; on est en effet obligé d'utiliser des tuyaux de rilsan qui ne se déforment pas sous l'influence de la pression. Ces efforts de flexions ont été pratiquement éliminés en faisant décrire aux tuyaux une large boucle derrière le disque.

Enfin, l'ensemble mobile présente une certaine inertie qui provoque des oscillations lorsque les varia-

tions de volume sont brutales. Ces oscillations n'ont jamais été observées lors des utilisations sur essai triaxial : dans ce cas, en effet, les variations de volume sont toujours très progressives.

- Caractéristiques mesurées :

Nous avons testé la résistance à la pression et l'étalonnage du capteur :

. Résistance à la pression : l'ensemble disque robinetterie a été soumis à une pression de 12 bars sans qu'apparaissent de fuites. D'autre part, nous avons mesuré la variation de volume de l'appareil pour cet incrément de pression : l'augmentation de volume interne ne dépasse pas  $0,1 \text{ cm}^3$  et se produit immédiatement lors de la mise sous pression : des mesures à pression constante ne seront donc pas affectées par ce petit écart.

. Etalonnage : les mesures à la burette, à deux liquides étant trop imprécises, il a fallu mettre au point un dispositif d'étalonnage. Les premiers essais ont été faits par pesées : le capteur était alimenté par un réservoir et débitait par l'intermédiaire d'un compte goutte dans un récipient taré, posé sur une balance au centigramme. Ce système avait deux inconvénients : il ne permettait de travailler qu'à pression atmosphérique et il était impossible d'exécuter des changements de sens de variation de volume.

Nous avons alors réalisé un appareil d'étalonnage à piston plongeur (figure II-13) dont les caractéristiques sont les suivantes :

Le piston a un diamètre de  $0,806 \pm 0,001 \text{ cm}$ , soit une section de  $0,510 \text{ cm}^2$ . Sa course est de 20 cm ce qui lui permet d'engendrer une variation de volume de  $10 \text{ cm}^3$ .

Les déplacements du piston sont mesurés à l'aide d'un cathétomètre où l'on apprécie le  $1/20 \text{ mm}$ , l'erreur absolue sur l'écart  $H - H_0$  sera donc de  $10^{-2} \text{ cm}$ .

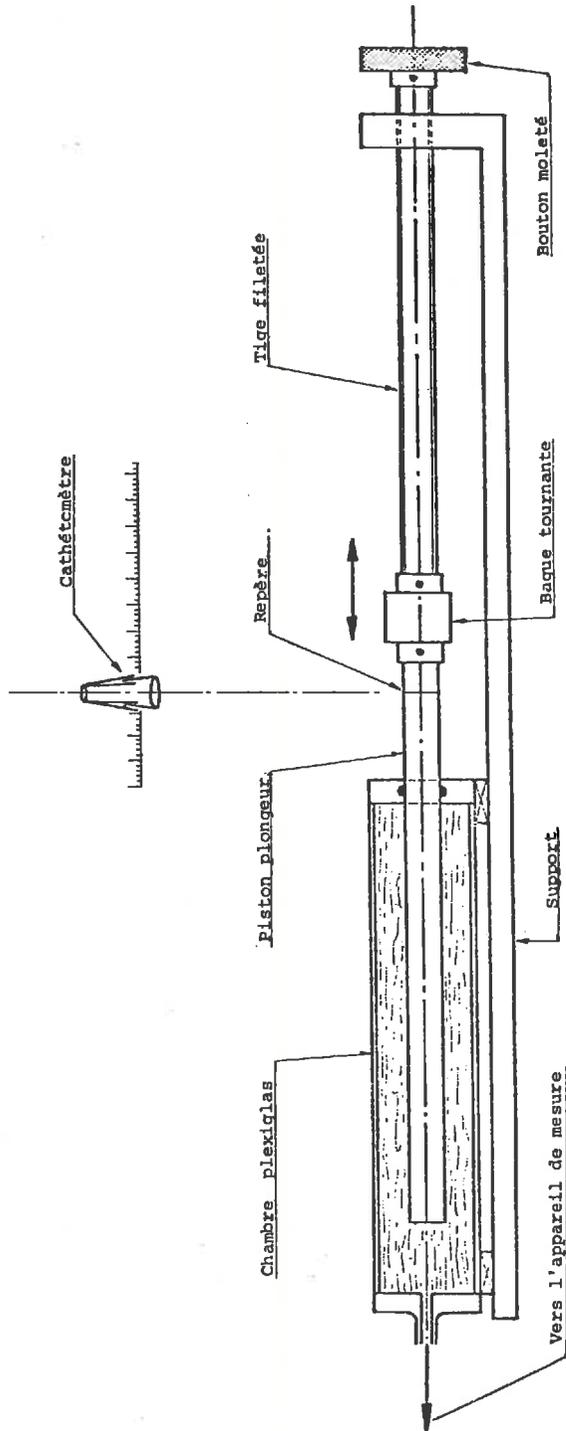


FIG. II.13 APPAREIL D'ETALONNAGE DU CAPTEUR DE VARIATION DE VOLUME

Le volume engendré est obtenu

par :

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times (H - H_0)$$

D diamètre du piston

H<sub>0</sub> mesure de la position zéro du piston

H mesure de la position du piston

Donc l'erreur sur V s'écrit :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{2 \Delta D}{D} + \frac{\Delta H}{(H - H_0)}$$
$$= \frac{2 \times 10^{-3}}{0,806} + \frac{10^{-2}}{H - H_0} = 2,48 \times 10^{-3} + \frac{10^{-2}}{H - H_0}$$

pour  $H - H_0 = 1 \text{ cm}$       $V = 0,510 \text{ cm}^3$

$$\frac{\Delta V}{V} = 2,48 \times 10^{-3} + 10^{-2} = 1,248 \times 10^{-2}$$

$$\Delta V = \pm 6,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

pour  $H - H_0 = 5 \text{ cm}$       $V = 2,55 \text{ cm}^3$

$$\frac{\Delta V}{V} = 2,48 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-3} = 4,48 \times 10^{-3}$$

$$\Delta V = \pm 11,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

pour  $H - H_0 = 10 \text{ cm}$       $V = 5,1 \text{ cm}^3$

$$\frac{\Delta V}{V} = 2,48 \times 10^{-3} + 10^{-3} = 3,48 \times 10^{-3}$$

$$\Delta V = \pm 17,7 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

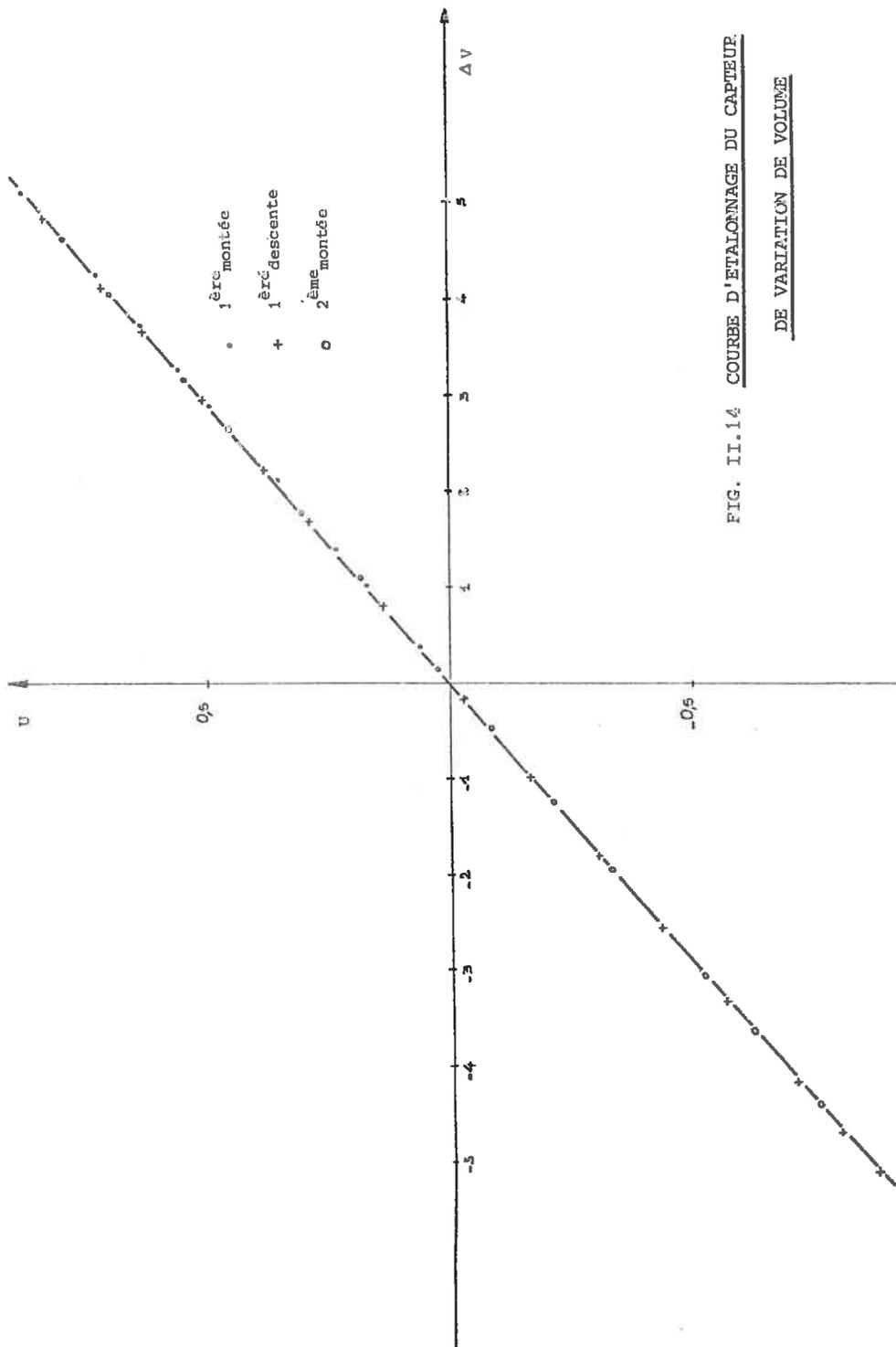


FIG. II.14 COURBE D'ETALONNAGE DU CAPTEUR.  
DE VARIATION DE VOLUME

L'erreur absolue sur la variation de volume générée par ce système est donc toujours inférieure à  $2/100^{\circ}$  de  $\text{cm}^3$  : le capteur a été étalonné pour différentes pressions par la méthode décrite au paragraphe III-2-1 : la figure II 14 montre la représentation graphique d'un de ces tests. La loi d'étalonnage est linéaire :

$$DV = 5,85 X - 0,025$$

DV : variation de volume en  $\text{cm}^3$

X : variation de réponse électrique du capteur en volts.

Les écarts de linéarité maximum sont de  $\pm 5$  centièmes de  $\text{cm}^3$ , ce qui représente une erreur de linéarité de 0,5 % de la pleine échelle.

Les essais sous différentes pressions font apparaître la même pente d'étalonnage ; l'ordonnée à l'origine varie dans une plage de  $\pm 0,04 \text{ cm}^3$  : il semble que celle-ci varie suivant l'état initial du capteur et qu'il est possible de l'intégrer dans l'erreur de linéarité.

La fonction d'étalonnage retenue pour ce capteur sera donc :

$$DV = 0,85 \times X \pm 0,05$$

Ce capteur relativement simple et peu coûteux permet une grande précision de mesure. En outre, il est possible de concevoir un appareil à disques interchangeables qui permettrait d'avoir plusieurs gammes de mesures pour le même capteur.

## II-1-3 Traitement de l'essai triaxial

### II-1-3-1 Traitement conventionnel

Nous avons décidé d'automatiser le traitement jusqu'au choix des contraintes de rupture exclu ; ceci pour trois raisons :

. Les modes de rupture des sols sont très variés et le choix du moment de la rupture se fait sur l'appréciation d'un grand nombre de facteurs dont certains sont assez subjectifs : la programmation de critère conduirait à une schématisation sûrement néfaste.

. La phase finale du traitement est très rapide, on peut l'estimer à 1/4 d'heure environ et le gain de temps apporté par son automatisation ne justifie pas la complication du programme

. Enfin l'obligation pour l'opérateur d'interpréter l'essai pour en tirer les coefficients utilisables, la force à analyser et à critiquer les résultats.

Le but du traitement automatique est de donner à l'opérateur le maximum d'éléments élaborés pour lui permettre l'interprétation finale de l'essai. L'essai fournit l'évolution de six paramètres :

- le temps
- l'effort sur le piston
- le déplacement du piston
- la pression interstitielle
- la variation de volume
- la pression hydrostatique

suivant les types d'essais certains de ces paramètres sont fixes ou nuls. Le traitement va transformer ces données en grandeurs physiques mieux adaptées à l'interprétation :

- déformation axiale relative
- déviateur de contrainte
- pression interstitielle
- rapport des contraintes principales effectives
- variation relative de volume

Ces calculs supposent la connaissance des caractéristiques de l'échantillon avant le cisaillement : dimensions, poids, teneur en eau et variation de volume pendant la consolidation.

Pour calculer les contraintes à partir des efforts, il est nécessaire de déterminer la surface sur laquelle s'applique cet effort. Sous l'action du déviateur, l'échantillon a tendance à prendre une forme de tonneau plus ou moins irrégulier et il est impossible de savoir la section réelle de l'échantillon. Nous avons utilisé l'hypothèse simplificatrice la plus courante qui consiste à considérer que l'échantillon a une forme cylindrique après déformation (figure II 15). La section de l'échantillon s'exprime donc par :

$$S = \frac{V_0 - DV_0 - DV}{H_0 - DH_0 - DH}$$

S = section de l'échantillon

V<sub>0</sub> = volume initial

DV<sub>0</sub> = variation de volume lors de la consolidation

H<sub>0</sub> = hauteur initiale de l'échantillon

DH<sub>0</sub> = variation de hauteur lors de la consolidation

DH = déplacement du piston

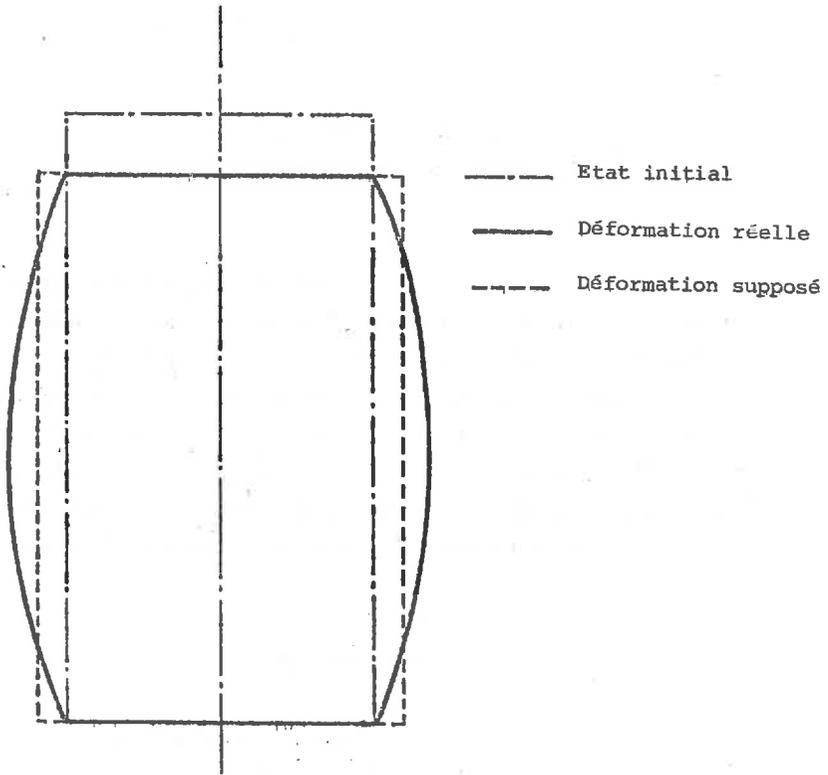


FIG. II.15 DEFORMATION DE L'ECHANTILLON TRIAXIAL AU COURS DU CISAILLEME

Le déviateur s'exprime par :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{F}{S}$$

F = force appliquée sur le piston

D'où l'on tire :

$$\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$$

$$\sigma_1' = \sigma_1 - U$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - U$$

$$R = \frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}$$

La représentation graphique de :

$\sigma_1 - \sigma_3$ , U et R en fonction de la déformation facilite beaucoup l'interprétation ; il est donc souhaitable que le programme de traitement exécute le tracé automatique de ces variations.

Remarque : coefficients de Skempton

L'eau a une grande importance dans la résistance au cisaillement. Dans les essais non drainés sa présence se manifeste par un accroissement de pression interstitielle. Si l'on considère que le sol est un matériau isotrope et élastique de module de déformation volumique K, on peut établir assez facilement la relation liant l'accroissement de pression interstitielle à l'augmentation de contrainte subie par le matériau :

$$\Delta U = \frac{1}{1 + n \frac{K}{K_w}} (\Delta \sigma_3 + \frac{1}{3} (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)) \quad (1)$$

n = porosité du matériau

K = module de déformation volumique du squelette  
Kw = module de déformation volumique de l'eau

En pratique le sol n'est ni isotrope, ni élastique, mais la formule ci-dessus suggère une relation de la forme :

$$\Delta U = B \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

A et B sont appelés les "coefficients de pression interstitielle" ; ces paramètres empiriques ont été introduits par Skempton en 1954. Lorsque l'échantillon est saturé, l'expérience montre que B est toujours égal à 1. La relation de Skempton s'écrit alors :

$$\Delta U = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

L'évolution du coefficient A au cours du cisaillement est un élément d'interprétation supplémentaire de l'essai. D'autre part la connaissance de A à la rupture permet de prévoir l'évolution de la pression interstitielle in situ, pourvu que l'essai reproduise exactement les conditions de contraintes auquel le matériau est soumis.

Nous avons inclu dans le traitement le calcul systématique de A.

#### II-1-3-2 Autre mode de traitement

Le critère de Mohr-Coulomb utilisé dans l'essai conventionnel ne tient pas compte de la symétrie cylindrique et il ne traduit pas l'influence de la pression (sphérique) par rapport au déviateur. Le besoin de faire une représentation en  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , s'est donc manifesté. La première généralisation de la théorie de Mohr à un état de contrainte à trois dimensions est due à Henkel

(1958). Celle-ci est représentée figure II 16.

Si on exécute une série d'essais dans lesquels les contraintes principales peuvent varier à volonté, les valeurs de ces contraintes à la rupture définissent une surface BCD ou surface limite. Dans l'essai triaxial classique  $\sigma_2 = \sigma_3$ , les systèmes de contrainte possible sont donc tous représentés dans le plan OBCD (voir figure II 17). Sur ce diagramme, le point 1 est l'état du sol après mise en pression de la cellule, le segment 1-2 correspond au chemin de contrainte durant le cisaillement. L'avantage de cette représentation est qu'elle traduit l'état des contraintes pendant l'essai complet. Le mode de représentation défini par l'école de Cambridge depuis 1960 permet une compréhension plus globale de l'essai en reliant les contraintes moyennes (sphériques), le déviateur et l'indice des vides du matériau.

Tous les états possibles du matériau sont représentés sur un diagramme à trois dimensions :

$$p = \frac{\sigma_1 + 2\sigma_3}{3} \quad (\text{contrainte moyenne})$$

$$q = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (\text{déviateur})$$

$$e \quad (\text{indice des vides})$$

A l'intérieur d'un domaine délimité par la surface de chargement, cette surface coupe le plan p.e suivant la courbe de consolidation isotrope (consolidation triaxiale), la courbe d'état critique appartenant à la surface de chargement est le lieu des points de rupture pour les différents indices des vides. Dans le cas des essais non drainés, l'indice des vides ne varie pas, donc toute évolution de l'état de l'échantillon peut être représentée dans un plan parallèle à p.q (figure II 19). La droite  $p_0ST$  est le chemin de contraintes totales, sa pente est 3 par définition, la courbe  $p_0RQ$  est le chemin de contraintes effectives. Les points T et Q représentent l'état critique du matériau où il y a déformation sans variation de contrain-

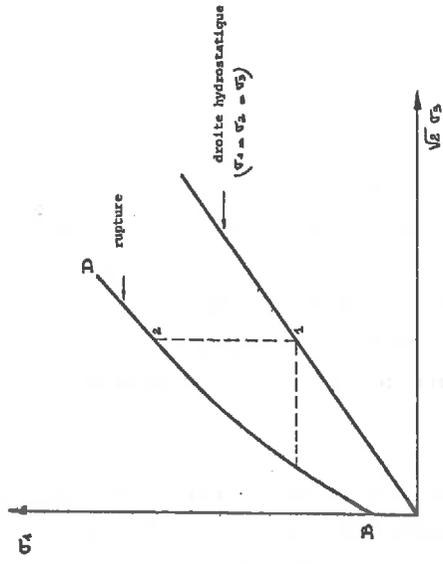


FIG. II.17 APPLICATION DE LA REPRESENTATION

DE HENKEL A L'ESSAI TRIAXIAL CLASSIQUE  
(D'APRES HENKEL -1958-)

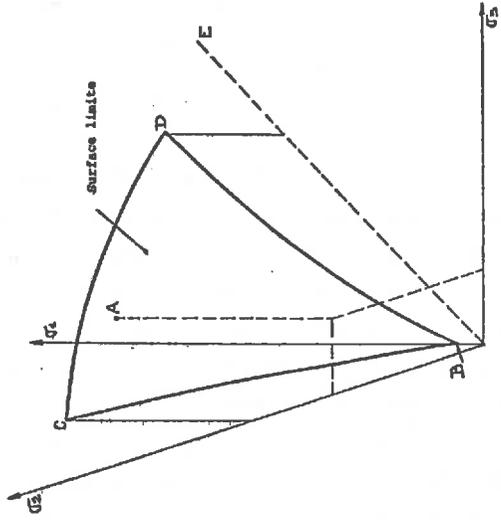


FIG. II.16 GENERALISATION DE LA THEORIE DE LA RUPTURE

DE MOHR (D'APRES HENKEL -1958-)

tes ni d'indice des vides ( plasticité parfaite). Suivant le degré de surconsolidation du matériau (rapport de la pression de consolidation à la pression  $\sigma_3'$ ) l'allure du chemin de contrainte varie sensiblement (figure II 20).

Cette théorie et d'autres plus récentes tendent à une compréhension globale du matériau. Elles supposent des modes de conduite d'essai différents de ceux pratiqués conventionnellement où l'on contrôle notamment le chemin de contrainte appliqué à l'éprouvette. Bien que l'essai triaxial classique ne soit qu'un cas particulier très restreint, il nous a semblé utile de faire un traitement aboutissant au diagramme p.q.

Cette représentation montre très bien les chemins de contrainte au cours de l'essai et ce travail est la première étape de la mise au point ultérieure d'un processus d'essai triaxial à chemin de contrainte contrôlé automatiquement.

#### II-1-3-3 Conclusion

Cette étude de l'essai triaxial doit aboutir à un cahier des charges qu'il faudra respecter lors de l'élaboration du processus d'automatisation. Il se définira ainsi :

. essai :

- mesure de force

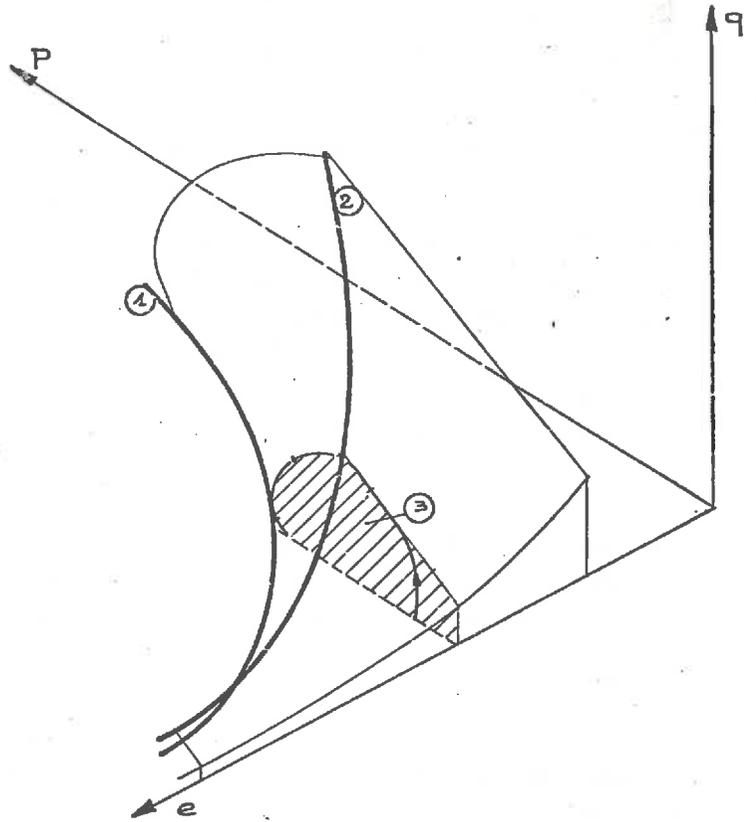
déplacement

pression interstitielle

éventuellement { variation de volume  
pression hydrostatique

à intervalles de temps réguliers calculés en fonction de la vitesse de cisaillement.

- contrôle constant de la force et de la pression dans la cellule avec arrêt automatique de l'essai en cas d'anomalie pour éviter toute surveillance.



- ① Courbe de consolidation isotrope
- ② Courbe d'état critique
- ③ Domaine représentant les états possibles au cours d'un essai non drainé

FIG. II.18 SURFACE DE CHARGEMENT DANS LA THEORIE DE L'ECOLE DE CAMBRIDGE  
(D'APRES ROSCOE ET AL. -1960-)

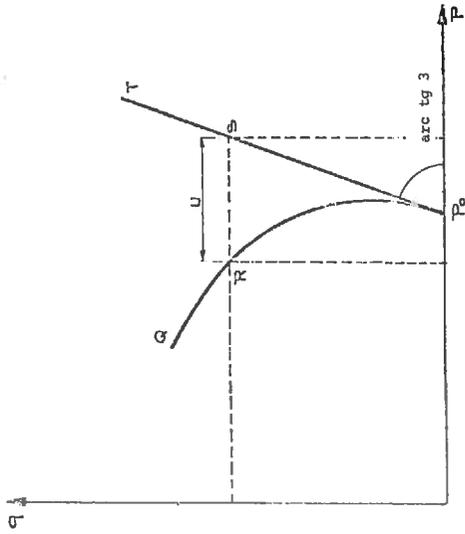
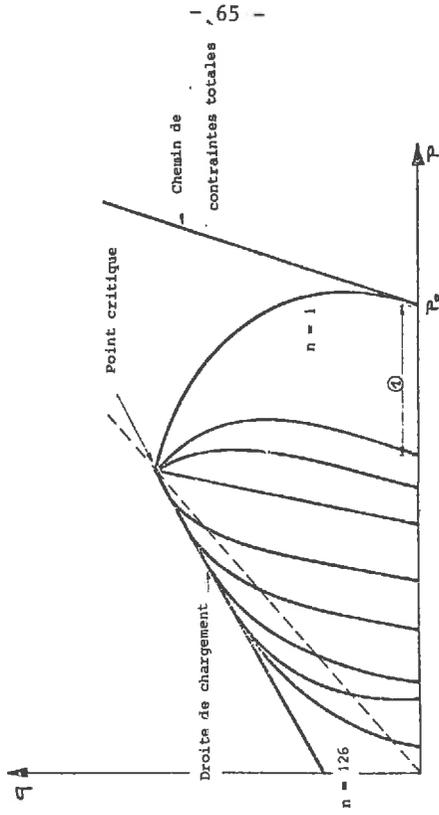


FIG. II.19 CHEMINS DE CONTRAINTE  
D'ESSAI NON DRAINE  
(D'APRES ROSCOE ET AL. -1960-)



② Pression interstitielle initiale  
FIG. II.20 INFLUENCE DU DEGRE DE SURCONSOLIDATION  
n SUR L'ILLURE DU CHEMIN DE CONTRAINTE  
EN ESSAI C.U.  
(D'APRES ROSCOE ET AL. -1960-)

- démarrage et arrêt automatiques de l'essai afin d'empêcher les fausses manipulations ou les oublis de l'opérateur.

. Traitement

- traitement d'après les critères de Mohr- Coulomb

Il faudra pour chaque mesure faire

le calcul :

⊕ de la déformation relative

⊕ du déviateur

⊕ du rapport des contraintes principales effectives

⊕ de la pression interstitielle

⊕ de la variation de volume

⊕ du coefficient A

et la représentation graphique automatique de  $\sigma_1 - \sigma_3$ , R et U en fonction de la déformation relative.

- traitement d'après l'école de Cambridge

On calculera p et q pour chaque mesure et on tracera automatiquement les chemins de contrainte des divers cisaillements sur un même graphique.

## II - 2 ESSAI OEDOMETRIQUE

### II-2-1 Généralités

#### II-2-1-1 But et principe

L'essai oédométrique a pour but l'étude de la consolidation unidimensionnelle du sol, c'est à dire les déformations liées à une variation de volume du matériau. Deux aspects des tassements intéressent le projeteur :

- . leur importance liée à la contrainte appliquée
- . leur durée

Ces deux aspects sont traités par l'étude de la compressibilité d'une part et de la consolidation de l'autre.

- La compressibilité. Lorsqu'on soumet un échantillon à une succession de contraintes normales croissantes sans lui laisser la possibilité de déformations latérales et qu'on le décharge ensuite, son volume varie comme l'indique la figure II 21. On constate que le chemin de déchargement n'est pas identique à celui du chargement et qu'il subsiste une déformation rémanente. D'autre part, la forme de la courbe suggère d'adopter une représentation semi-logarithmique (en  $\log \sigma'$ ). Ce système d'axes fait apparaître alors une partie quasi-linéaire qui fait suite à un coude plus ou moins marqué (voir figure II 22). Cette forme de courbe est caractéristique de la plupart des sols soumis à une compression unidimensionnelle, nous verrons son interprétation au paragraphe II-2-3-2.

- La consolidation. Dans un sol saturé, lorsqu'on applique une contrainte, celle-ci est d'abord suppor-

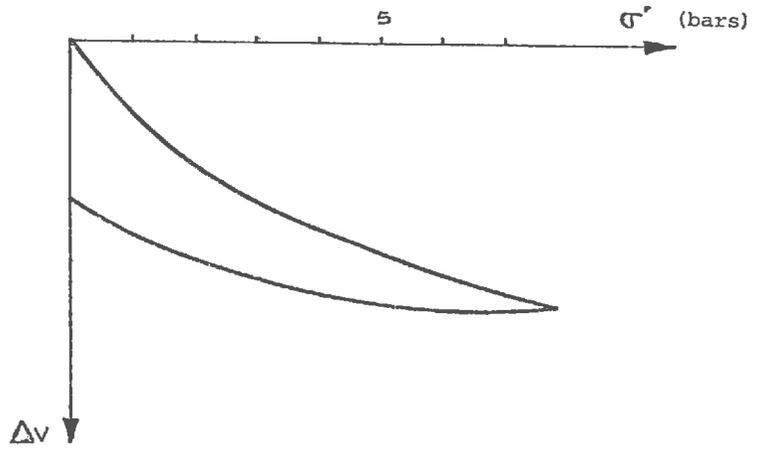


FIG. II.21 COURBES DE CHARGEMENT D'UN SOL

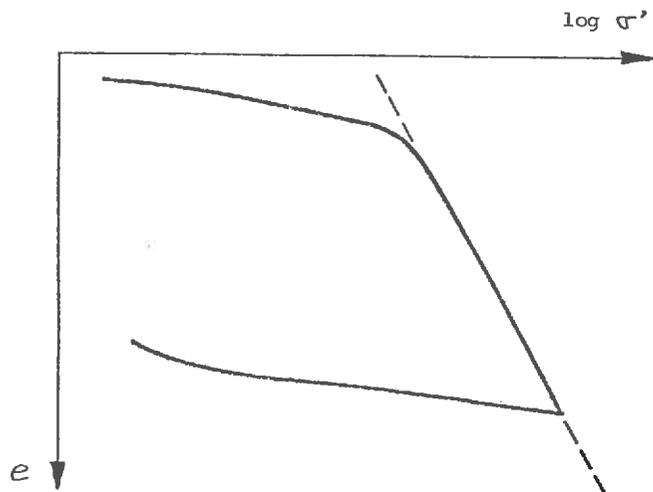


FIG. II.22 COURBE DE COMPRESSIBILITE

tée par l'eau qui est incompressible à notre échelle, et elle se traduit par une hausse instantanée de la pression interstitielle. Ensuite petit à petit, il y a départ de l'eau et réarrangement des grains ; la vitesse de consolidation sera donc fonction de la perméabilité du milieu. Quand la pression interstitielle s'est totalement dissipée, des tassements très lents peuvent encore intervenir : il s'agit de déformations analogues à un fluage qui ont lieu à pression interstitielle nulle. Ils sont nommés compression secondaire (par rapport à la compression primaire ou consolidation) et sont en général faibles devant la consolidation.

La théorie de la consolidation unidimensionnelle de Terzaghi ne s'intéresse qu'à la compression primaire et est fondée sur des hypothèses très précises. L'essai oedométrique introduit par Terzaghi en 1936 reproduit au mieux ces hypothèses.

Les modalités de l'essai sont présentées figure II 23. L'échantillon cylindrique, de hauteur faible par rapport à son diamètre, est maintenu latéralement par un anneau ou une boîte rigide. De part et d'autre de l'échantillon sont disposées deux pierres poreuses qui permettent son drainage. Une contrainte verticale statique lui est appliquée par l'intermédiaire d'un piston. Les déplacements de ce dernier sont mesurés afin de connaître les variations de volume de l'échantillon.

#### II-2-1-2 Déroulement de l'essai

Comme pour l'essai triaxial, nous avons schématisé le déroulement de l'essai par un organigramme.

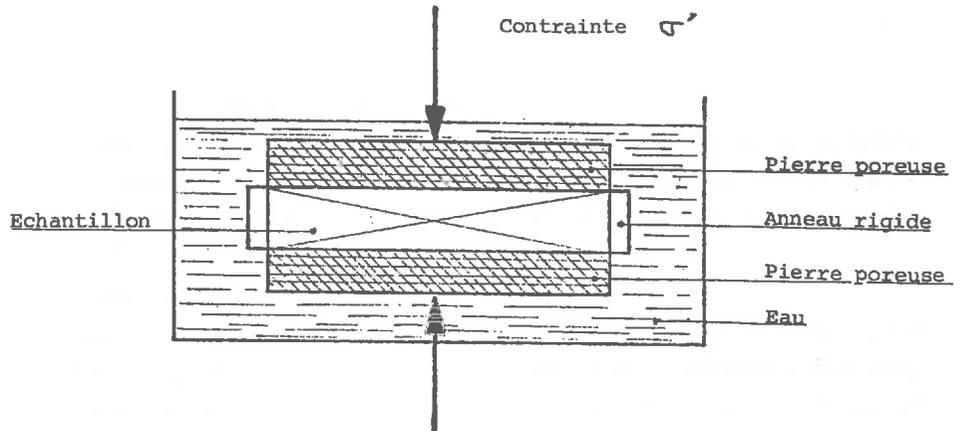
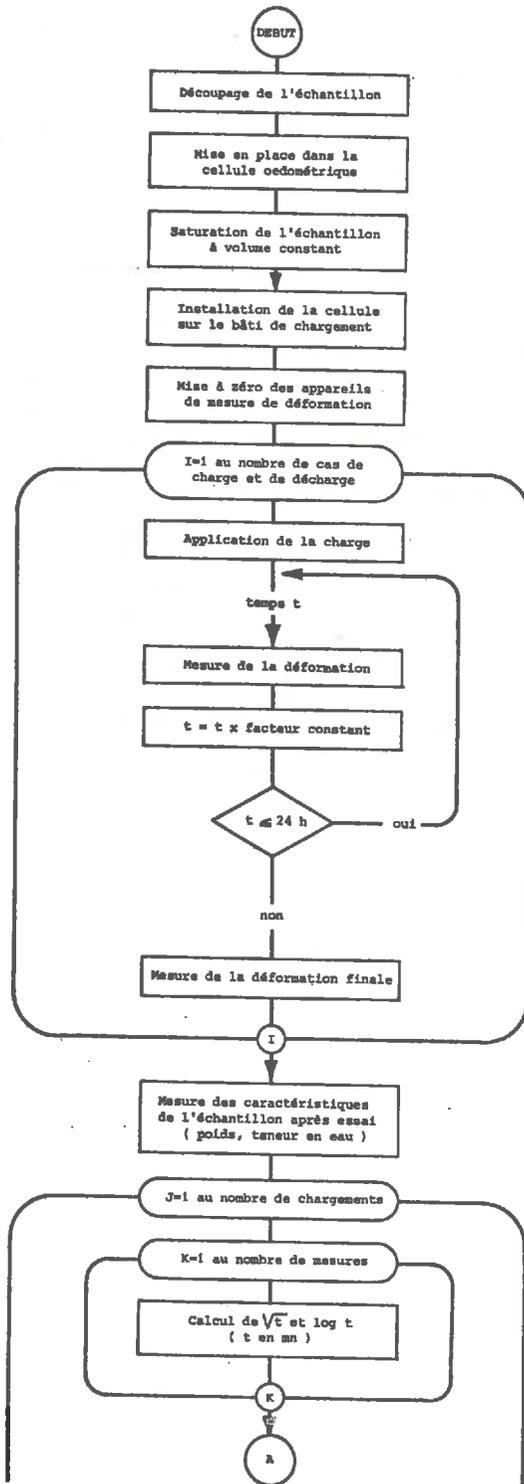
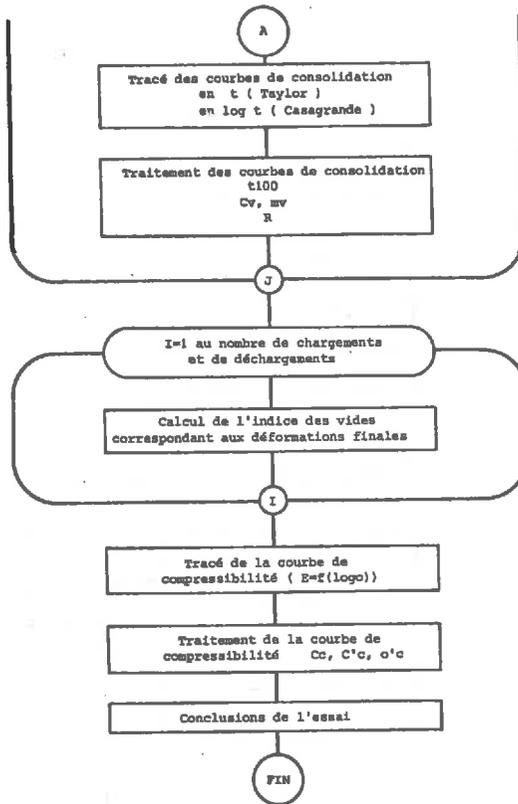


FIG. II.23 CONDITIONS DE L'ESSAI OEDOMETRIQUE





## II-2-2 La manipulation

### II-2-2-1 Le matériel d'essai

Nous avons utilisé des boîtes oedométriques de type M. et O. (figure II 24). L'échantillon taillé aux dimensions de la cavité ne peut subir de déformations latérales. Deux pierres poreuses reliées à l'extérieur permettent la saturation et le drainage de l'éprouvette, ; celui-ci ne peut être contrôlé. Une goupille immobilise le piston lors de la mise en place du matériau et de sa saturation. L'échantillon a un diamètre de 7 cm. La contrainte verticale est appliquée sur le sol par l'intermédiaire d'un piston. Les déplacements de ce dernier sont mesurés à l'aide de deux comparateurs ou capteurs de déplacement disposés suivant un diamètre du piston.

La boîte est placée sur un bâti de chargement ; au début de ce travail nous avons utilisé un bâti à bras de levier à quatre postes de consolidation (figure II 25). Par la suite nous avons été amené à remettre en cause ce type de bâti et à concevoir un bâti hydraulique (voir paragraphe II-2-2-3).

### II-2-2-2 Mode de conduite de l'essai

Le déroulement général de l'essai est indiqué par l'organigramme. Nous aborderons ici trois points :

#### 1- Le temps de consolidation :

Le mode opératoire des Laboratoires des Ponts et Chaussées propose d'arrêter l'essai au bout de 24 heures. Cette limite rigide a l'avantage d'uniformiser les pratiques de laboratoire, mais on sait que la durée de consolidation varie avec les sols et aussi pour un même sol au cours du déroulement de l'essai. Une solution à ce problème serait de suivre l'évolution de la pression interstitielle dans l'échantillon et de déclarer la consolidation terminée quand cette pression s'annule. Quelques expériences dans ce domaine réalisées aux L.P.C. semblent prometteuses (1), mais une telle étude

Note (1) Communication personnelle de Mr Mieussens (1976).

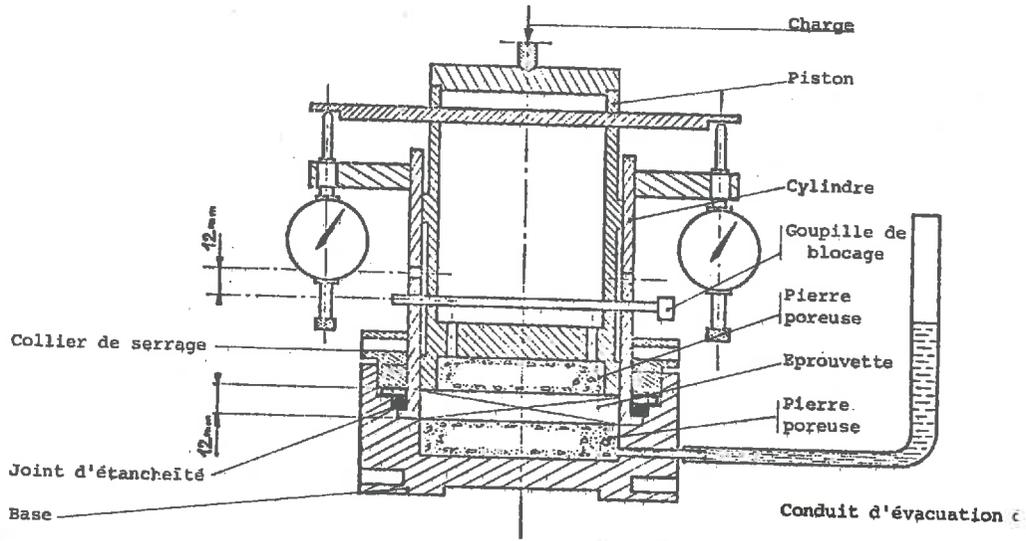


FIG. II.24 COUPE DU MOULE OEDOMETRIQUE DE TERZAGHI

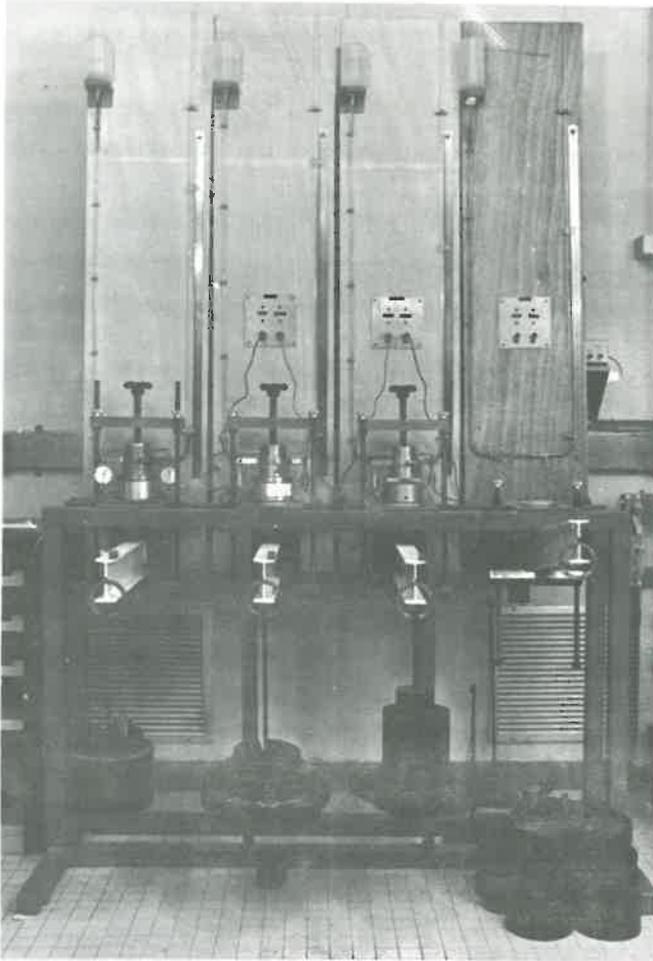


FIG. II.25 - BATI OEDOMETRIQUE.

sort des limites de ce travail. Nous avons pris le parti de laisser à l'opérateur le choix de l'intervalle de temps entre deux chargements, ceci d'autant plus qu'un processus de chargement automatique n'est pas encore envisagé.

2- La fréquence des mesures pendant la consolidation :

La consolidation est un phénomène rapide au début qui se ralentit par la suite considérablement. Des intervalles de mesure en progression géométrique sont donc bien adaptés. Dans la manipulation manuelle on fait la première mesure à six secondes. Pour certains types de sols (notamment de nombreux limons de la région de Rennes) ce délai est considérable par rapport à la durée de la consolidation et on ignore totalement tout le début du phénomène. (figure II 26). Le système d'acquisition permet de multiplier les mesures au début de l'essai à condition que le départ soit précis (voir paragraphe II-2-2-3). Nous avons décidé de faire la première mesure à une seconde. Enfin, l'acquisition automatique nous a permis d'augmenter le nombre de mesures : nous avons adopté une raison de  $\sqrt{2}$  au lieu de 2 pour la progression des intervalles de mesure ; ceci pour diminuer le poids de points erronés.

3- La succession des chargements et déchargement :

La conduite de l'essai de compressibilité est fonction du mode de traitement adopté. Nous discuterons ce problème dans le paragraphe II-2-3-2. Le processus sera tel que l'opérateur pourra à tout moment modifier son cycle de chargement.

II-2-2-3 Problèmes apparus lors de la mesure automatique

L'un des principaux avantages de la mesure automatique du tassement en fonction du temps est la possibilité de faire démarrer le cycle de mesure avec une bonne précision et d'en augmenter le nombre en début de consolidation. Ceci est appréciable lors d'études de sols limoneux qui présentent un tassement très rapide. En-

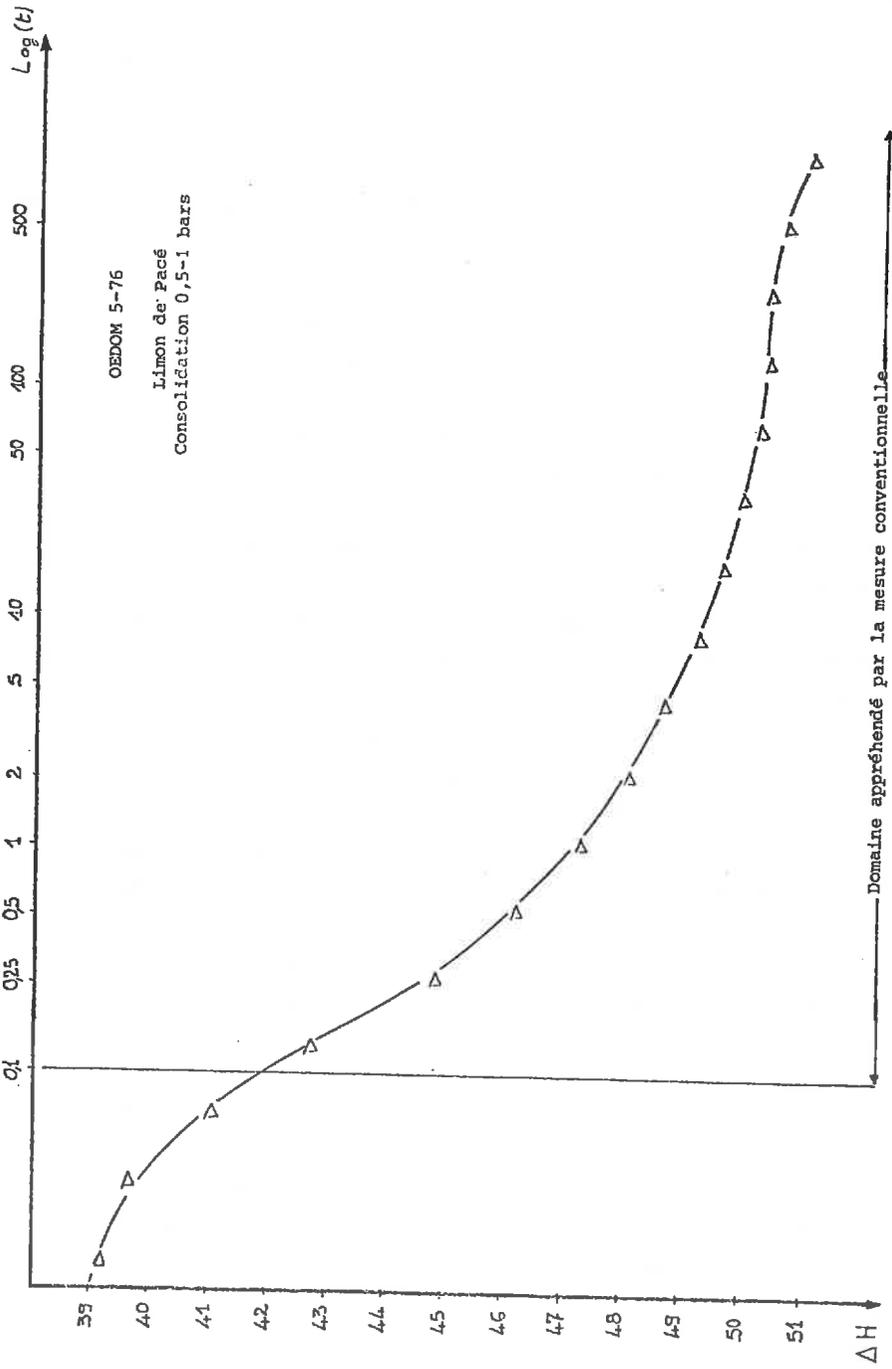


FIG. II.26

core faut-il que le mode de chargement utilisé soit quasi instantané et qu'il n'y ait pas de décalage entre l'instant du chargement et le lancement du cycle de mesure.

- . Les défauts du mode de chargement sur le bâti traditionnel, les solutions envisagées :

Il nous a semblé, d'emblée que les conditions de chargements obtenues avec le bâti traditionnel à bras de levier, présentaient un certain nombre d'inconvénients. Pour disposer de renseignements plus objectifs, nous avons remplacé sur un bâti, la tige du plateau de chargement par un petit barreau de traction sur lequel sont collées des jauges de déformation (figure II 27). Ce petit capteur est relié à un enregistreur rapide (enregistreur U.V.) qui permet d'analyser assez finement la mise en charge du matériau lors de l'application d'une nouvelle contrainte. La figure II 28 montre quelques exemples de courbes qui ont été obtenues lors de diverses consolidations. L'examen de ces courbes appelle plusieurs remarques :

- Il s'écoule une période de 4 à 70 secondes (ce délai croît avec l'incrément de charge) entre le début et la fin du chargement.
- Les "réarrangements" nécessaires de la pile de masses marquées obligent à décharger le sol de façon souvent notable pendant un certain laps de temps.
- La manipulation de poids assez lourds conduit l'opérateur à les poser parfois brutalement : ces effets de chocs peuvent avoir des conséquences importantes sur certains sols (thixotropie).

Ces constatations montrent que le bâti de consolidation traditionnel est très mal adapté à une mesure automatique : il est très difficile de choisir l'instant du début de la scrutation. Il est d'autre part illusoire de faire des mesures très rapprochées au commencement de la consolidation alors que le chargement a déjà induit bon nombre de phénomènes incontrôlés.

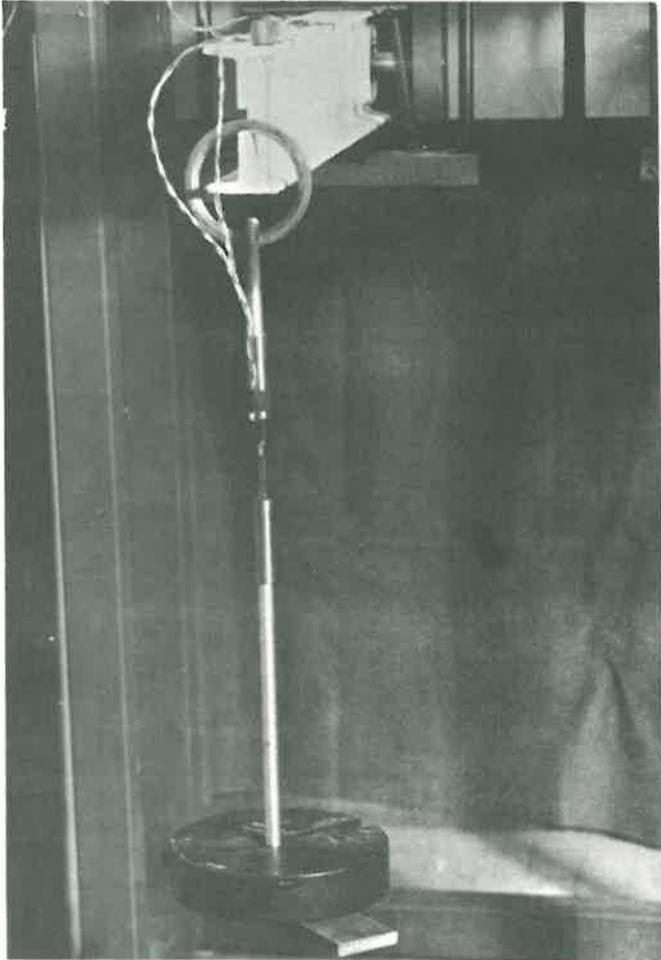


FIG. II.27 - CAPTEUR UTILISE POUR L'ENREGISTREMENT DE LA MISE EN CHARGE.

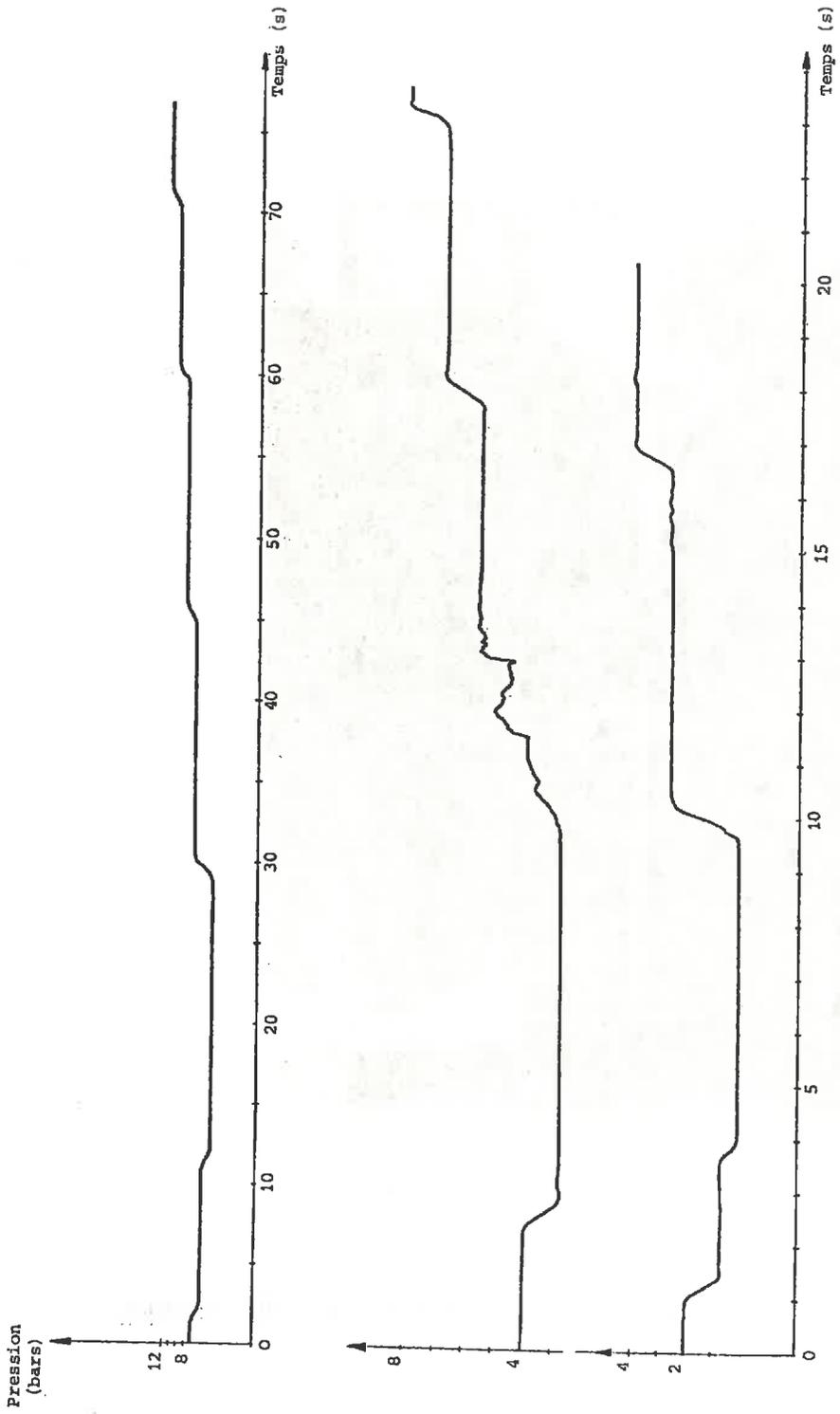


FIG. II.28 COURBES DE MISES EN CHARGE EFFECTUEES SUR LE BATTI TRADITIONNEL

Pour palier ces inconvénients, nous avons tenté d'améliorer le système sans trop modifier le matériel : la pile de poids est préparée sur une plaque légèrement plus grande que le plateau. On la pose sur celui-ci à l'aide d'un petit élévateur à vérin hydraulique (voir figure II 29). La fuite du vérin étant assez faible, il est possible de poser les poids en douceur : la mise en charge est instantanée. Le système a été complété par l'installation sur le plateau d'un contact électrique qui lance la mesure juste au moment où les poids s'appliquent. Cette disposition semble donc améliorer sensiblement la mise en charge et le démarrage de la mesure. Cependant, elle présente aussi des inconvénients :

- elle ne supprime pas la manipulation mal commode des poids

- les risques de chocs ou d'accidents à tout moment de la consolidation ne sont pas exclus. Il arrive dans une pièce qui n'est pas réservée aux oedomètres qu'une personne bouscule ou s'appuie involontairement sur un bras de bâti ce qui fait apparaître des points aberrants dans les courbes de consolidation, notamment pour les faibles charges.

- le plus gros défaut de cette méthode est montré sur la figure II 30 qui représente une courbe de consolidation ainsi réalisée. On constate que le point  $D_0$  ( la dernière mesure de la charge précédente) se situe nettement au dessous du début de la courbe. En effet ce mode de chargement suppose le déchargement complet du sol avant l'application de la contrainte suivante. Ce déchargement dure de 10 à 60 secondes et laisse au sol le temps d'amorcer un gonflement qui prend parfois des proportions considérables.

Toutes ces raisons et en particulier le fait que des poids ne se prêtent pas du tout à une automatisation intégrale du chargement, nous ont conduits à étudier un bâti de consolidation radicalement différent.

. Le bâti de consolidation hydraulique :

A priori, un bâti de chargement qui

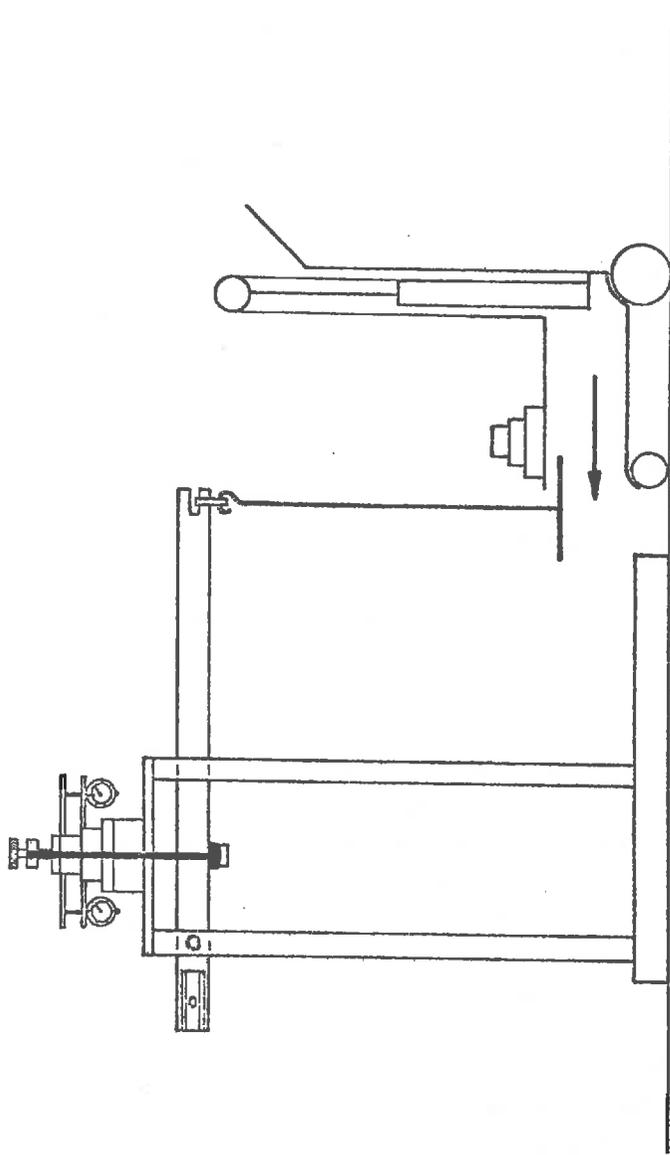


FIG. II.29 SYSTEME DE CHARGEMENT INSTANTANE SUR LE BATI A POIDS

OEDOM 004 76

BARREAU DE RILLE

CONSOLIDATION : 4 6 BARRES

Déformation finale de la charge précédente

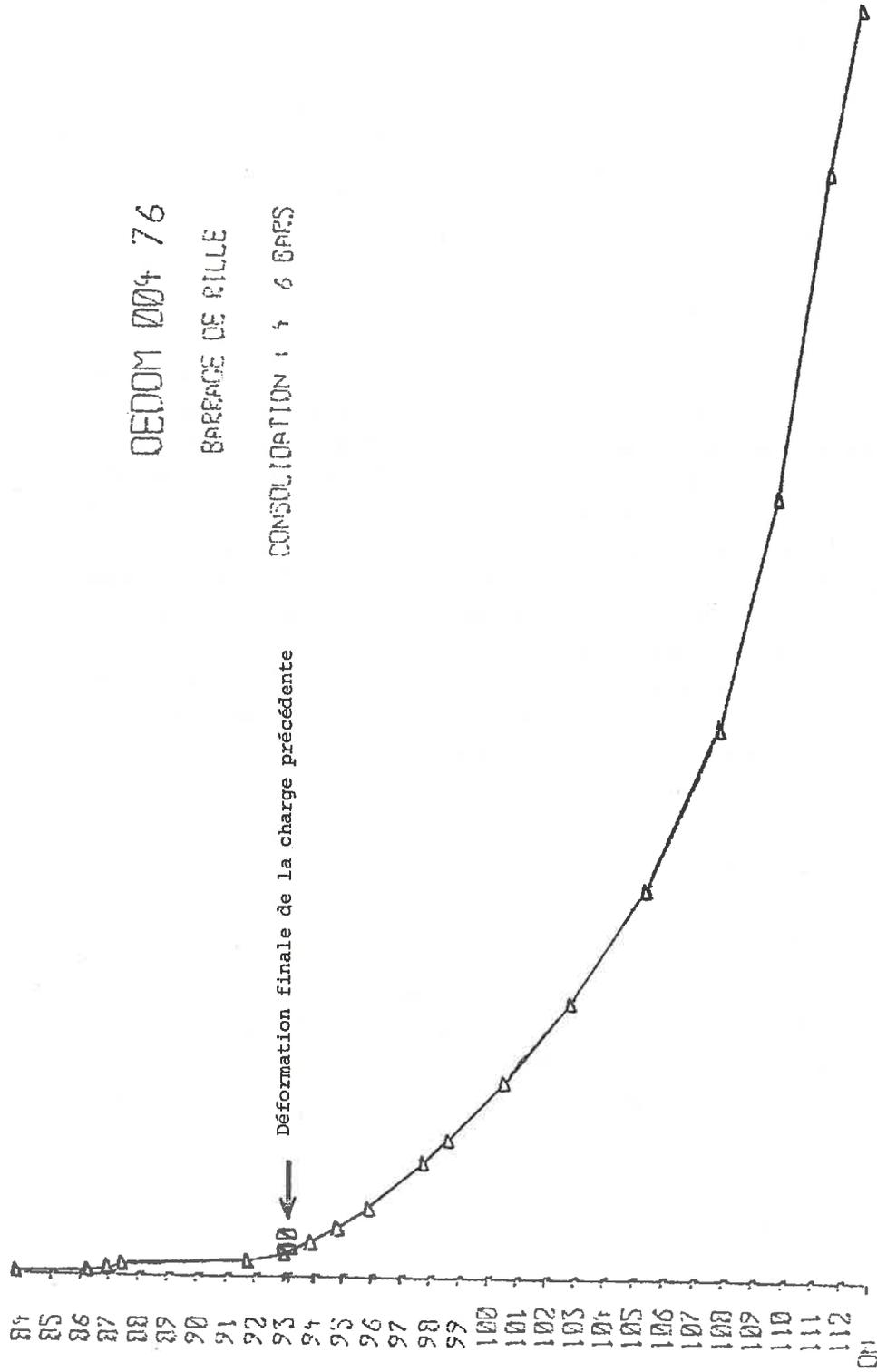


FIG. II.30 (COURBE OBTENUE PAR TRACE AUTOMATIQUE)

utilise un fluide sous pression pour appliquer la charge, doit présenter plusieurs avantages :

- encombrement réduit
- diminution des manipulations : il suffit de régler la pression du fluide et d'ouvrir la vanne.
- pas de déchargement entre deux phases successives
- possibilité d'une automatisation complète du processus.

De tels bâtis fonctionnant à l'air comprimé ont été étudiés et sont maintenant utilisés couramment dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées, ils servent même à des essais intégralement automatisés dans l'un de ceux-ci (Miessens 1976). Un appareil à air comprimé a aussi été expérimenté au C.E.B.T.P. (Philipponnat 1977). Mais il est possible aussi d'employer de l'eau ou de l'huile pour transmettre la pression. L'utilisation de l'air comprimé est assez séduisante : la faible viscosité du gaz permet d'espérer des mises en charge quasi instantanées. Cependant elle suppose que l'on dispose d'une installation sûre et régulière qui comporte en particulier une réserve suffisante pour faire face à des coupures de courant éventuelles. Comme nous ne disposons pas au laboratoire d'une telle installation, nous nous sommes orienté vers un système utilisant les dispositifs de mise en pression à pots de mercure. Comme dans l'essai triaxial, le fluide de transmission retenu au départ est l'eau.

#### \* Description de l'appareil

Les figures II 31 et II 32 représentent respectivement une vue générale et le schéma de principe de l'appareil. Ce bâti utilise des boîtes oedométriques standard, la mesure se fait de la même façon que sur les bâtis classiques. Le fluide sous pression arrive par l'intermédiaire d'une vanne tiroir manuelle ou électrique dans la chambre dont les dimensions ont été réduites au maximum afin de diminuer l'inertie de bâti. La pression est transmise à la cellule par l'intermédiaire d'un piston, une vis de réglage permet de l'adapter à la hauteur de l'échantillon : le poids du piston

est tel que la pression exercée sur le sol (par l'ensemble des deux pistons) est égale à 0,1 bar quand la pression est nulle dans la chambre. D'autre part, le diamètre du piston est le même que celui de l'échantillon (7 cm), donc le contrôle de la pression appliquée au sol est très facilité. L'étanchéité du piston est assurée par une membrane Bellofram ; le montage de celle-ci a été modifié pour limiter au maximum les erreurs de transmission de pression. La course du piston est de 5 mm, il est possible, si on le désire d'interdire le gonflement en début d'essai, il suffit pour cela de bloquer le piston avant le début de la manipulation. La pression maximum obtenue avec les pots de mercure est de 12 bars, ce qui est largement suffisant pour les essais classiques.

#### \* Les tests de l'appareil

Outre la mise au point initiale de l'appareil qui nous a permis de vérifier son étanchéité et sa tenue mécanique, nous nous sommes surtout attachés à établir et améliorer sa courbe de mise en charge en fonction du temps. L'installation expérimentale qui a permis cette étude est représentée figure II 33. L'évolution de la pression dans la chambre du bâti est mesurée à l'aide d'un capteur. Son signal est enregistré après conditionnement sur un enregistreur rapide. La vitesse de déroulement du papier de ce dernier a été fixée à 2,5 cm/s, ce qui permet une analyse assez précise du phénomène de mise en charge. Un interrupteur situé à côté du bâti et relié à l'enregistreur assure le marquage de l'instant de l'ouverture de la vanne. De par la construction du bâti, il y a tout lieu de penser qu'il existe une bonne concordance entre l'évolution de la pression dans la chambre et celle de la force développée par le piston.

Deux séries d'essais ont été réalisées :

- la première avec une variation de pression fixe : de 0 à 4 bars, ce qui a permis de mettre au point le circuit hydraulique pour arriver à la mise en charge optimum.

- la seconde, suivant les cas de charge classiques de l'essai oedométrique, pour analyser le comporte-

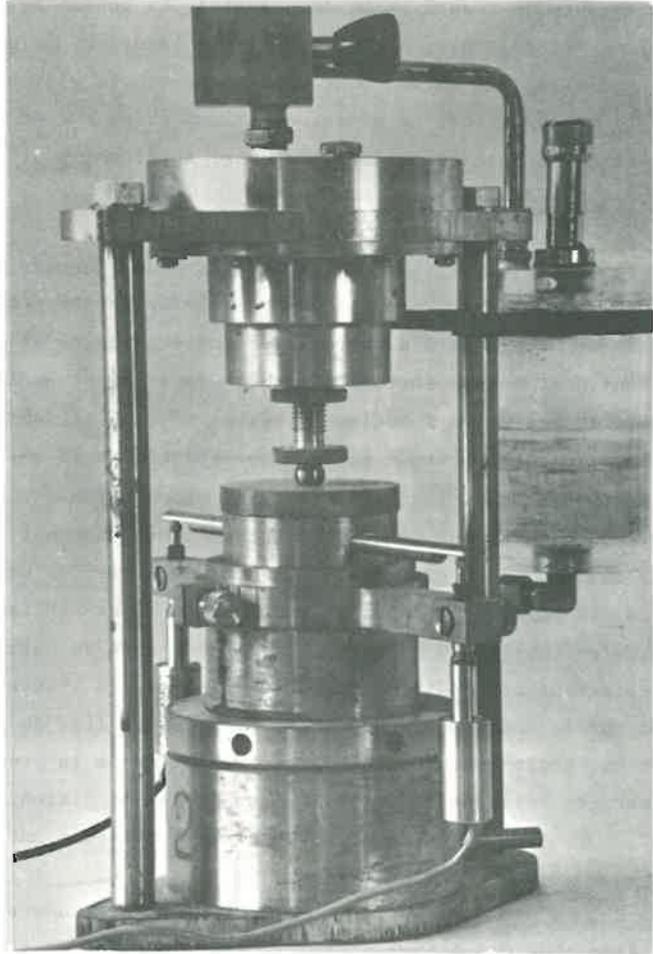


FIG. II.31 - BATI HYDRAULIQUE.

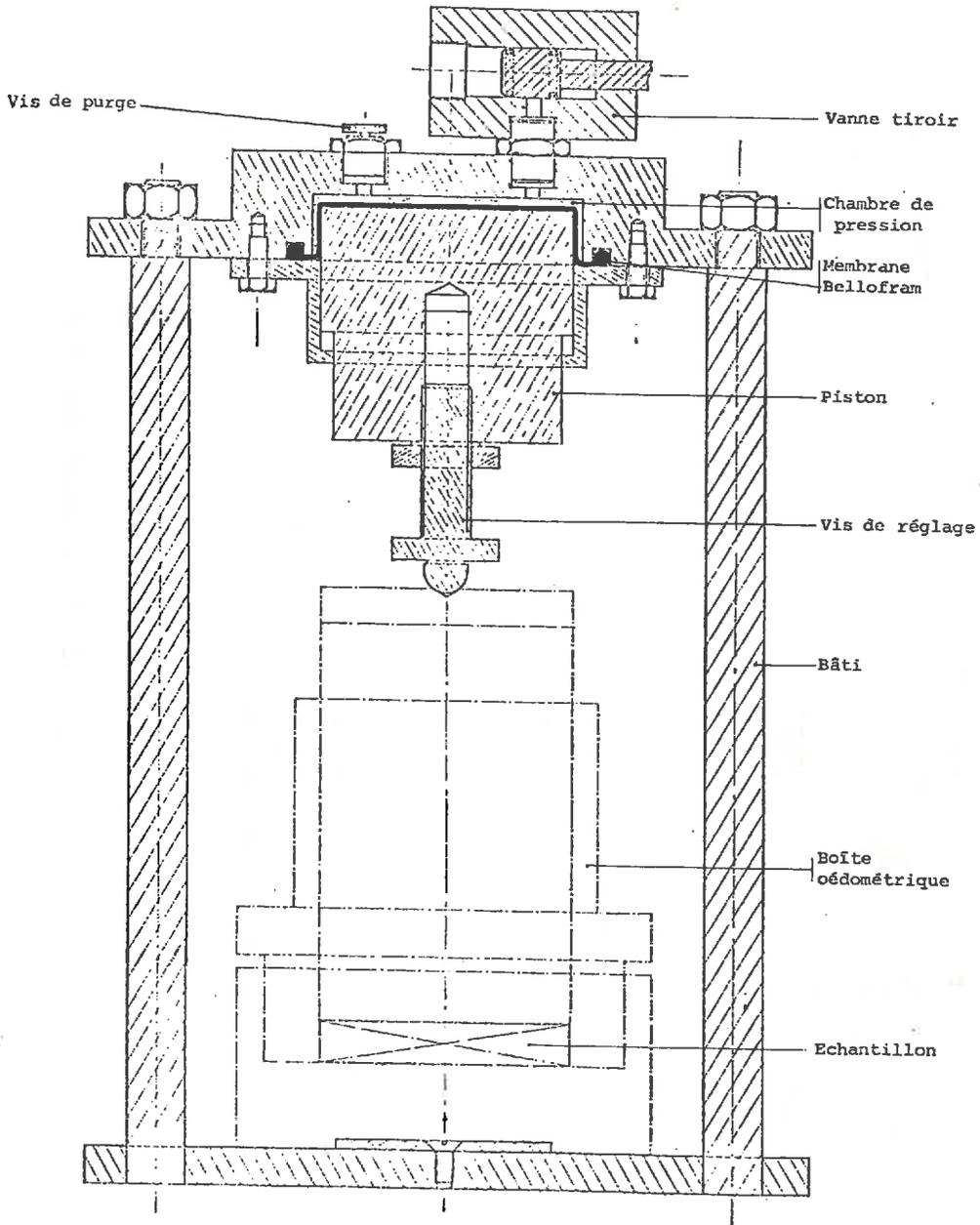


FIG. II.32 BÂTI HYDRAULIQUE

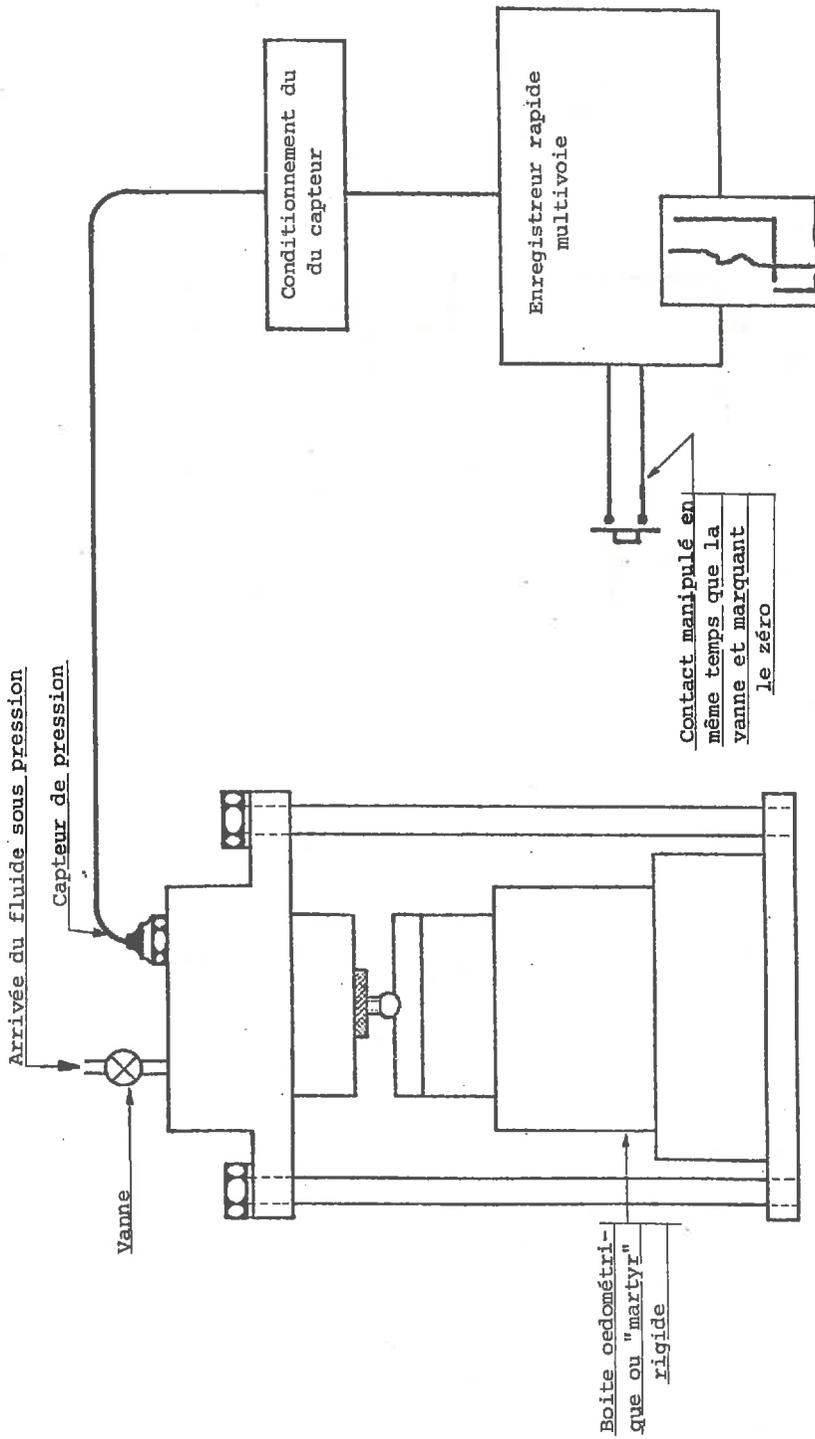


FIG. II.33 INSTALLATION DE TEST DU BATI HYDRAULIQUE

ment du bâti dans tous les cas de fonctionnement normal.

La figure II 34 regroupe les résultats de la première série d'essais. Les courbes en pointillé représentent le chargement idéal. Le branchement direct du bâti sur le système à pots de mercure donne une mise en charge représentée par la courbe (a). On constate qu'il y a stabilisation de la pression au bout de six secondes ; ce temps peut être réduit à trois secondes en modifiant la section de passage de la vanne. D'autre part cette courbe présente une bosse qui correspond vraisemblablement à un petit coup de bélier. Cette oscillation amène une surcharge transitoire du sol qui peut atteindre 10% de la charge totale appliquée. Ce mode de chargement représente déjà une amélioration par rapport au bâti traditionnel à poids, cependant il s'écarte encore notablement de la courbe idéale et la surcharge temporaire qu'il occasionne nous semble assez gênante.

Ces premières constatations nous ont conduits à analyser plus en détail l'influence du fluide et de sa mise en oeuvre. Dans un premier temps, nous avons alimenté le bâti décrit ci-dessus avec de l'air comprimé, ce qui reproduit les appareils utilisés dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées : nous avons obtenu des courbes de la forme (b). Il apparaît dans ce cas que l'on atteint la charge maximale sans à-coup, dans un délai de un cinquième de seconde. La mise en charge par le bâti à air comprimé est donc quasiment parfaite : divers essais pour plusieurs incréments de pression ont confirmé ces qualités, y compris pour les déchargements à condition d'utiliser un détendeur à fuite.

Malgré ces excellents résultats obtenus avec l'air comprimé, nous avons tenté d'améliorer le système à pots de mercure car nous ne disposions pas d'un réseau d'air susceptible d'alimenter des oedomètres (pression insuffisante, manque de sécurité dans la distribution). La courbe (a) montre la nécessité de mettre sur le réseau un dispositif d'amortissement ; d'autre part, pour réduire le temps de montée en pression, il peut être avantageux d'intercaler à proximité de la chambre du bâti un réservoir d'air sous pression. Divers essais ont été réalisés, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le montage représenté figure II 35.

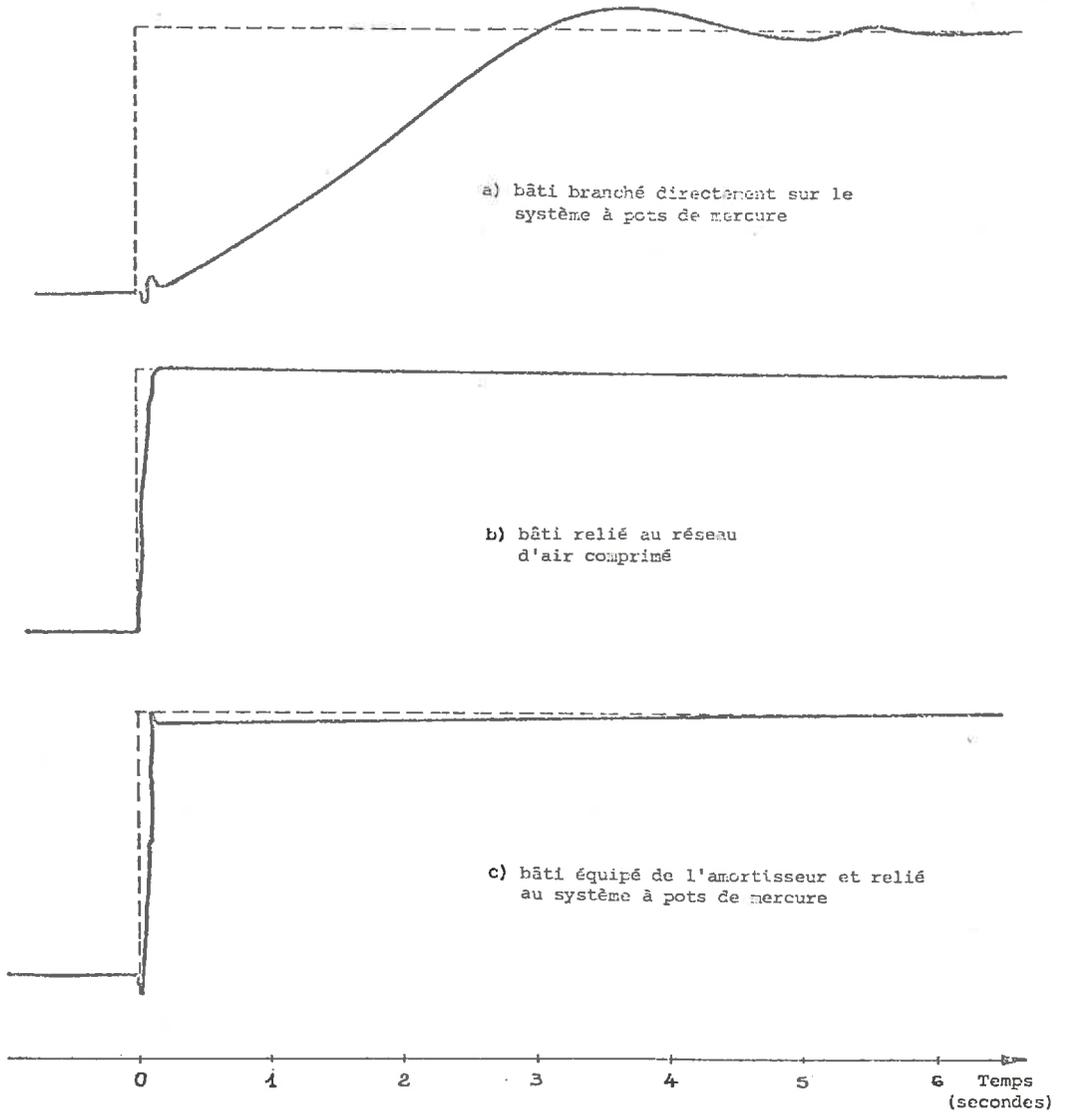


FIG. II.34

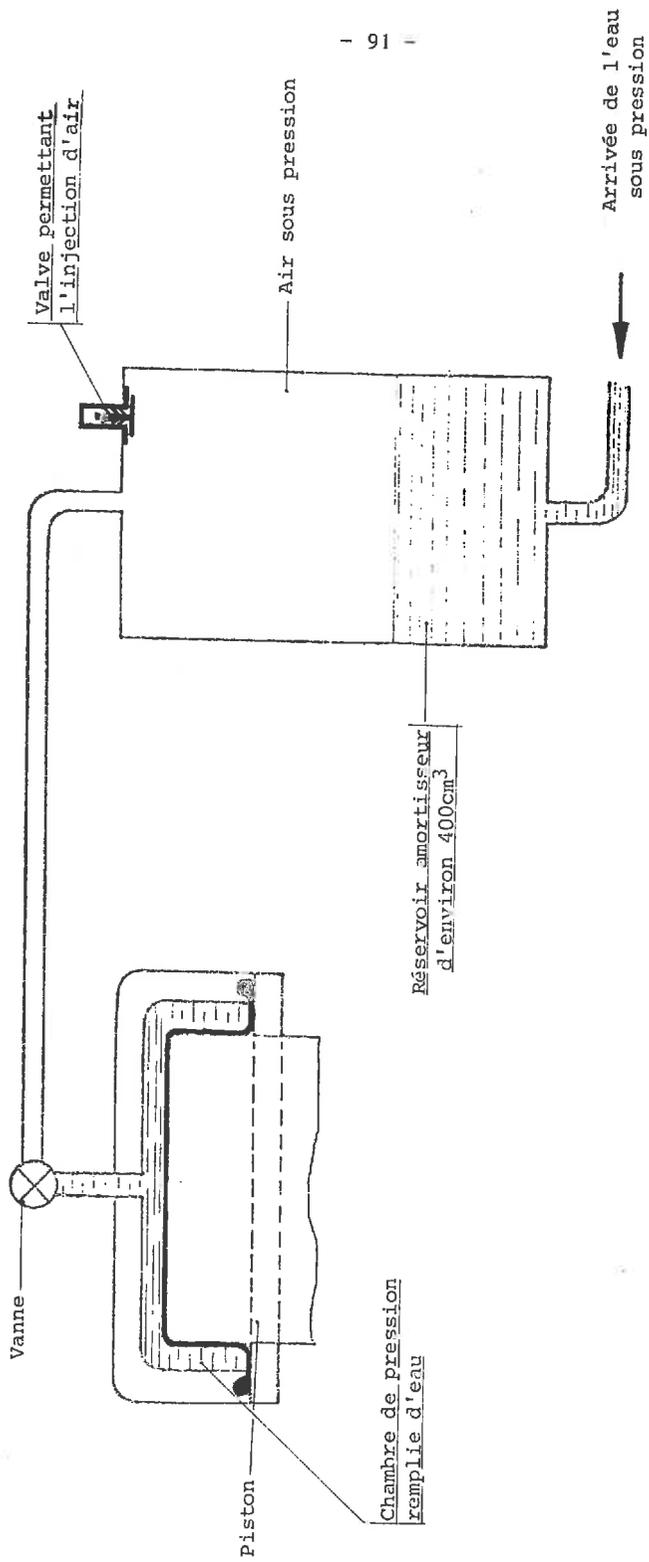


FIG. II.35 MONTAGE DU POT AMORTISSEUR

Ces résultats apparaissent en (c) sur la figure II 34 : on atteint pratiquement sans à-coup 95% de la pression désirée en 1/5 de seconde puis la pression augmente lentement et régulièrement pour se stabiliser au bout de 4 à 5 secondes. Tout en étant moins bonnes que celles du chargement pneumatique, ces caractéristiques nous semblent cependant acceptables vis à vis de l'essai oedométrique.

C'est avec le dispositif de la figure II 35 que nous avons réalisé la seconde série d'essais qui reproduisent une série de chargements réels. Ces essais confirment la conclusion énoncée ci-dessus, car si le temps de rétablissement de la pression totale est peu modifié, l'écart entre la pression obtenue en 1/5 de seconde et la pression totale est réduit considérablement. Ainsi dans l'exemple de chargement de 3 à 4 bars présenté figure II 36, cet écart n'est plus que 3 à 4 % de l'incrément ce qui représente 0,8% de la nouvelle charge appliquée. Comparées à la précision globale de l'essai de consolidation, ces erreurs limitées dans le temps peuvent être négligées.

Il faut noter enfin que l'adjonction d'un pot amortisseur contenant de l'air a deux inconvénients :

- la stabilisation de la pression aboutit est très longue (environ deux à trois minutes) du fait que l'écoulement dans le système à pots de mercure se produit sous très faible charge.

- il est nécessaire de réinjecter de l'air lors du chargement car le réservoir doit être au moins à moitié plein d'air pour que les caractéristiques décrites soient respectées.

A la suite de ces tests, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- dans tous les cas un bâti fonctionnant avec un fluide donne de meilleurs résultats que le bâti traditionnel.

- les bâtis pneumatiques ont d'excellentes caractéristiques de mise en charge alliées à une très gran-

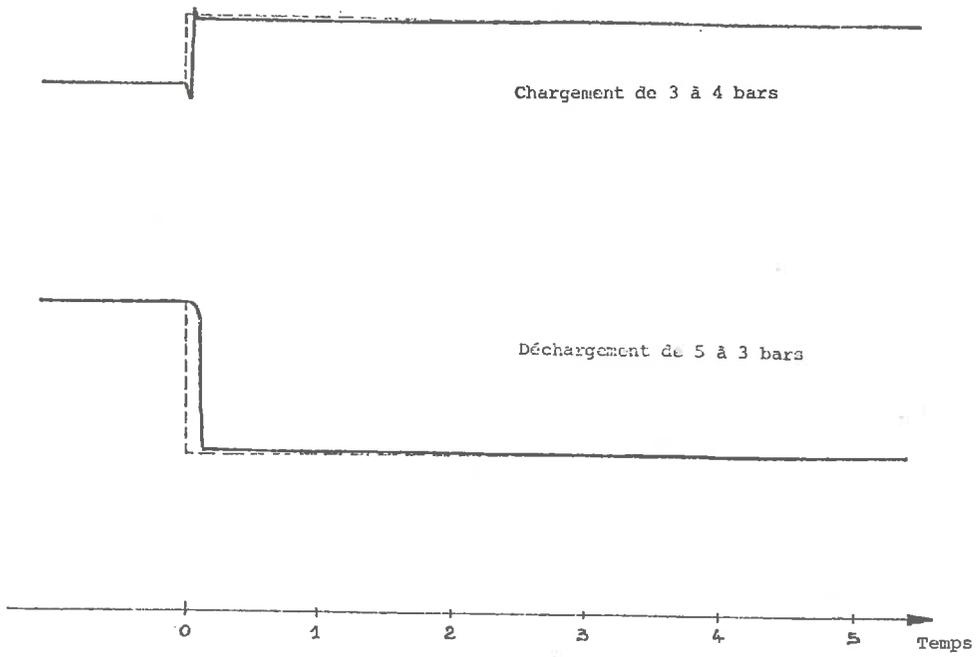


FIG. II.36 EXEMPLES DE CAS DE CHARGEMENTS REELS OBTENUS AVEC LE BATI HYDRAULIQUE

de simplicité de maniemnt à condition que l'on dispose d'un réseau d'air comprimé qui convienne.

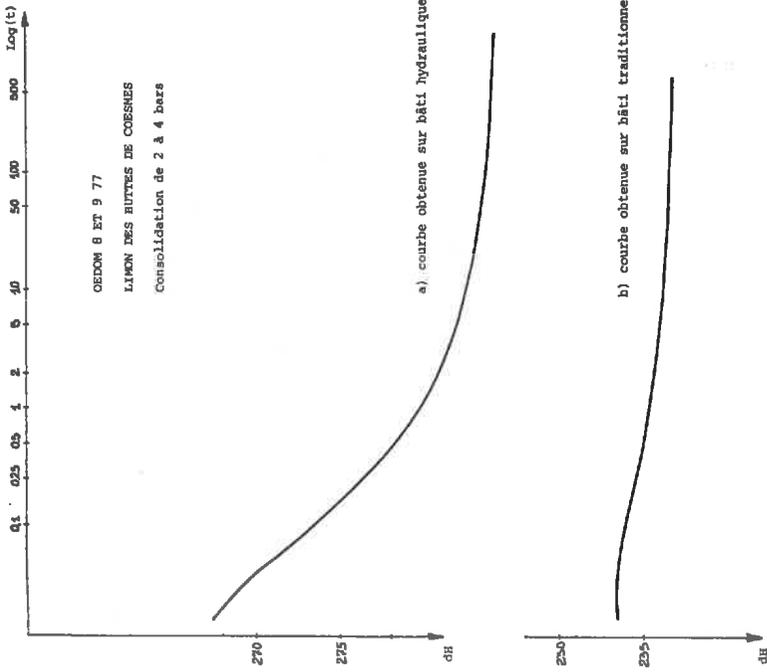
- le bâti hydraulique peut être adapté à moindre frais à partir d'un système à pots de mercure : la qualité de la mise en charge est alors obtenue au prix d'un surcroît de manipulations et de temps d'attente. Cette solution peut être retenue lorsqu'elle est réalisable immédiatement sans frais (c'est le cas d'un laboratoire dont le réseau d'air comprimé n'est pas adapté et qui dispose de systèmes à pots de mercure peu ou pas utilisés). Par contre, pour un laboratoire qui s'équipe, il semble préférable d'acquérir un groupe compresseur indépendants et une série de bâtis pneumatiques.

\* Essais comparés sur bâti à fluide et bâti traditionnel

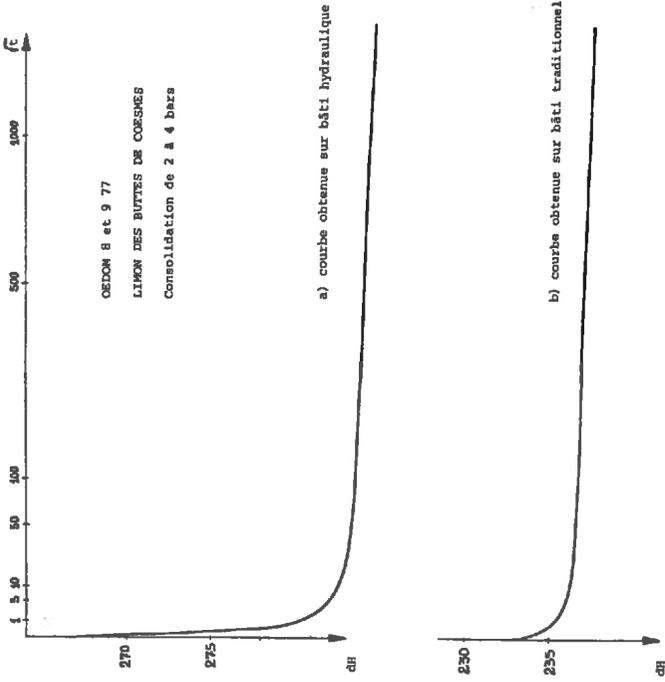
L'amélioration de la précision de la mise en charge n'offre d'intérêt que pour l'étude des matériaux qui ont une consolidation très rapide. Pour mettre en évidence les apports de la mise en charge hydraulique nous avons effectué parallèlement des consolidations du même sol sur les deux types de bâti. Le matériau utilisé est un limon de la région de Rennes, reconstitué en laboratoire (par consolidation anisotrope) pour limiter la dispersion.

Premièrement, on constate que les courbes de consolidation des faibles charges sont beaucoup plus régulières sur le bâti hydraulique; il est à l'abri des à-coups fréquents sur le système à poids. La seconde différence apparaît sur la figure II 36bis : la scrutation semble décalée par rapport au début de la consolidation sur le bâti traditionnel alors que la courbe est tout à fait normale sur l'appareil hydraulique.

En conclusion, l'utilisation systématique de machines de chargement à fluide, liée à une scrutation rapprochée, donne la possibilité d'étudier beaucoup plus finement la consolidation des matériaux limoneux.



COURBES DE CONSOLIDATION EN LOGARITHME DU TEMPS



COURBES DE CONSOLIDATION EN PASCINE DU TEMPS

FIG. II. 36 bis ESSAIS COMPARES SUP. BÂTI A POIDS ET SYSTEME HYDRAULIQUE

## II-2-3 Le traitement

### II-2-3-1 Consolidation

. But

Le tassement total obtenu sous une contrainte constante se divise en trois parties :

- une compression initiale quasiment instantanée
- une compression primaire ou consolidation, période pendant laquelle se dissipe l'excès de pression interstitielle dû au chargement.
- une compression secondaire, déformation lente à pression interstitielle nulle, souvent linéaire en diagramme semi-logarithmique.

Le traitement des courbes de consolidation a pour but de mettre en évidence ces trois zones et de déterminer les coefficients caractéristiques établis par Terzaghi dans la théorie de la consolidation unidimensionnelle. Le principal de ces paramètres est le coefficient de consolidation verticale  $C_v$  :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t}$$

H = chemin de drainage : h/2 si le drainage s'effectue par les deux faces

$T_v$  = facteur temps sans dimension déterminée à partir du degré de consolidation U

t = temps réel obtenu pour le degré de consolidation U

Le coefficient de compressibilité

$m_v$  est défini par :

$$m_v = \frac{\Delta H}{H \Delta \sigma'}$$

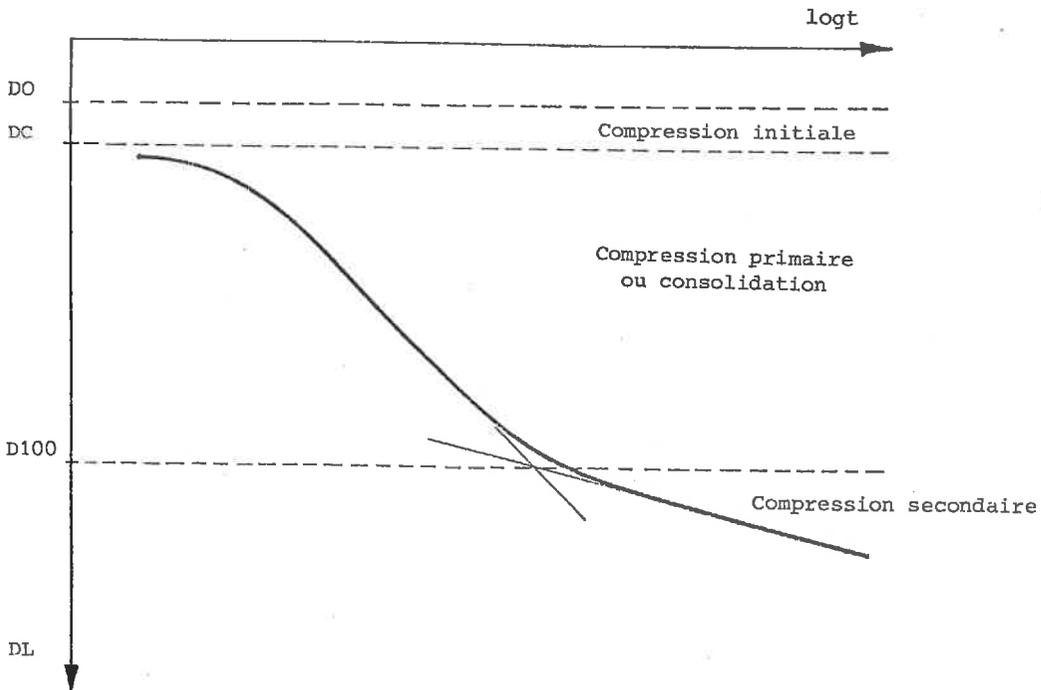


FIG. II.37 TASSEMENTS EN FONCTION DU TEMPS A L'OEDOMETRE

C'est l'inverse du module oedométrique et il permet de retrouver le coefficient de perméabilité verticale  $k_v$  par la relation :

$$k_v = C_v m_v \gamma_w$$

où  $\gamma_w$  est la masse volumique de l'eau.

Contrairement au choix que nous avons fait pour l'essai triaxial, nous avons décidé d'automatiser intégralement le traitement des courbes de consolidation et de calculer automatiquement ces coefficients. En effet un essai oedométrique comporte au minimum une dizaine de courbes de consolidation dont l'exploitation devient vite fastidieuse. Le mode opératoire indique deux méthodes de construction pour traiter ces courbes :

- La méthode du logarithme du temps de Casagrande

- La méthode de la racine carrée du temps de Taylor.

#### . Méthode de Casagrande

Sur la courbe exprimant le tassement en fonction du logarithme du temps (en minutes) on commence par déterminer le point  $D_c$  correspondant au début de la phase de consolidation (figure II 38) : la théorie montre que la courbe tassement x temps est parabolique, on obtiendra donc le  $D_c$  par la construction réalisée sur la figure. Le point qui correspond à 100% de la consolidation primaire ( $D_{100}$ ) est à l'intersection de la partie droite de la compression secondaire et de la tangente au point d'inflexion de la courbe de consolidation.

A partir du  $D_{100}$  on tire facilement le  $D_{50} = \frac{D_{100} + D_c}{2}$  et on déduit par construction sur la courbe le  $t_{50}$

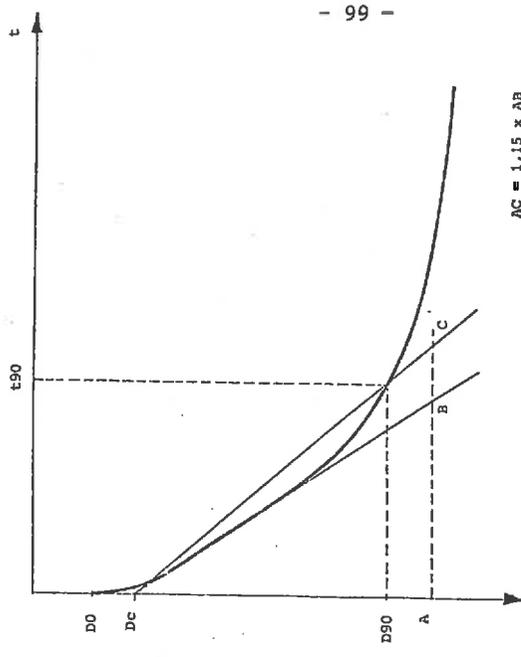


FIG. II.39 INTERPRETATION DE LA COURBE DE CONSOLIDATION  
PAR LA METHODE DE TAYLOR

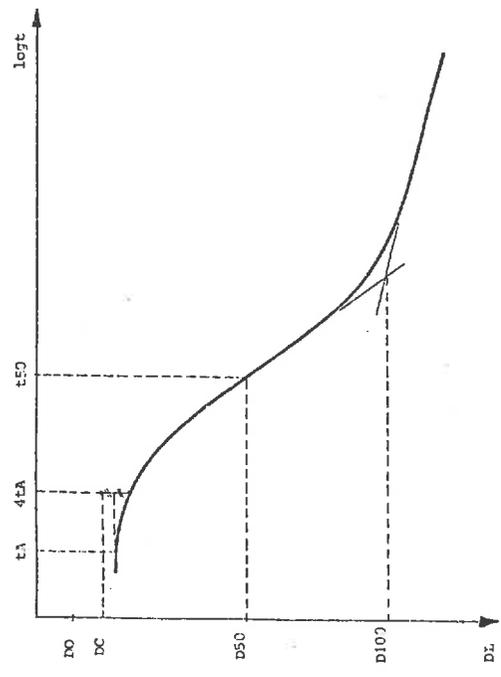


FIG. II.38 INTERPRETATION DE LA COURBE DE CONSOLIDATION  
PAR LA METHODE DE CASAGRANDE

il vient

$$\text{Comme } Tv (50\%) = 0,197$$

$$Cv = \frac{0,197 H^2}{t_{50}}$$

et

$$mv = \frac{D_{100} - D_c}{H \Delta \sigma'}$$

Il est intéressant de calculer aussi le rapport de compression primaire, :

$$R = \frac{D_{100} - D_c}{D_f - D_{0'}} \times 100$$

#### . Méthode de Taylor

Dans la théorie de Terzaghi, la courbe de consolidation représentée en fonction de la racine carrée du temps est une droite jusqu'à 60% de la consolidation et l'abscisse de la courbe à 90% de consolidation est 1,15 fois celle du prolongement de la droite. Taylor (1948) utilise cette caractéristique pour déterminer le point 90% de consolidation sur la courbe expérimentale. La construction indiquée figure II 39 permet de déterminer  $t_{90}$ .

$$\text{Comme } Tv (90\%) = 0,848$$

$$Cv = \frac{0,848 H^2}{t_{90}}$$

$$mv = \frac{10 (D_{90} - D_c)}{9H \Delta \sigma'}$$

$$R = \frac{10 (D_{90} - D_c)}{9 (D_f - D_0)}$$

#### . Choix des méthodes et adaptation au processus automatique

Chacune des deux méthodes a des avan-

tages et des inconvénients : la méthode de Taylor donne une très bonne détermination de  $D_c$ , par contre, la valeur de  $t_{90}$  peut être influencée par la consolidation secondaire. Au contraire la méthode de Casagrande permet un calcul précis de  $t_{100}$  et  $D_{100}$  mais la valeur de  $D_c$  peut être faussée par un retard de compression dû à une mauvaise saturation de l'échantillon. L'idéal est de pratiquer conjointement les deux méthodes, ce qui permet de critiquer les résultats si les écarts sont trop importants.

Nous avons vainement tenté de mettre au point un processus d'automatisation de la méthode de Casagrande, car la forme de la courbe est telle qu'il est impossible de faire un ajustement correct par une méthode simple, il faudrait recourir à des ajustements par parties qui compliquent le programme au point de le rendre trop important pour un calculateur du type de celui de la centrale de mesure utilisée. Il serait possible de travailler avec des ajustements linéaires sur les points expérimentaux comme l'on fait Vautrain et Schutt (1976), mais il faut que les points soient régulièrement espacés et qu'il n'y ait pas de point aberrant. Ceci élimine beaucoup de courbes et suppose un tri très sévère préalable au traitement ce qui n'est guère compatible avec un traitement automatisé. Nous avons donc momentanément renoncé à automatiser le traitement par la méthode de Casagrande.

Le processus proposé pour la méthode de Taylor est le suivant (voir figure II 40).

On choisit arbitrairement parmi les points expérimentaux, un point A dont on sait qu'il est en deçà du  $D_{90}$  réel. On ajuste entre  $D_{\emptyset}$  et A un polynôme du troisième degré (1) aux points expérimentaux puis on détermine sur cette courbe ajustée

---

Note (1) Des essais systématiques ont montré que le degré 3 était suffisant

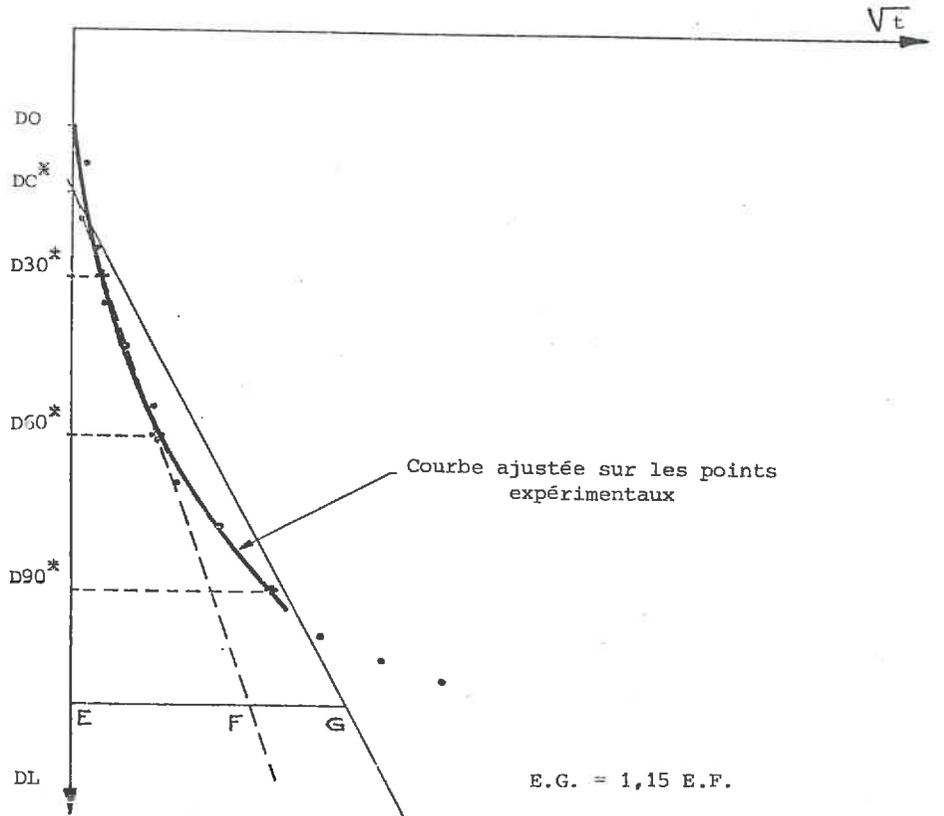


FIG. II.40 PROCESSUS AUTOMATIQUE D'INTERPRETATION PAR LA METHODE DE TAYLOR

les coordonnées des points  $D30^*$  et  $D60^*$  en considérant que A est  $D90^*$ . On trace la droite joignant ces deux points qui coupe l'axe en  $Dc^*$ , puis on trace à partir de ce point la droite de pente 1,15 fois celle de la première. Si celle-ci passe à droite du point A, l'ajustement est mauvais : on passe alors au point suivant et on recommence toutes les opérations mais avec  $Dc^*$  comme origine au lieu de D0. Si la droite passe par A ou à gauche, on considère que l'ajustement est bon et l'intersection de la droite avec la courbe ajustée donnera  $t90$  et  $D90$ . Ensuite on exécute le calcul de  $Cv$ ,  $mv$ ,  $k$  et  $R$ .

L'ajustement permet de diminuer le poids de points expérimentaux aberrant. Le fait de tracer la droite à partir des points  $D30^*$  et  $D60^*$  évite de tenir compte des premières mesures correspondant à la compression initiale.

Ce processus a été testé sur une cinquantaine de courbes expérimentales obtenues en mesure manuelle ou automatique. La figure II 41 montre un exemple de construction faite par traitement automatique. La figure II 41bis présente le tableau de comparaison des résultats de l'exploitation par la machine et de la construction manuelle faite indépendamment. Dans la plupart des cas la concordance est bonne entre les deux méthodes, la moyenne quadratique des écarts observés est de 10,89 %.

### II-2-3-2 Compressibilité

. But

Avant son prélèvement, le sol était soumis à une contrainte verticale  $\sigma'_0$  du fait des terres sus-jacentes. Si le sol est surconsolidé, c'est à dire qu'il a subi dans son histoire une contrainte (ou l'équivalent)  $\sigma'_c$  supérieure à  $\sigma'_0$ , on suppose que la variation d'indice des vides en fonction du logarithme de la contrainte prend l'allure de deux segments de droites se coupant au

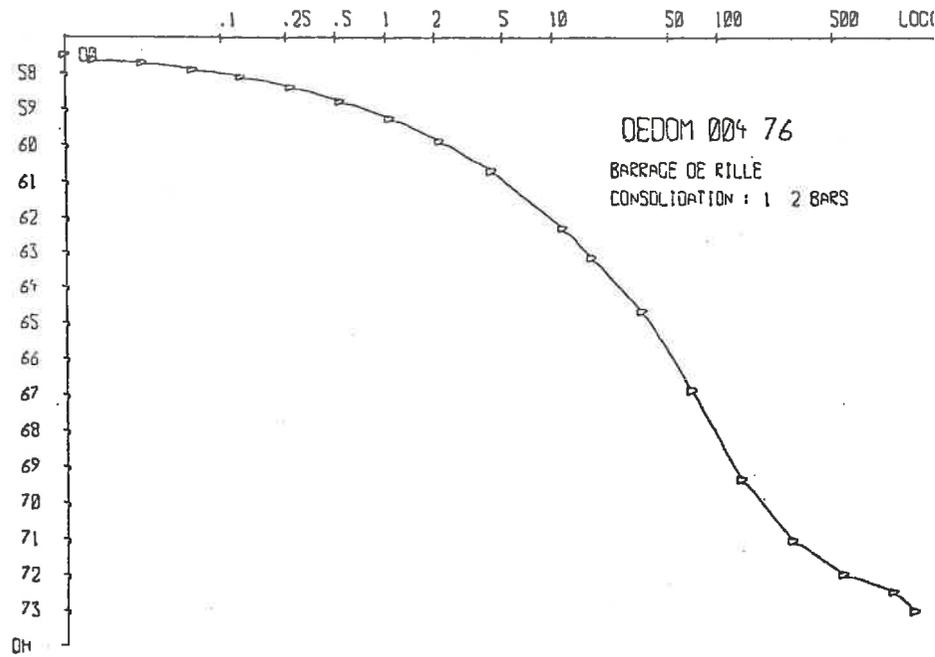
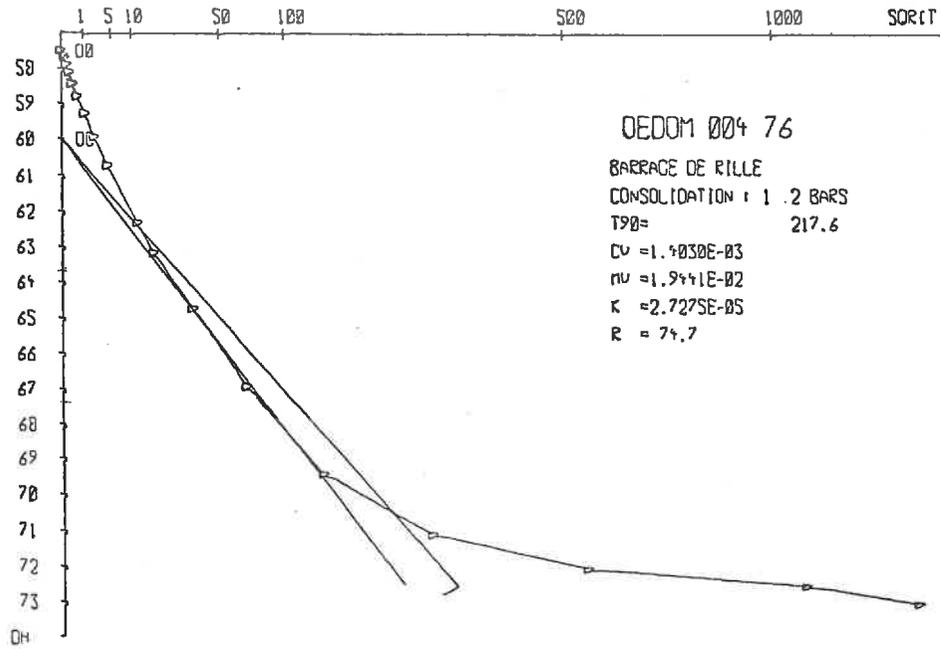


FIG. II.41 EXEMPLE DE TRACE AUTOMATIQUE DE COURBE DE CONSOLIDATION

PLAGES DE CONSOLIDATION (bars)	Méthode de Taylor T <sub>90</sub>		Méthode de Casagrande T <sub>100</sub>	Ecart % $\frac{a-b}{b} \times 100$
	Auto a	Manuelle b		
<u>Limons des Buttes de Coësmes</u>				
Echantillon 1				
0 - 0,1	0,9	0,9	0,8	0
0,25 - 0,5	0,8	0,9	0,85	- 11
0,5 - 1	-	-	0,9	-
1 - 2	0,8	0,9	0,9	- 11
2 - 4	1,2	1,5	1,8	- 20
4 - 8	1,7	1,8	2,5	- 5,5
Echantillon 2				
3 - 5	1,2	1	1	+ 20
5 - 1	2	2,2	3,3	- 10
1 - 2	2,4	2	2	+ 20
2 - 4	2,3	2,5	-	- 8
8 - 10	3,1	3	4,2	+ 3,3
Echantillon 3				
1 - 2	3,7	3	5,5	+ 23
2 - 3	3,6	3,5	5	+ 2,9
5 - 6	4,9	5,3	5,5	- 7,5
6 - 7	5,1	5	5,4	+ 2
7 - 8	6	6,4	-	- 6,7
8 - 9	6,2	5,6	6,5	+ 10,7
9 - 10	6,8	5,7	-	+ 19,3
<u>Limons de la Vallière</u>				
Echantillon 1				
1 - 2	5	5	-	0
4 - 8	1,5	1,7	-	- 11
8 - 12	2,4	2,5	-	- 4
Echantillon 2				
0,25 - 0,5	1,8	2	-	- 10
8 - 12	6,1	5	-	+ 22
<u>Argile des Landes d'Apigné</u>				
Echantillon 1				
0,5 - 1	12,5	12,7	18	- 16
1 - 2	13,1	12,5	20	+ 4
2 - 4	14,7	15	25	- 2
4 - 5	17,3	15,5	29,2	+ 11,6
5 - 6	27	24	50	+ 12,5
7 - 8	32,3	30	55	+ 7,7
8 - 12	34,4	37	52	- 7
<u>Marne de Rillé</u>				
Echantillon 1				
0,125 - 0,25	0,5	20	200	- 97,5
0,25 - 0,5	0,6	-	-	-
0,5 - 1	-	180	210	-
1 - 2	213,2	220	190	+ 3,1
2 - 4	207	225	220	- 8
4 - 6	312	300	> 500	+ 4
6 - 8	483,2	500	> 500	+ 12,3
8 - 10	542	520	> 500	+ 4,2
Echantillon 2				
0,25 - 0,5	9,9	-	-	-
0,5 - 1	3,2	50	50	- 93,6
1 - 2	380	420	> 500	- 9,5
2 - 4	148,3	405	> 500	3,38
4 - 8	427,6	442	> 500	- 3,3
8 - 10	478,4	445	> 500	7,5
<u>Argile des Landes d'Apigné</u>				
Echantillon 2				
0,5 - 1	24,2	20	30	+
1 - 2	27,3	25	35	+ 9,2
2 - 3	32,5	29	43	+ 12,1
3 - 4	37,1	40	50	- 7,2
4 - 5	46,2	42	50	+ 10
5 - 6	45,1	44	52	2,5
6 - 7	50,3	48	63	4,8
7 - 8	-	59	62	-
Moyenne quadratique des écarts = 10,89				

FIG II.41 bis COMPARAISON DES RESULTATS DU TRAITEMENT DE LA CONSOLIDATION PAR VOIES MANUELLE ET AUTOMATIQUE

droit de  $\sigma'_c$  (Fig. II 42). Cette courbe théorique ou courbe vierge, traduit la compressibilité in situ : elle permet de définir deux coefficients de compression, CC1 entre  $\sigma'_0$  et  $\sigma'_c$  et CC2 au delà de  $\sigma'_c$  avec :

$$CC = - \frac{\Delta e}{\Delta(\log_{10} \sigma')}$$

La figure II 43 montre l'allure de la courbe vierge pour des dépôts normalement et sous-consolidés.

Au prélèvement l'échantillon est toujours plus ou moins remanié et l'effet de ce remaniement est que la courbe expérimentale est toujours moins marquée que la courbe vierge. Des expériences systématiques (Leonards et Ramiah, 1959) ont montré que l'aplatissement de la courbe s'accroît avec le degré de remaniement de l'échantillon (Fig. II 42).

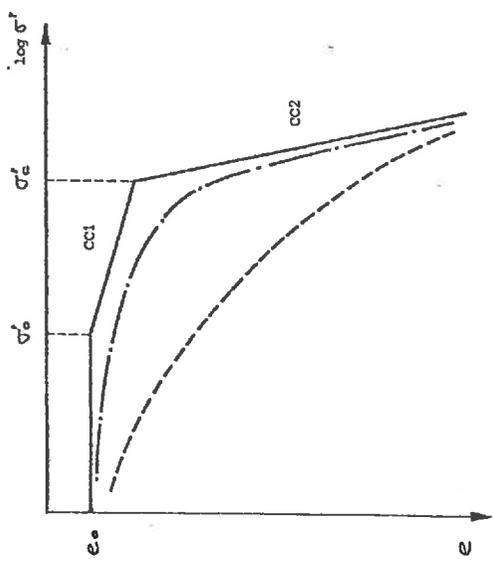
Le but du traitement de l'essai de compressibilité est donc de retrouver la courbe vierge à partir de la courbe expérimentale ( $e, \log \sigma'$ ).

#### . Les méthodes de traitement

Le phénomène de préconsolidation est très mal connu ; plusieurs recherches en ce domaine ont abouti à un constat d'ignorance. Il est cependant certain que de très nombreux paramètres entrent en jeu : contraintes appliquées effectivement, réarrangements très lents des grains, phénomènes de cimentation chimique entre grains plus ou moins liés aux migrations d'eau. Ce fait se traduit dans la grande variété des méthodes de traitement proposées, toutes très empiriques. Nous allons exposer les plus employées.

#### - Méthode de Casagrande

La construction proposée en 1936 par Casagrande est le procédé le plus simple et le plus largement utilisé (figure II 44). Il nécessite de déterminer d'abord le point correspondant au rayon de courbure minimum sur la courbe de chargement puis de tracer les droites horizontale et tangente à la courbe en ce



———— Courbe vierge  
 ······ Courbe expérimentale sur échantillon peu remanié  
 - - - - Courbe expérimentale sur échantillon très remanié

FIG. II.42 COURBE VIERGE : INFLUENCE DU REMANIEMENT DE L'ECHANTILLON

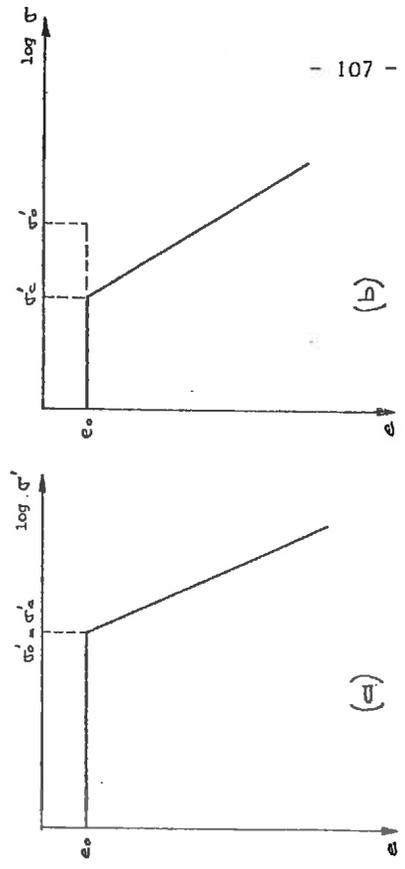


FIG. II.43 COURBE VIERGE DE SOL :  
 A) NORMALEMENT CONSOLIDE  
 B) SOUS-CONSOLIDE

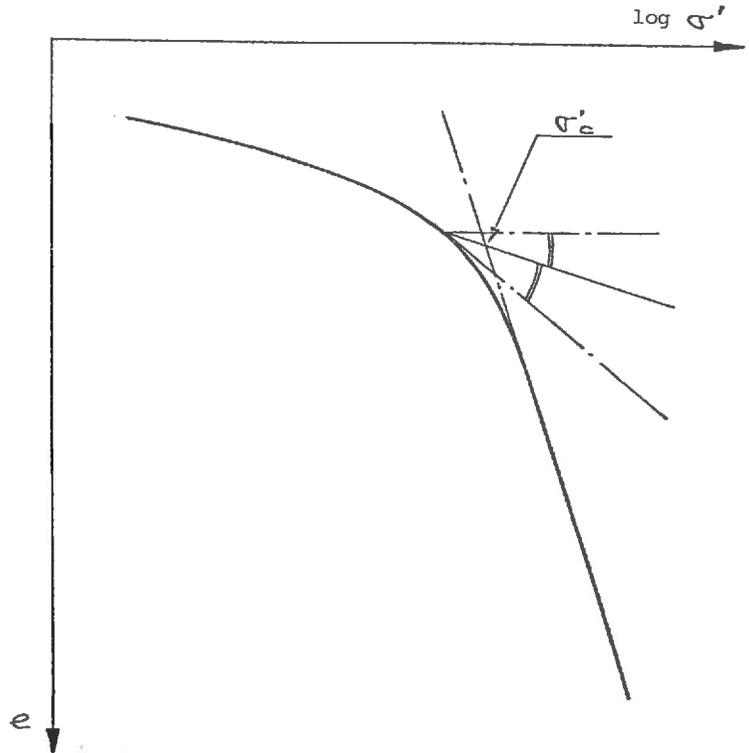


FIG. II.44 CONSTRUCTION DE CASAGRANDE

point ; l'intersection de la bissectrice de cet angle avec la partie droite de la courbe donne la valeur de  $\sigma'_c$ . Cette construction peut s'appliquer sur des courbes de premier chargement;; elle ne permet pas d'aboutir à la courbe vierge car elle ne prend pas en compte le  $\sigma'_0$ .

- Méthode de Burmister (1951)

Cette construction suppose que

l'on exécute un cycle de déchargement dès que l'on a atteint la partie droite de la courbe (voir figure II 45). Le triangle caractéristique (hachuré sur la figure) formé par les courbes de déchargement et rechargement est alors reporté au-dessus de la courbe de premier chargement : on trouve sa position en recherchant où il s'adapte le mieux entre la courbe et sa partie droite, en donnant plus d'importance au côté vertical. Le sommet du triangle donne  $\sigma'_c$ .

- Méthode de Schmertmann (1955)

Cette construction est présentée figure (II 46). Le mode de chargement est le même que dans le cas précédent. Du point  $e_0\sigma_0$  une droite est tracée parallèle à la droite moyenne de déchargement. On choisit sur cette droite un point qui correspond à une valeur présumée de  $\sigma'_c$ . On trace ensuite la droite joignant ce point au point d'ordonnée  $0,42 e_0$  de la courbe expérimentale : ceci donne la courbe vierge présumée. On porte alors la variation d'indice des vides  $\Delta e$  entre la courbe réelle et la courbe vierge en fonction de  $\log\sigma'$ . On recommence l'opération pour plusieurs valeurs de  $\sigma'_c$  présumées pour choisir finalement celle qui donne l'allure la plus symétrique à la courbe  $\Delta e - \log\sigma'$ .

. Etudes faites au laboratoire :  
proposition de méthode

Il apparaît ci-dessus que les méthodes sont très variées et que la justification théorique des modes de construction ou des paramètres employés est très faible. D'autre part aucune des constructions proposées ne se prête facilement à une automatisation.

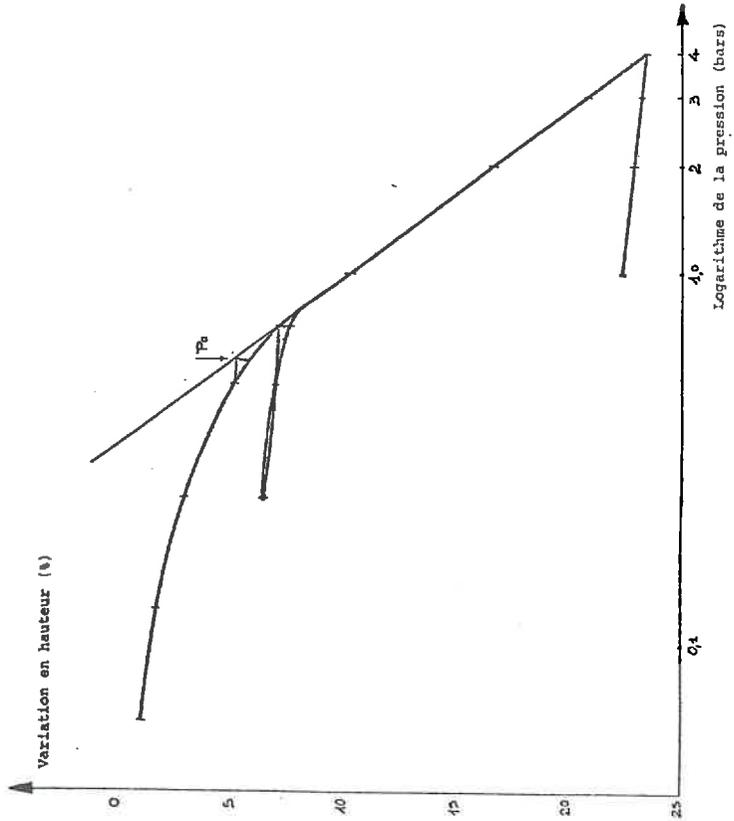
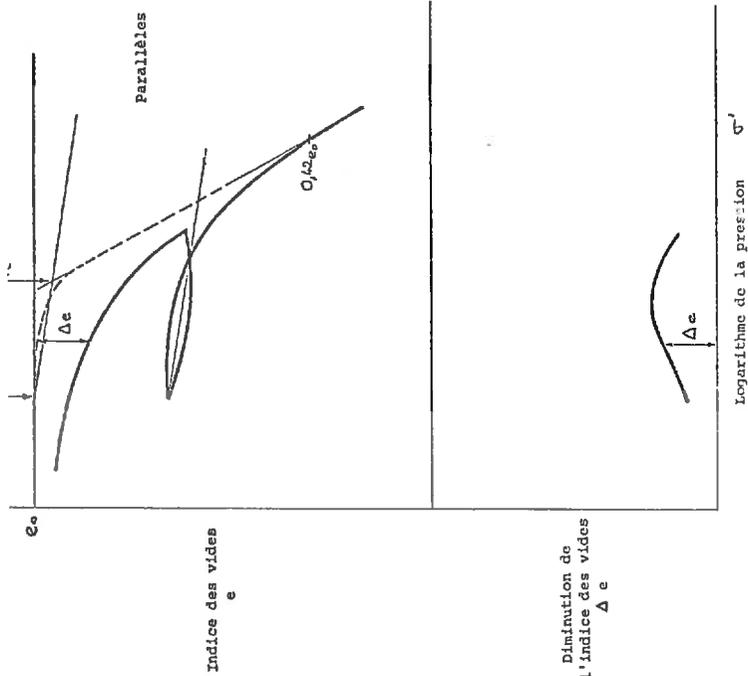


FIG. II.46 CONSTRUCTION DE SCHMERTMANN

FIG. II.45 CONSTRUCTION DE BURMISTER

Pour celà, nous avons été conduits à faire une étude systématique des courbes de compressibilité afin de dégager un mode de détermination de  $\sigma'_c$  plus facilement automatisable. Ce travail a été fait conjointement avec Mr Vuez, maître assistant au laboratoire de Mécanique des Sols de l'I.N.S.A.(1). Nous avons réalisé une trentaine d'essais de compressibilité sur divers types de matériaux fins (limons, argiles raides, argiles molles) non remaniés ou reconstitués en laboratoire par consolidation statique. Nous avons fait varier les conditions d'essais sur un même matériau (incrément de charge, nombre de cycles de déchargement). Les conclusions que l'on peut tirer de ces expériences sont les suivantes :

- la forme de la courbe est affectée par l'incrément de charge : elle est d'autant plus marquée que l'écart entre les charges successives est faible (figure II 47). Ceci confirme les observations de Leonards et Ramich faites sur un nombre d'essais plus important. La diminution de l'incrément de charge augmente le temps d'essai mais rapproche la courbe expérimentale de la courbe vierge.

- la pente de la droite moyenne de déchargement varie avec la charge maximale appliquée : ce phénomène peu marqué pour les limons devient très important pour les argiles molles (figure II 48). Pour pouvoir faire la première partie de la construction de Schmertmann il faut donc exécuter le déchargement le plus tôt possible après la rupture de pente.

- enfin nous avons calculé la contrainte de préconsolidation sur tous ces essais par les différentes méthodes évoquées ci-dessus (figure II 49bis). Les résultats ne sont guère encourageants car nous avons relevé des écarts de 5 à 50% entre les résultats obtenus par les différentes méthodes sur les mêmes courbes sans qu'il soit possible de classer ces méthodes ; plus grave, les valeurs de  $\sigma'_c$  obtenues pour un même matériau par deux essais parallèles

---

Note (1) Rapport interne au laboratoire de Mécanique des sols de l'INSA  
n° 14 mars 1977

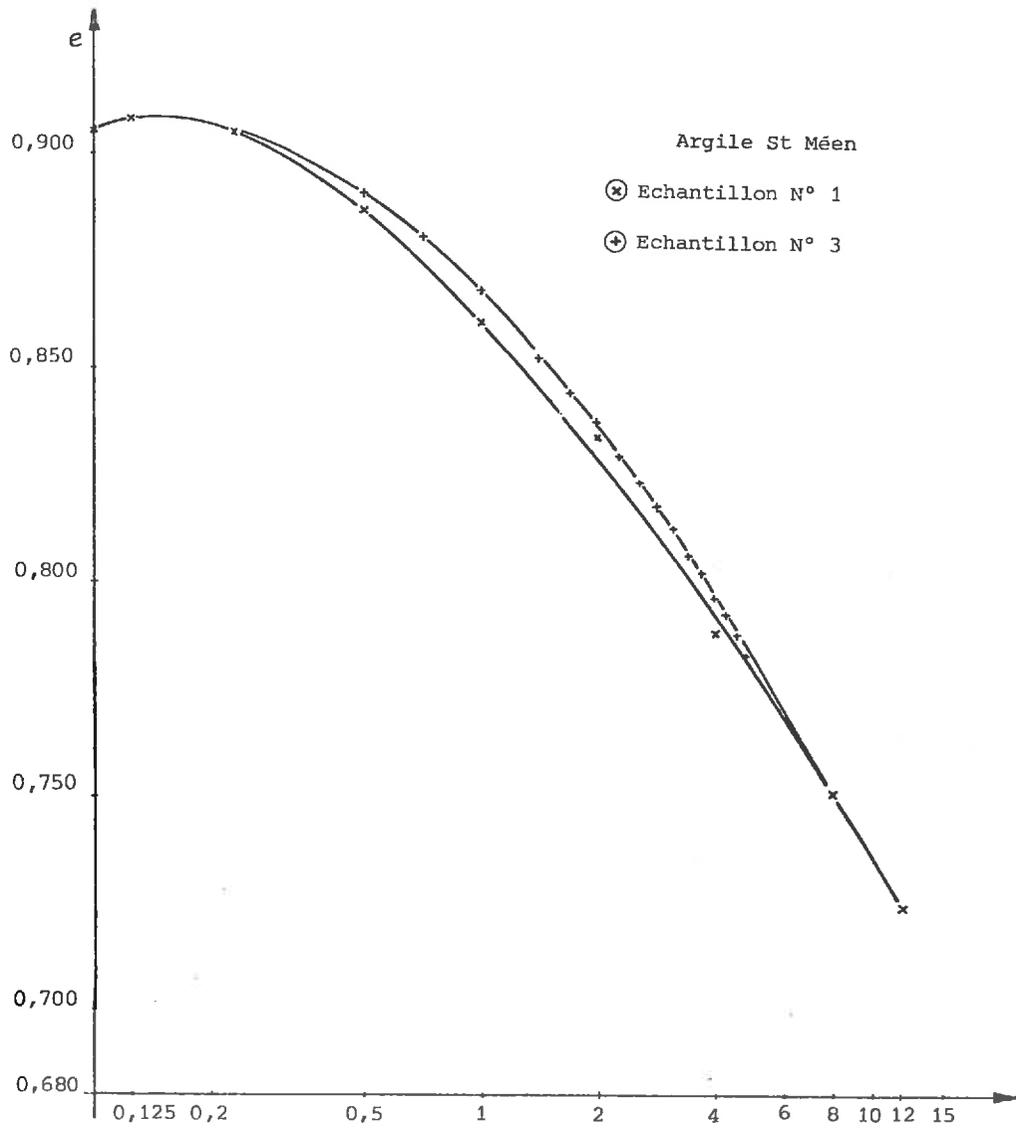


FIG. II.47 INFLUENCE DE L'INCREMENT DE CHARGE SUR LA COURBE DE COMPRESSIBIL

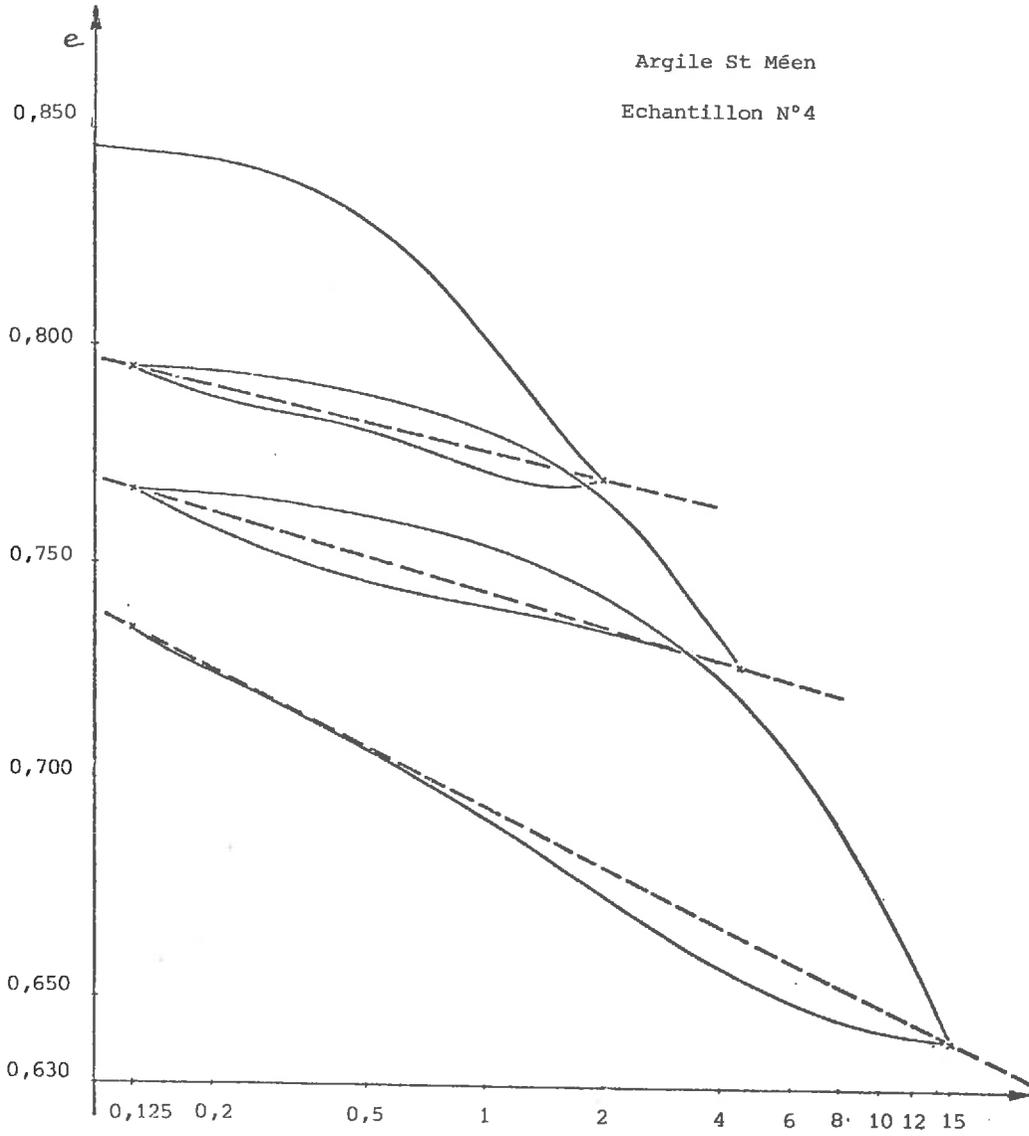


FIG. II.48 INFLUENCE DU MOMENT DE DECHARGEMENT SUR LA PENTE DE LA DROITE MOYENNE

les s'écartent de 20 à 110%, même dans le cas d'échantillons reconstitués en laboratoire pourtant beaucoup plus homogènes.

Ceci montre à l'évidence que l'expression de  $\sigma'_c$  n'a pas encore été établie de façon correcte et qu'un travail de clarification dans ce domaine est nécessaire. Vis à vis de notre travail ces résultats nous ont convaincus que, pour le calcul de  $\sigma'_c$ , il était préférable de rechercher une méthode empirique simple dont les résultats ne soient pas trop éloignés de ceux des méthodes traditionnelles, en souhaitant qu'une meilleure connaissance du phénomène apporte dans l'avenir une solution plus satisfaisante.

Après plusieurs essais, nous proposons la méthode suivante, inspirée en partie de celle de Schmertmann. Nous posons comme hypothèse que, si le cycle de déchargement est effectué assez tôt, la pente de la droite moyenne de déchargement et celle de la droite théorique de premier chargement sont identiques (CC1). La courbe d'essai théorique (différente de la courbe vierge puisque correspondant à un rechargement après déchargement) devrait donc commencer par un segment de droite de pente CC1 puis s'infléchir à partir de  $\sigma'_c$ . La première charge servant essentiellement à la mise en place du piston de la cellule, le premier point représentatif est celui d'abscisse  $\sigma' = 0,1$  ou  $0,125$  bar : on trace donc à partir de ce point une droite de pente CC1 qui vient couper la partie rectiligne de la courbe de chargement en un point d'abscisse  $\sigma'_c$  (figure II 49). Il est alors possible de tracer la courbe vierge qui va rejoindre la courbe expérimentale au point d'ordonnée  $0,42 e_0$ , comme l'indique la figure II 50.

Nous avons essayé cette méthode sur toutes les courbes dont nous disposons, les résultats sont assez satisfaisants car les écarts avec la construction de Casagrande varient de 5 à 20% (Fig. II 50bis). Il est cependant nécessaire d'imposer quelques conditions restrictives :

- le premier point de mesure doit correspondre à un état proche de l'état initial ( $\sigma' < 0,125$  bar)

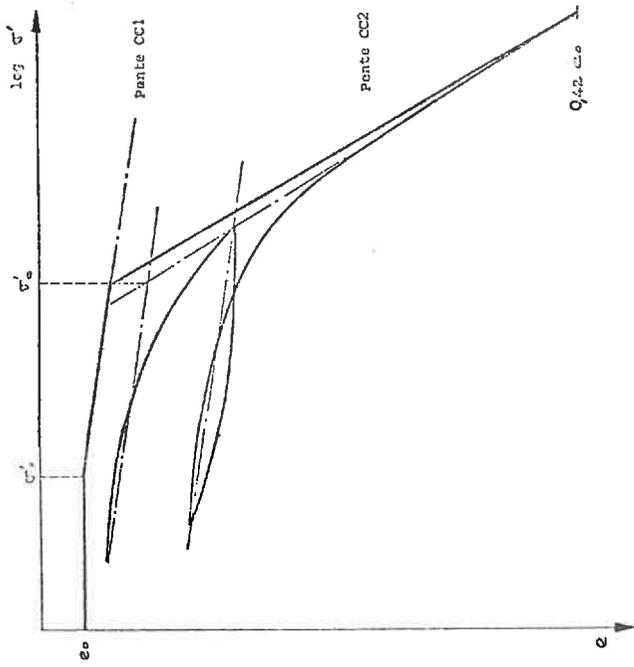


FIG. II.50 TRACE DE LA COURBE VIRGÉE

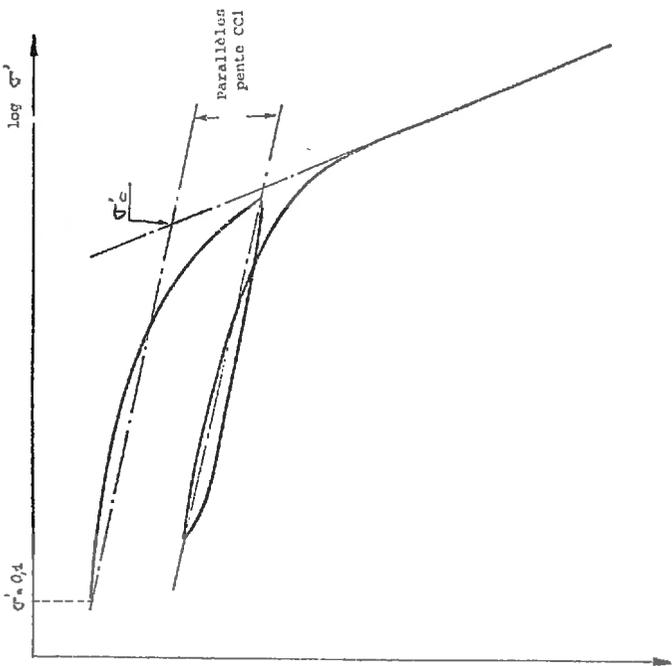


FIG. II.49 CONSTRUCTION POUR OBTENIR  $\sigma'c$

	C	B	S	A	Ecart % C.A	Observatic
<u>Argile de Saint Méen (Consolidé en Laboratoire)</u>						
Echantillon 1	1,06	1,68	-	1,77	66,9	12 bar
Echantillon 2	1,58	2,40	-	1,90	20,2	4 bar
Echantillon 3	2	2,30	2,70	2,30	15	
Echantillon 4	0,84	1,47	-	0,82	2	
Echantillon 7-76	2,5	2,8	-	2,67	6,8	
Echantillon 6-76	1	1,5	-	0,91	9	
<u>Marne de Rillé</u>						
Echantillon 1	1,3	-	1,6	1,42	9	
Echantillon 2	1,15	-	-	1	14	
Echantillon 3	1,18	-	-	1,30	10,2	
Echantillon 4	1,27	-	-	1,87	47	12 bar
Echantillon 4-76	1,4	-	-	1,16	17,1	
Echantillon 5-76	1,2	1,5	-	1,41	17,5	
Echantillon 8-76	1,1	1,3	-	0,97	11,8	
<u>Limons de Pacé</u>						
Echantillon 1	1,9	2,4	-	2,2	15,8	
Echantillon 2	2,4	-	3,2	2,8	16,6	
<u>Limons de Supélec</u>						
Echantillon 1	1,6	-	-	1,31	18,7	
Echantillon 2	1,1	-	-	0,9	18,2	
<u>Argile des Landes d'Apigné</u>						
Echantillon	1,9	1,75	-	1,95	2,6	
Moyenne quadratique des écarts = 13,39						

C = Pression de pré-consolidation obtenue par la méthode de Casagrande  
 B = " " " " " de Burmister  
 S = " " " " " de Schmertmann  
 A = " " " " " le processus automatique

Observations = Dans cette colonne figure la contrainte à partir de laquelle a été fait le déchargement, lorsque celle-ci est très supérieure à  $\sigma'_c$ .

FIG. II.50 bis COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES METHODES DE TRAITEMENT DE LA COMPRESSIBILITE

- le cycle de déchargement doit être effectué immédiatement après l'infléchissement de la courbe. Si cette condition n'est pas remplie, des erreurs importantes de l'ordre de 50% peuvent apparaître.

Ce processus a été programmé en vue d'un traitement automatique.

Remarque : A part les deux restrictions signalées ci-dessus, il est possible d'adapter cette construction quels que soient les incréments de charge choisis. Cependant, les observations faites ci-dessus nous font penser qu'un chargement rapproché en début d'essai devrait améliorer la précision de celui-ci. Pour notre part, nous utilisons la succession suivante : 0,1-0,25-0,5-1- puis tous les 0,5 bar jusqu'au déchargement, le rechargement se faisant tous les bars jusqu'à la contrainte maximale appliquée (10 à 12 bars).

#### II-2-4 Conclusion

Comme pour l'essai triaxial, cette étude de l'essai oedométrique nous a conduits à dresser un cahier des charges pour la mise au point des processus automatiques :

##### . Essai

- Mesure de la déformation et du temps à des périodes variant en progression géométrique de raison 2 ; la première mesure se faisant une seconde après le démarrage.

- Durée de consolidation choisie par l'opérateur qui commande lui-même la nouvelle mise en charge (moment et valeur de la charge)

- Le processus devra prévoir lors de l'utilisation de bâtis hydrauliques la possibilité de commander ceux-ci, afin d'améliorer la précision du démarrage. Le processus doit

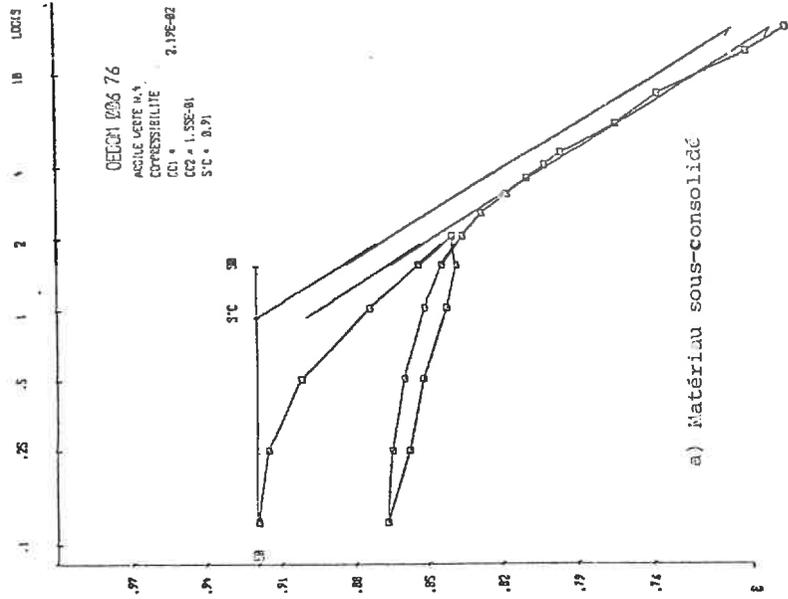
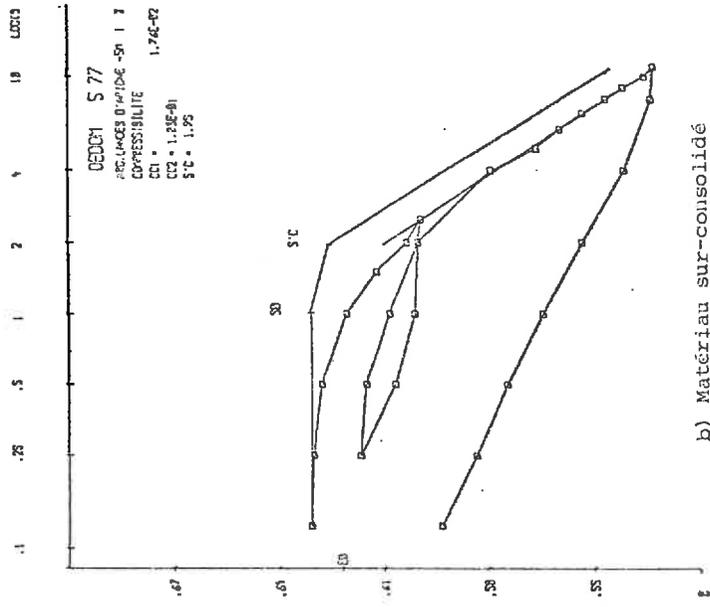


FIG. II.51 EXEMPLES DE TRACES AUTOMATIQUES DE COURBES DE COMPRESSIBILITE

aussi être facilement adaptable à une automatisation complète de l'essai toujours envisageable.

- Enfin, la durée de l'essai est telle qu'il faudra pouvoir en réaliser trois ou quatre simultanément.

. Traitement de la consolidation.

- Dans tous les cas : calcul et présentation du tableau de résultats (temps en minutes, racine du temps, logarithme du temps et déformation en centièmes de millimètres), ainsi que le tracé automatique des courbes de consolidation en racine et logarithme du temps.

- Traitement automatique par la méthode de Taylor et visualisation graphique.

- Possibilité de traitement ultérieur par la méthode de Casagrande ou toute autre méthode.

. Traitement de la compressibilité

- Calcul du tableau  $e$ ,  $\log^1$  et présentation graphique de la courbe expérimentale.

- Traitement de cette courbe par le processus décrit ci-dessus après élimination des courbes inadaptées à cette exploitation.

- Tracé automatique de la courbe vierge.

La durée des essais pratiqués et le souci d'utiliser le matériel d'acquisition au maximum nous ont conduits à mettre sur pied une organisation, tant sur le plan matériel qu'entre les différents programmes.

Dans le système que nous proposons, nous avons essayé de tenir compte des développements que l'on pourrait apporter : automatisation de nouveaux essais, emploi par des laboratoires voisins, extension du calculateur etc... Nos soucis principaux ont été les suivants :

- . Possibilité d'acquisition multitâche
- . Simplicité de mise en oeuvre des essais classiques
- . Facilité et souplesse d'assemblage des programmes ne nécessitant pas un personnel qualifié.
- . Versatilité du système pour pouvoir l'adapter à tout problème nouveau.

## PARTIE III

PRESENTATION DU SYSTEME MIS EN PLACE

### III - 1 CONCEPTION GLOBALE DU SYSTEME

#### III-1-1 Organisation matérielle

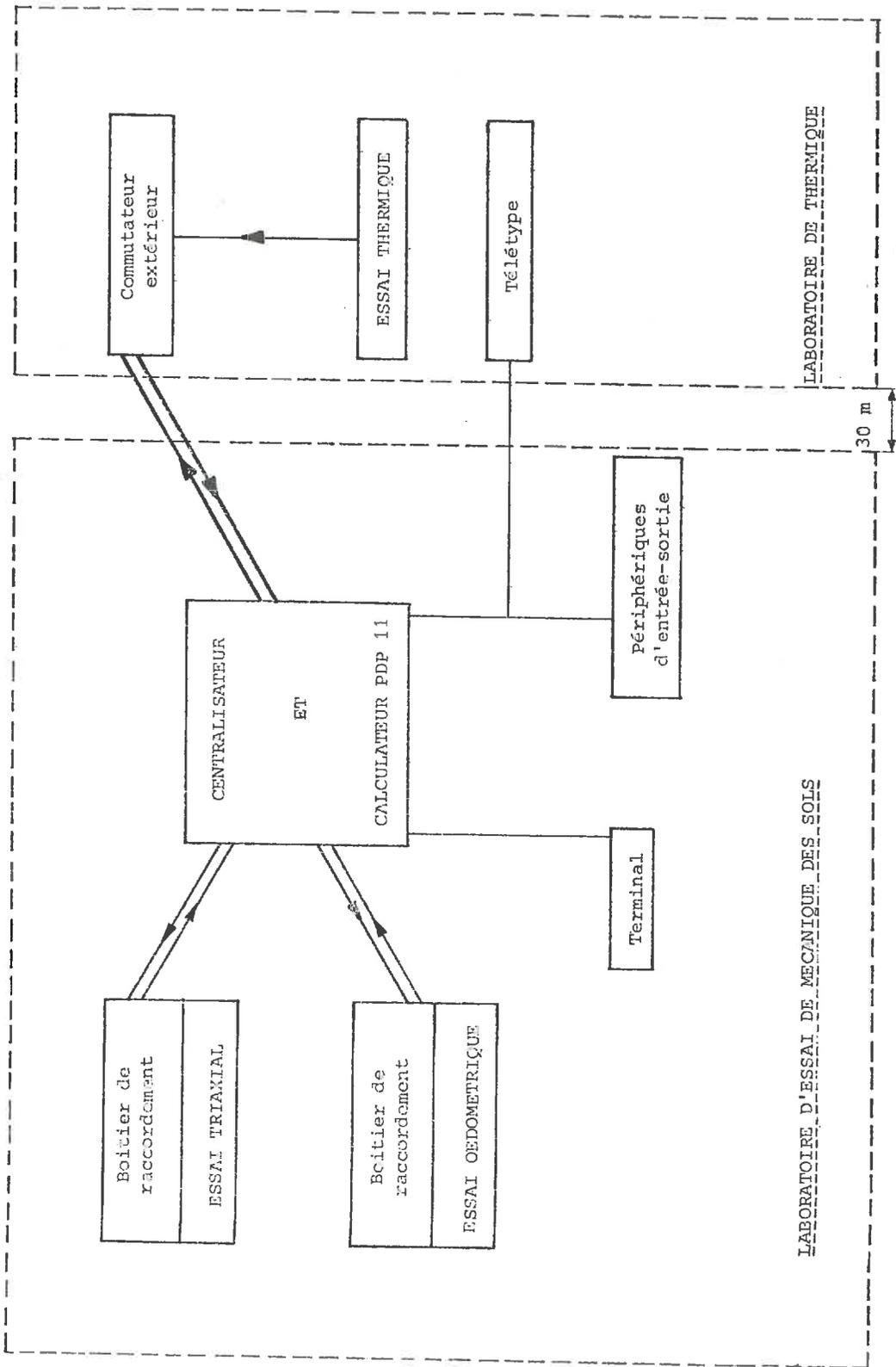
L'utilisation des appareils d'essais étant très fréquente, nous les avons reliés de façon permanente à la chaîne d'acquisition. Ces liaisons comportent le transport des signaux analogiques des différents capteurs utilisés, leur alimentation lorsque celle-ci est commutée en même temps que la mesure (capteurs potentiométriques et capteurs à jauges) et les circuits de commande qui permettent le contrôle de l'essai.

Ces liaisons aboutissent sur chaque machine d'essai à un boîtier sur lequel les capteurs sont branchés et qui contient éventuellement leur alimentation (cas des capteurs à transformateur différentiel dont l'alimentation ne peut être commutée) et tous les dispositifs de commande et de visualisation qui assurent la marche de l'essai. La connexion à la chaîne d'acquisition se fait par l'intermédiaire de connecteurs multiples facilement démontables. Toutes les voies utilisées pour ces essais sont cablées définitivement dans la baie ; les sorties sur les connecteurs multiples sont doublées par des prises individuelles qui permettent d'utiliser ces voies pour des essais différents en limitant au maximum les modifications de câblage.

La figure III 1 montre l'organisation actuelle du laboratoire (1).

---

Note (1) Sur cette figure on peut remarquer une liaison avec le laboratoire de thermique : le centralisateur sert dans ce cas à des mesures de températures : les thermocouples sont connectés sur un commutateur extérieur situé à 30 m de la chaîne d'acquisition. Il est possible de placer la télétype dans ce laboratoire pour suivre et commander les essais.



LABORATOIRE D'ESSAI DE MECANIQUE DES SOLS

LABORATOIRE DE THERMIQUE

30 m

III-1-2 Le système de programmation

III-1-2-1 Découpage des essais et  
classement des données

Pour les deux essais sur lesquels nous avons travaillé, nous avons dissocié en deux programmes différents la mesure et le traitement ; les données intermédiaires sont stockées sur ruban perforé. Nous pensons appliquer cette règle à tous les processus avenir, pour les raisons suivantes :

. un programme qui exécuterait toutes les opérations serait très important donc difficile à manipuler. D'autre part il prendrait une place considérable en mémoire et il est inutile par exemple, lors d'un essai oedométrique qui dure un mois, de garder dans la mémoire du calculateur le programme de traitement de la courbe de compressibilité, alors que ce processus dure à peine cinq minutes en fin d'essai. Il est bien plus intéressant d'utiliser cette mémoire pour faire un autre essai.

. le traitement et l'interprétation de nombreux essais de Mécanique des Sols exigent la connaissance des caractéristiques de l'échantillon après essai (poids sec, teneur en eau, etc...). Ces caractéristiques sont souvent connues seulement 24 heures après la fin de l'essai et doivent alors être introduites dans le programme de traitement.

. le programme de mesure qui fournit les grandeurs physiques primaires (celles qui sont mesurées) permet à l'opérateur de suivre l'essai pendant son déroulement.

. étant donné que l'on stocke sur ruban les grandeurs physiques primaires, il est possible d'utiliser les programmes de traitement avec des données provenant d'un essai similaire non automatisé : il suffit pour celà de perforer manuellement les données sur le ruban.

. enfin ce découpage permet de traiter plusieurs fois de façons différentes les mêmes données brutes ou de reprendre avec une technique de traitement nouvelle les données d'un essai ancien.

On constate que l'emploi du ruban perforé comme support intermédiaire de données apporte un certain nombre d'avantages quant à la souplesse d'utilisation du système. Par contre il pose des problèmes de stockage et d'identification des bandes. Les programmes de mesure inscrivent automatiquement au début du ruban un code d'identification (voir annexe 8) ainsi que toutes les données qui caractérisent l'essai ou qui sont nécessaires au traitement ultérieur. Ceci évite d'avoir à stocker une feuille d'essai avec la bande de données et de commettre des erreurs par perte ou interversion. La nécessité d'identification a amené un classement des essais réalisés. Il est basé sur les critères suivants :

- . type d'essai (triaxial, oedométrique, de cisaillement direct, etc...)
- . numéro d'ordre dans l'année en cours
- . type de sol
- . date de l'essai

Parallèlement nous avons mis en place une structure d'archivage des essais afin que les originaux restent au laboratoire : tous les essais seront donc réutilisables à tout moment.

### III-1-2-2 L'acquisition multitâche

Nous avons évoqué dans la première partie les possibilités de mesure en temps réel et de conduite de processus, apportées par le logiciel implanté dans le calculateur.

Le système mis au point est essentiellement fondé sur l'utilisation du "DELAY" et des entrées analogiques. L'instruction "DELAY" appellera les sous-programmes de mesure qui viendront alors s'exécuter en "surimpression" sur le programme en cours. La modification de l'état des entrées analogiques testées périodiquement branchera le contrôle sur des éléments de programme exécutant un processus particulier (essai de plus courte durée, traitement, etc...)

Sur ces bases, l'organisation générale du système de programmation est la suivante (fig. III 2) :

. une boucle teste en permanence l'état des huit entrées analogiques. La modification de l'état d'une de ces entrées branche le contrôle à un élément de programme : début d'un essai, modification d'une séquence de scrutation, programme de traitement.

. les éléments de programmes ainsi appelés appartiennent à deux familles :

- les programmes de niveau 1 :

il s'agit de programmes de mesure sur des essais de longue durée. Ils comportent un ou plusieurs sous-programmes d'initialisation qui permettent de lancer l'essai (identification, mesure du zéro des capteurs, etc...) ; à la fin de ces derniers se trouve une instruction "DELAY" qui appelle un sous-programme de mesure, puis il y a retour dans la boucle d'attente initiale. Le sous-programme de mesure relance un nouveau délai pour la mesure suivante. Ainsi les mesures de ces essais viendront s'intercaler soit dans la boucle d'attente, soit dans le déroulement d'un autre programme qui aurait été appelé entre temps.

- les programmes de niveau 2 :

ce sont tous les programmes de traitement et les programmes d'essais courts. Ils se déroulent de façon séquentielle. En fin d'exécution le contrôle est redonné à la boucle d'attente. Ceci implique qu'il est

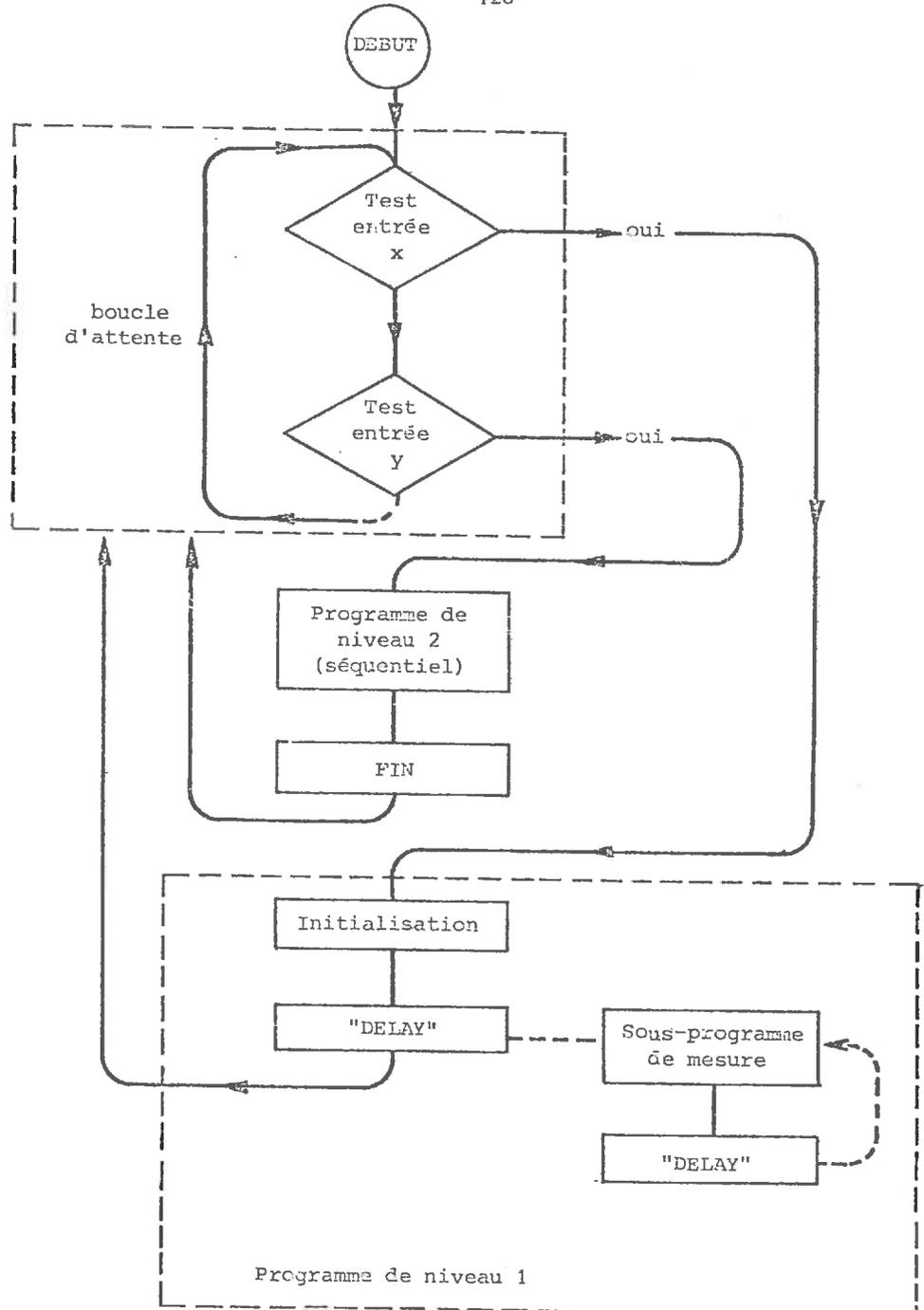


FIG. III.2 ORGANISATION GENERALE DU SYSTEME DE PROGRAMMATION

impossible de faire fonctionner deux programmes de niveau 2 simultanément. Par contre on peut faire se succéder des programmes différents ou appeler le même programme autant de fois que l'on veut pendant le déroulement d'un programme de niveau 1.

Pour les programmes d'essais on peut, en plus, faire une subdivision différente :

- les programmes principaux où il est nécessaire de modifier par moments la séquence de scrutation (essai oedométrique dont on fait varier la charge régulièrement, par exemple). Ces modifications seront commandées au moyen des mêmes clés qui appellent les programmes. Dans ce cas, la boucle d'attente fait partie intégrante du programme. Ces programmes sont obligatoirement de niveau 1.

- les programmes secondaires qui, une fois lancés, ne font plus référence à la boucle d'attente dans leur déroulement. Ils peuvent être de niveau 1 ou 2

### III-1-2-3 Fonctionnement pratique du système

Les différents programmes sont assemblés. Chacun sera appelé par une (ou plusieurs) clé reliée aux entrées analogiques. Le lancement du système met à jour le calendrier et l'horloge, puis le contrôle va à la boucle d'attente jusqu'à ce qu'un programme soit appelé. Dès que le cycle de mesures d'un programme de niveau 1 est commencé, il est possible d'appeler et d'exécuter un autre programme de niveau 1 ou 2 sans que la séquence de mesure précédente soit affectée. Ce système serait parfait si tous les programmes de mesure et de traitement pouvaient être chargés simultanément et être appelés au fur et à mesure des besoins. Mais un certain nombre de contraintes techniques limitent la souplesse du système. Nous allons examiner les principales :

. La taille-mémoire disponible ne permet de charger que trois ou quatre programmes au maximum. Ceci oblige l'opérateur, au début d'un essai long (oedomètre ou triaxial C.D.), à prévoir quels programmes il devra utiliser durant cette période, à les assembler et à les charger ensemble dans la machine. Il faudra donc que les programmes se prêtent facilement à des assemblages variés.

. Le BASAC ne connaît pas de véritable procédure de sous-programme (le "GOSUB" n'est en fait que l'association de deux "GO TO") ; il faut donc veiller à ce qu'il n'y ait pas interférence à ce niveau entre deux éléments de programme. Ceci conduit à des erreurs particulièrement difficiles à détecter et à corriger.

. L'affectation d'un périphérique de sortie à chaque programme a une grande importance si l'on veut éviter les mélanges de données en sortie. Suivant les assemblages réalisés, cette affectation peut varier.

La programmation en langage BASAC se fait en lignes numérotées. Les contraintes citées ci-dessus nous ont conduits à diviser la numérotation totale (0 à 16000) en pages affectées chacune à une utilisation précise. Ces pages sont les suivantes :

10-29	: initialisation du programme principal
30-49	: initialisation du programme secondaire 1
50-69	: initialisation du programme secondaire 2
100-199	: boucle d'attente
200-1999	: programme principal commandé ou non par les clés 2 à 7
2000-2999	: sous-programmes utilitaires communs aux programmes de mesure

- 3000-4999 : programme secondaire n°1 appelé par la clé 0 ; niveau 2
- 5000-7999 : programme secondaire n°2 appelé par la clé 1 ; niveau 1 ou 2
- 8000-8999 : sous-programmes de tracé de courbes
- 9000-9999 : sous-programmes de calcul et d'analyse numérique

Les initialisations écrites entre les lignes 10 et 69 servent au dimensionnement des tableaux utilisés dans chaque programme et à l'affectation des périphériques d'entrée-sortie. Elles ont été regroupées au début du programme pour faciliter la détection d'un dépassement de mémoire éventuel et l'affectation des périphériques de sortie.

Le choix judicieux des plages dans lesquelles on écrit les divers programmes permet de faire face à la plupart des besoins.

Pour lancer une série d'essais ou de traitements à faire dans une période donnée, il suffit donc d'assembler les programmes nécessaires, de les charger ensemble et éventuellement de modifier les affectations d'entrée-sortie. Ces opérations prennent environ un quart d'heure.

## III - 2 L'ACQUISITION

### III-2-1 Les capteurs : étalonnage et contrôle

Nous avons vu dans la première partie l'importance de tous les maillons de la chaîne d'acquisition sur la qualité du résultat obtenu. Or si une défaillance des organes de transmission et de conversion (commutateur, voltmètre) est en général détectée immédiatement, des erreurs ou des variations de lois d'étalonnage de capteurs peuvent fausser les résultats d'essai pendant très longtemps sans que l'on s'en aperçoive. Comme les capteurs sont manipulés lors de chaque essai, il peut toujours arriver de les endommager accidentellement et sans que l'on ne s'en rende compte.

Pour ces raisons, il semble absolument nécessaire de vérifier périodiquement l'état des capteurs en les réétalonnant. D'autre part la mise au point de capteurs nouveaux nous a confronté à des problèmes d'étalonnage. Le processus que nous utilisons est le suivant : nous utilisons un système pour faire varier la grandeur à mesurer, de façon suffisamment précise pour que l'on puisse considérer ce système comme un étalon, par exemple :

- pour les forces : des masses étalonnées sur un bâti de chargement.
- pour les pressions : un manomètre à mercure lu avec un cathétomètre jusqu'à deux bars, une balance à manomètre ensuite.
- pour les déplacements : le canon d'un palmer
- pour les variations de volume nous avons décrit l'appareil réalisé dans la partie II.

On soumet alors le capteur à une série de cycles de mesures croissantes et décroissantes par paliers successifs. A chaque palier on note la valeur de la grandeur appliquée et la réponse électrique du capteur. Pour que les résultats aient une signification il est nécessaire de réaliser au moins 50 paliers répartis sur au moins trois cycles.

Lors des essais nous avons besoin de connaître la loi du capteur (en général linéaire) et les écarts par rapport à cette loi.

Le traitement est donc assez simple : on ajuste une droite sur la série de couples de valeurs puis on mesure l'écart de chaque point à la droite.

Pour faciliter ce travail, nous avons écrit une série de petits programmes qui réalisent ces opérations. Nous donnons en annexe 7 les caractéristiques du programme de test du capteur de variation de volume, à titre d'exemple. La première partie de ce programme exécute la mesure sur l'ordre de l'opérateur et édite un ruban perforé où sont inscrits les couples de valeurs. La seconde partie calcule les coefficients de la droite ajustée ; elle mesure les écarts à cette droite, fait ressortir les écarts maxima et moyens, en plus ou en moins, et calcule l'erreur quadratique moyenne.

#### III-2-2 Le contrôle et la conduite des essais

L'étude des essais nous a permis de mettre en évidence les fonctions que devaient avoir les programmes d'essais. Plusieurs de ces fonctions sont identiques pour les deux essais et peuvent être généralisées à beaucoup d'autres : ceci va déterminer la structure globale des programmes, nous verrons ensuite les applications particulières aux essais triaxiaux et oedométriques.

##### III-2-2-1 Organigramme type d'un programme de mesure

Les fonctions réclamées sont les suivantes :

- . exécution des mesures à intervalles de temps réguliers ou non.
- . calcul des grandeurs physiques correspondantes.
- . édition d'une bande de données com-

portant l'identification de l'essai (code d'identification et caractéristiques de l'essai) et la série de mesures.

. mise en route et arrêt automatique de la machine d'essai et éventuellement contrôle du bon fonctionnement.

Ceci suppose qu'un certain nombre de données soient apportées au début de l'essai, concernant :

- . l'identification de l'échantillon
- . le mode de conduite de l'essai : choix des capteurs, gamme de vitesse, période de scrutation, etc...
- . le réglage de l'essai : tension d'alimentation des capteurs, mesure du zéro.
- . si possible les caractéristiques de l'échantillon nécessaires au traitement.

La figure III 3 montre le déroulement d'un programme de mesure.

Le processus débute par une partie conversationnelle plus ou moins longue qui remplit les fonctions ci-dessus. Celle-ci se termine par un ordre de lancement. Ensuite le calculateur commence à éditer la bande perforée avec le code d'identification de l'essai, puis il lance effectivement l'essai en mettant en route l'appareil. Après éventuellement une mesure initiale, cette partie se termine par une instruction "DELAY" qui appellera le sous-programme de mesure. Le contrôle se trouve alors dans une boucle d'attente.

Le sous-programme de mesure comporte les ordres de scrutation, le calcul des grandeurs physiques à partir des mesures et l'édition sur bande perforée des résultats. Un test de fin d'essai permet d'arrêter le déroulement du programme après arrêt de la machine et perforation d'un code de fin sur la bande. Si ce

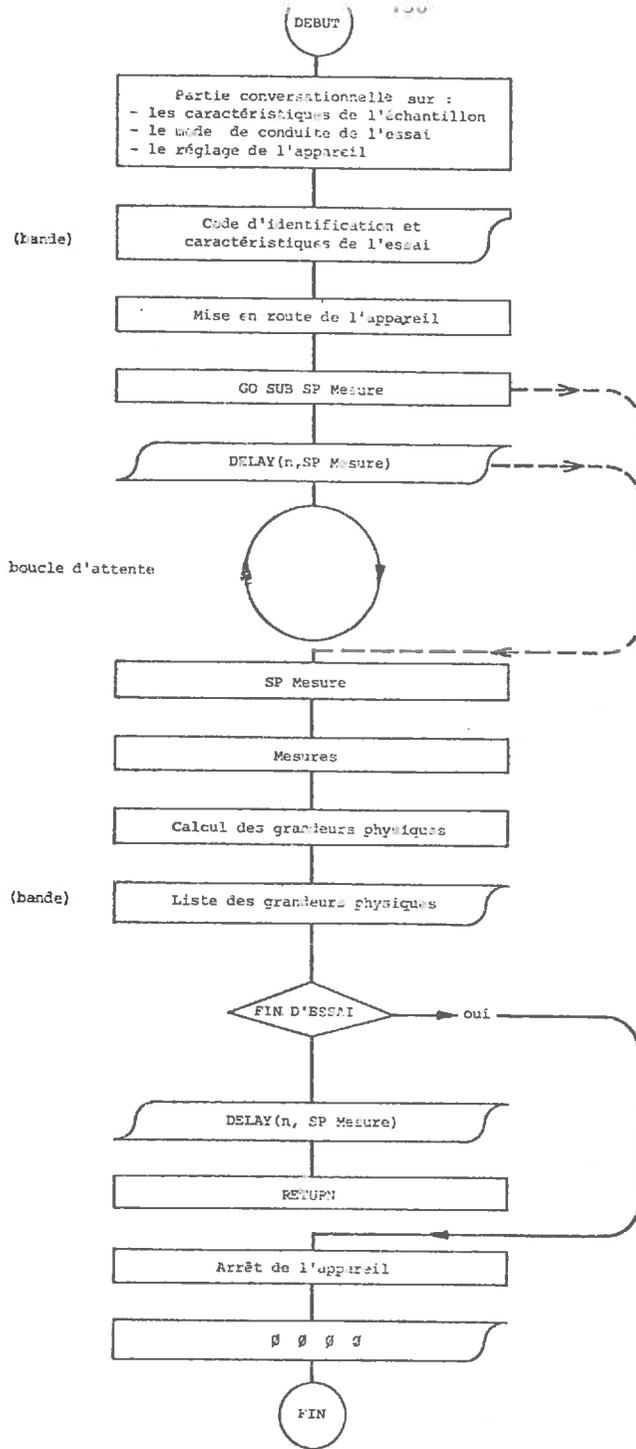


FIG. III.3 ORGANIGRAMME D'UN PROGRAMME DE MESURE

test est négatif, une nouvelle instruction "DELAY" appelle à nouveau le sous-programme de mesure.

Dans certains cas, il est possible d'insérer entre la partie conversationnelle et la boucle d'attente une deuxième instruction "DELAY" qui appelle un sous-programme de contrôle : son rôle sera d'effectuer à intervalles de temps réguliers la vérification de certains capteurs, de comparer le résultat à des limites pré-programmées et en cas d'anomalie, d'arrêter l'essai et de déclencher un signal d'alarme.

Certains essais peuvent nécessiter pendant leur déroulement la modification de la scrutation : on intégrera alors dans la boucle d'attente le test d'une entrée analogique. Un test positif branchera le contrôle vers un élément de programme qui permettra cette modification sans arrêter le processus. Le programme sera alors un programme principal.

### III-2-2-2 L'acquisition sur l'essai triaxial

Le programme qui réalise cette acquisition (TRIAX.ES.S.) est décrit en détail dans l'ann. 5. Il s'agit d'un programme de niveau 2 qui a exactement le schéma d'organisation exposé dans le paragraphe précédent.

Pour simplifier le lancement de l'essai, nous avons défini une procédure d'essai normal qui porte sur le choix des capteurs et la gamme de vitesse en fonction du type d'essai :

. essai U.U. et C.U. :

- gamme de vitesse haute
- mesure de force
  - déplacement
  - pression interstitielle

. essai C.D. :

- gamme de vitesse basse
- mesures de force
  - déplacement
  - pression interstitielle
  - pression hydrostatique
  - variation de volume

Lorsqu'on déclare l'essai normal, le choix de gamme et de lois d'étalonnage des capteurs se fait automatiquement. Sinon l'opérateur doit indiquer la vitesse choisie et les fonctions de conversion utilisées. On donne ensuite les conditions de l'essai : intervalle de déplacement entre deux scrutations, déplacement total désiré, vitesse de cisaillement. A partir de ces données, le programme calcule l'intervalle de temps entre deux scrutations et la mesure se fera en fonction du temps. Au début de l'essai un sous-programme met en route la presse ; un autre l'arrête lorsque le déplacement a atteint le maximum choisi.

Un exemple de sorties est donné en annexe 5.

Un deuxième programme très voisin de celui-ci (TRIAX.ES.L.) est adapté aux essais de longue durée. Il présente essentiellement deux différences par rapport à TRIAX.ES.S. :

. un "DELAY" supplémentaire appelle un sous-programme de contrôle toutes les trente secondes, celui-ci vérifie les valeurs de la force et de la pression hydrostatique. En cas d'anomalie, il arrête la presse et déclenche un signal d'alarme.

. la boucle d'attente n'est plus interne au programme il s'agit de la boucle principale du système. Ceci permet de modifier la scrutation sur un autre essai ou d'appeler un au-

tre programme pendant le cycle de mesure de l'essai triaxial.

III-2-2-3 L'acquisition sur l'essai  
oedométrique

Le programme d'essai oedométrique est un peu plus complexe (OEDOM.ES. : voir annexe 1) car il assure l'acquisition sur trois bâtis simultanément. Afin que les trois manipulations soient indépendantes, nous avons pourvu chaque bâti de deux interrupteurs reliés à des entrées analogiques (fig. III 4) : le premier indique que le bâti est en essai, le second qu'une consolidation est en cours.

OEDOM.ES. est un programme principal de niveau 1. Après mise à jour du calendrier et mise à l'heure de l'horloge, le contrôle est immédiatement donné à la boucle d'attente. Celle-ci teste en permanence l'état des entrées analogiques. Dès qu'un interrupteur d'essai est fermé, commence une partie conversationnelle d'identification d'essai et de mesure du zéro des capteurs. Les valeurs caractéristiques de l'essai sont stockées dans un tableau à trois colonnes (une par bâti). Ensuite s'exécute le sous-programme de lancement de consolidation. Le cycle de mesure est lancé par l'opérateur au moyen de l'interrupteur de charge. Celui-ci permet d'effectuer une instruction "DELAY" qui appelle le sous-programme de mesure. Le contrôle retourne alors dans la boucle d'attente: un autre essai peut être fait.

Le sous-programme de mesure réalise la scrutation et la mesure du temps ; il calcule la déformation moyenne de l'échantillon et imprime les résultats précédés du numéro du bâti. Un nouveau "DELAY" appelle de nouveau le sous-programme de mesure. L'intervalle de temps est multiplié par la racine de deux à chaque fois.

Lorsque l'opérateur estime que la consolidation est terminée, il relève l'interrupteur de charge. Ceci fait redémarrer le sous-programme de lancement de consolidation qui initialisera un nouveau cycle de mesure.

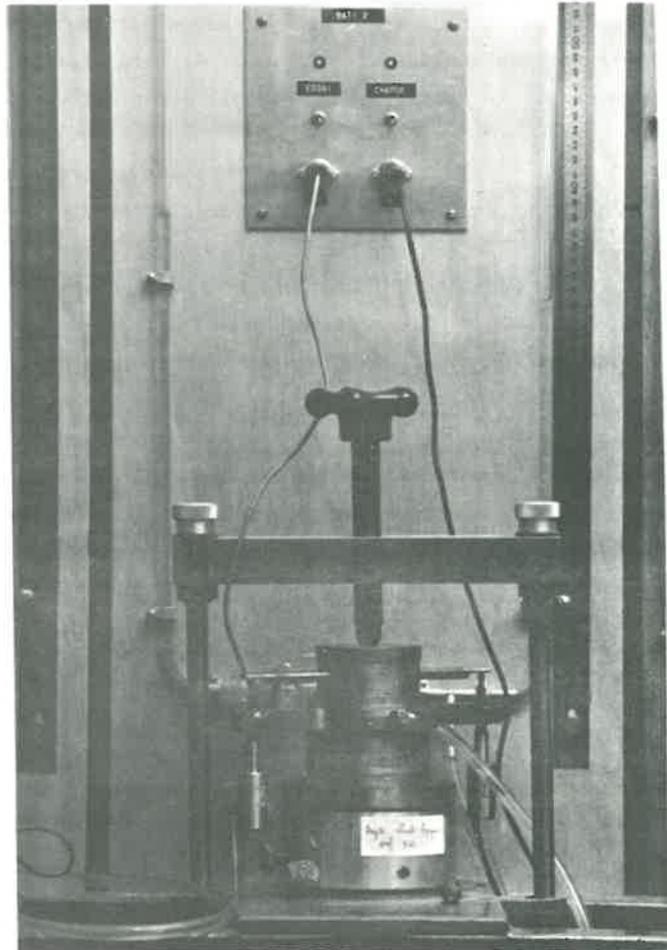


FIG. III.4 - DETAIL DU BATI OEDOMETRIQUE MONTRANT LES  
CAPTEURS ET LE PANNEAU DE COMMANDE.

On trouvera en annexe des exemples de sorties : conversation sur le terminal et ruban perforé de résultats.

Avec ce système, les données des trois essais sont mélangées sur la bande perforée de résultats. Le tri est effectué au moyen d'un programme annexe (OEDOM.TRI. : voir annexe 2). C'est au cours de ce programme que l'on inscrit les caractéristiques de l'échantillon après essai. Les rubans édités par ce programme contiennent donc toutes les données nécessaires au traitement.

Sur la bande perforée de données, le début d'une nouvelle consolidation est marquée par le retour à zéro du temps. La grandeur qui s'inscrit en face est la nouvelle pression à laquelle est soumis le sol, les mesures effectives commençant à 1.

### III-2-3 Les limites du système actuel

#### III-2-3-1 La taille mémoire

Nous avons disposé pour ce travail d'une mémoire utilisable de cinq kilomots environ. Ceci limite beaucoup la souplesse du système car la taille requise par un programme moyen est de 2500 mots . On peut donc charger ensemble deux modules moyens ou trois petits, ce qui est peu.

Ce problème peut être résolu par l'accroissement de la mémoire centrale (8 kilomots supplémentaires permettraient de charger cinq à six programmes), soit par l'acquisition d'un système disque qui rendrait possible la multiprogrammation réelle.

#### III-2-3-2 Le nombre de périphériques

Dans l'état actuel des programmes, la sortie des résultats se fait immédiatement après la mesure. Il est absolument impossible de stocker en mémoire centrale toute une série

de données. Lorsqu'on fait plusieurs essais simultanés, les mesures qui s'y rapportent sont intercalées dans le temps. Si elles sont toutes affichées sur le même périphérique de sortie, il est nécessaire de faire un tri fastidieux. Il faut donc pouvoir disposer de plusieurs périphériques, chaque groupe d'essai ayant un organe de sortie attribué.

Le fonctionnement du système actuel serait optimum avec une télétype supplémentaire. Là encore, on peut noter qu'un disque apporterait une solution élégante : les données d'un essai seraient stockées et éditées toutes ensemble à la fin de la manipulation. Ceci aurait cependant l'inconvénient de rendre impossible tout contrôle de l'essai en cours de déroulement et ne serait donc applicable que dans certains cas particuliers.

### III-2-3-3 Le problème des priorités

Le calculateur ne dispose pas de moniteur en temps réel : de ce fait il arrive que deux tâches soient appelées en même temps et le compilateur ne prévoit pas de priorité. Ceci se produit notamment quand le voltmètre exécute des mesures et qu'une nouvelle scrutation est demandée : dans ce cas la seconde mesure n'est pas faite, un message d'erreur est édité ; plus grave, n'importe qu'elle valeur est affectée à la seconde mesure.

Nous nous sommes longtemps heurtés à ce problème, pour finalement le résoudre simplement par un artifice de programmation. Un indicateur prend la valeur 1 lors de chaque scrutation et repasse à 0 après. Un test avant chaque scrutation maintient le contrôle dans une petite boucle d'attente jusqu'à ce que l'indicateur revienne à zéro, quand la mesure en cours est achevée. Depuis la mise en place de ce dispositif, nous n'avons jamais observé de cas de conflit.

### III - 3 LE TRAITEMENT

#### III-3-1 Caractéristiques générales

Les programmes de traitement ont pour but de calculer et de donner l'évolution des grandeurs physiques élaborées représentatives de l'essai pratiqué. Dans la plupart des cas, il s'agit d'exécuter sur chaque groupe de mesures une série de calculs simples et d'imprimer le tableau de résultats correspondant. Souvent la représentation graphique de ces résultats facilite beaucoup l'interprétation. Ces deux fonctions seront toujours demandées aux programmes de traitement.

Dans certains cas particuliers, l'automatisation intégrera l'interprétation de l'essai (cas de l'essai oedométrique) ; l'élément de programme qui exécutera ce processus aura alors toujours une structure de sous-programme. Ceci permet de ne pas faire le traitement si on le désire, ou de le modifier si les méthodes d'interprétation évoluent.

Les sorties des programmes de traitement (tableaux et courbes) doivent être des documents directement utilisables dans un rapport. Nous avons donc mis au point une procédure de mise en page automatique au format 21 x 29,7 et nous avons prévu l'édition de page de garde et d'entête en haut des tableaux de résultats. De même, les courbes tracées sont annotées.

Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, que les bandes de données perforées par les programmes d'essai comportaient toutes les caractéristiques de l'échantillon nécessaires au traitement. Celui-ci pourra donc se faire sans l'intervention de l'opérateur. Nous avons accru cette indépendance en laissant la possibilité de traiter automatiquement plusieurs essais successivement. Des mots-clé insérés entre les bandes de données font repartir le programme au début ou au contraire arrêter son déroulement.

Cette automatisation du traitement a été permise par le choix de la table traçante. Celle-ci est équipée d'un dérouleur de papier qui, après une légère modification est piloté par l'intermédiaire du tiroir à relais. Un sous-programme assure l'avancement automatique du papier de 42 cm lorsqu'une courbe est tracée. Il est ainsi possible de dessiner successivement soixante dix courbes sans qu'une intervention ne soit nécessaire.

Il est ainsi possible de faire exécuter une grande série de traitements pendant les heures creuses de nuit ou de jours fériés. Le calculateur est alors disponible les jours ouvrables pour des utilisations qui requièrent la présence d'un opérateur.

L'organigramme d'un programme de traitement est donné par la figure III 5.

#### III-3-2 Traitement de l'essai triaxial

Deux programmes de traitement ont été mis au point. TRIAX.TR.1 fournit le traitement pour l'interprétation d'après le critère de Mohr-Coulomb. Pour chaque cisaillement il calcule l'évolution :

- . de la déformation relative
- . du déviateur
- . du rapport  $\sigma'_1/\sigma'_3$
- . de la pression interstitielle
- . de la variation relative de volume
- . du coefficient A de Skempton

Deux graphiques sont tracés : le premier présente l'évolution du déviateur et de la pression interstitielle en fonction de la déformation relative, le second celle du rapport  $\sigma'_1/\sigma'_3$ .

En fin de traitement, les caractéristiques des différents cisaillements sont regroupés sur une page de garde.

Les calculs réalisés dans ce programme ont été décrits dans la partie II ; on trouvera en annexe 6 la description du programme et des exemples de sorties.

TRIAX.TR.2 a une structure très voisine ; il calcule les grandeurs utilisées par l'école de Cambridge (p,q). Il n'y a pas de tracé de courbes représentatives de chaque cisaillement : elles sont groupées en fin de traitement sur un seul diagramme p.q. (voir en annexe 6 ).

### III-3-3 Traitement de l'essai oedométrique

Au départ nous avons réalisé un programme de traitement qui se déroulait de la façon suivante : pour chaque consolidation un tableau donne le temps en minutes, la racine carrée et le logarithme du temps, la déformation en centième de millimètre. Ces données, stockées en mémoire, servent au tracé automatique des courbes de consolidation en  $\sqrt{t}$  et  $\log(t)$ . La déformation finale de chaque consolidation et la contrainte correspondante sont retenues dans un autre tableau. Ces données permettent de calculer le tableau de compressibilité ( $e-\log\sigma'$ ) et de tracer la courbe expérimentale..

Nous avons ensuite adjoint, sous forme de sous-programme les processus d'interprétation automatique de la consolidation par la méthode de Taylor et de la compressibilité. Ces opérations étant trop importantes, il a fallu couper le programme en deux parties. OEDOM.TR.CN. à partir de la bande perforée issue de l'essai établit les tableaux et trace les courbes de consolidation. Il effectue l'interprétation par la méthode de Taylor (voir partie II) et donne pour chaque consolidation :  $T_{90}$ ,  $C_v$ ,  $M_v$ ,  $K$  et  $R$ .

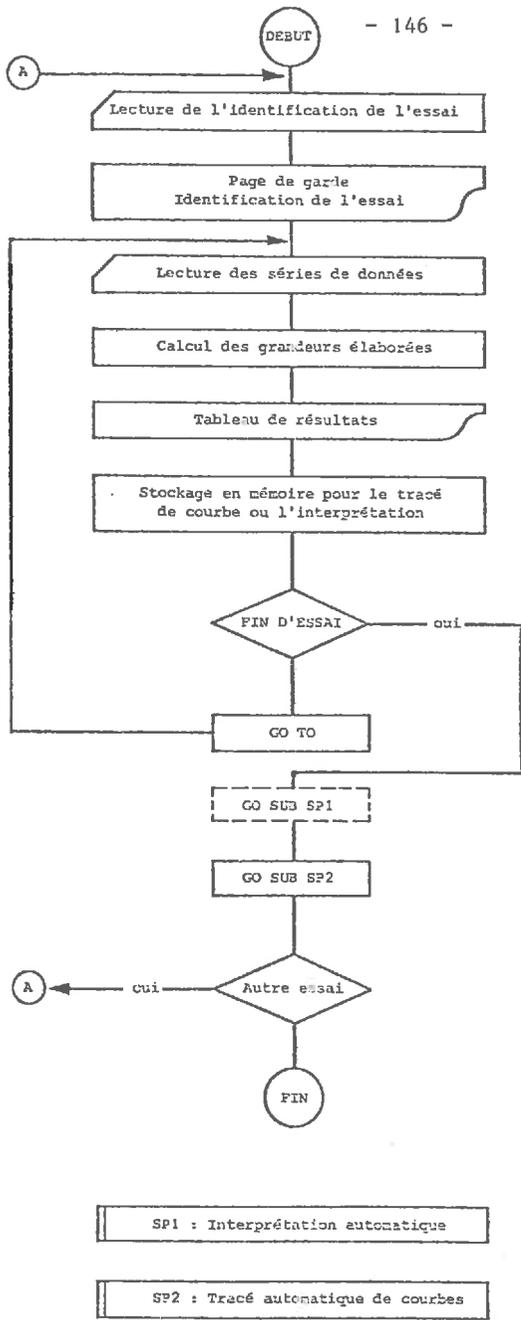


FIG. III.5 ORGANIGRAMME D'UN PROGRAMME DE TRAITEMENT

Le traitement est déclaré impossible si le nombre de points est insuffisant ou si la résolution du système est irréalisable (coefficients nuls).

Les deux droites déterminées lors du traitement sont superposées à la courbe expérimentale afin qu'un contrôle soit possible. Quand toutes les consolidations sont traitées, une bande de données de compressibilité est perforée. Ce ruban est exploité par OEDOM.TR.CS. qui calcule le tableau de compressibilité et réalise l'interprétation d'après la méthode décrite dans la partie II (§ 2-3-2). Le tracé de courbe superpose la courbe expérimentale et la courbe vierge obtenue. On obtient la valeur de  $\sigma'_c$ , CC1, CC2 et éventuellement, si un déchargement est effectué en fin d'essai, CC3 qui est un coefficient de déchargement.

Ces deux programmes sont présentés en annexe 3 et 4.

## PARTIE IV

### DISCUSSION DES RESULTATS

## IV - 1 LA PRECISION DES MESURES

### IV-1-1 Les apports du système sur la précision

L'emploi d'un système automatique d'acquisition améliore la qualité de l'essai de trois façons :

. dans certains cas la sensibilité et la précision des capteurs électriques sont très supérieures à celles des appareils traditionnels. Ceci apparaît très nettement pour les capteurs de pressions comparés aux manomètres à tube de Bourdon. L'utilisation d'un capteur électrique pour mesurer les variations de volume réduit aussi beaucoup les erreurs par rapport à la burette.

. la multiplication des mesures permet de suivre plus finement le phénomène et diminue éventuellement le poids d'un point aberrant. Cela peut, dans certains cas, rendre exploitables des résultats qui ne l'étaient pas. Nous avons vu dans la deuxième partie l'influence de la précision de mise en charge et du moment de lancement de la scrutation sur l'interprétation des courbes de consolidation des sols à tassement rapide.

. enfin, l'automatisation des mesures libère l'opérateur de tâches fastidieuses et améliore sensiblement les conditions de l'essai. Par exemple, sur l'essai triaxial, la mesure simultanée de cinq grandeurs répétées toutes les vingt à trente secondes est particulièrement mal aisée et les grandeurs sont plus souvent estimées que mesurées.

La partie conversationnelle du départ et la prise en charge des opérations par la machine évite des oublis et tend à rendre les conditions d'essais plus homogènes.

#### IV-1-2 Les erreurs spécifiques au système

Si l'utilisation d'une chaîne d'acquisition a des avantages, elle introduit aussi de nouvelles causes d'erreurs qui lui sont spécifiques :

. nous avons déjà évoqué les accidents ou incidents qui peuvent affecter les capteurs et les précautions qu'il y a lieu de prendre à cet égard (vérification et réétalonnage réguliers).

. nous avons constaté par ailleurs, deux autres causes d'erreurs :

- les bandes perforées qui servent de support aux données sont en papier. Elles sont relativement fragiles et peuvent être facilement endommagées. Il est alors nécessaire de corriger les bandes avant le traitement, ce qui est une opération longue et délicate.

- enfin, un mauvais fonctionnement d'un des éléments de la chaîne (notamment le voltmètre) est toujours possible ; si l'opérateur ne s'en rend pas compte, les résultats sont inutilisables et l'essai est perdu.

Ces deux points montrent l'intérêt d'une visualisation immédiate des mesures sur un tableau ou une courbe, qui permettent un contrôle en cours d'essai et qui donnent deux supports aux résultats.

#### IV-1-3 Résultats des premières utilisations

Nous avons réalisé avec les processus automati-

ques une trentaine d'essais triaxiaux de tous types et une vingtaine d'essais oedométriques comportant de quinze à trente cas de charge. Cette expérimentation est trop faible pour tirer des conclusions définitives. Cependant le fonctionnement pratique du système s'est toujours avéré satisfaisant et les résultats obtenus sont corrects. Il a cependant fallu enregistrer la perte de trois essais oedométriques par suite d'une panne du voltmètre non détectée.

## IV - 2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'AUTOMATISATION

### IV- 2-1 Gain de temps et baisse de prix de revient

Nous avons évalué (figure IV-1) le temps nécessaire à la mise en place et au traitement d'un essai triaxial C.U. classique où l'on cisaille trois échantillons. Le gain de temps est considérable.

Le prix de revient de l'essai est évidemment affecté, quoiqu'il faille tenir compte dans son établissement du coût de l'amortissement et de l'entretien du matériel de mesure. Un calcul grossier fait apparaître une baisse globale du prix de revient de l'essai triaxial de 20 à 30 %. Des calculs précis sont difficiles à réaliser car ils dépendent du temps d'utilisation des machines et des autres applications du calculateur.

Cependant les conséquences les plus importantes de la mise en place des processus automatiques sont la libération du personnel qui peut donc se consacrer à autre chose, et la réalisation d'un très grand nombre d'essais, notamment de longue durée. Cette augmentation des essais effectués en un temps donné autorise une diversification des activités du laboratoire et accroît son expérience.

### IV-2-2 Les problèmes posés par l'automatisation

Il est pratiquement nécessaire qu'une personne expérimentée soit responsable de la gestion du système : en effet un manipulateur peu habitué au système, peut, par une fausse manoeuvre non seulement compromettre son essai mais aussi tous ceux qui se dérouleront simultanément.

OPERATION	ESSAI AUTOMATISE		ESSAI NON AUTOMATISE	
	Nbr. d'opérateurs	Temps	Nbr. d'opérateurs	Temps
- Préparation de trois échantillons.....	2	2 x 1h15 mn	2	2 x 1h15 mn
- Installation des $\phi$ sur la presse et mise en route essai.....	1	1 x 10 mn 2 x 5 mn	1	3 x 5 mn
- Essai : prise de mesure	0	-	2	2 x 1h30 mn
- Traitement.....	1	5 mn		
- Tracé des courbes.....	1	5 mn	1	7 h
- Expression du résultat final.....	1	15 mn		
TOTAL.....		3h15 mn		12h45 mn

FIG. IV.1 TEMPS DE REALISATION ET DE TRAITEMENT D'UN ESSAI

TRIAxIAL C.U. AVEC ET SANS AUTOMATISATION

Vis à vis des expériences, l'automatisation peut présenter le risque de figer les essais. La mise en place d'une procédure automatique demande un travail assez long, tant pour la mise au point des programmes, que pour la préparation matérielle (choix des capteurs et leur adaptation, câblage, modification des appareils, adjonction de servomécanismes, etc...). Pour éviter cet inconvénient, il y a lieu de prévoir les structures les plus souples possibles, notamment par l'emploi de sous-programmes différents pour chaque fonction (il sera alors facile de les modifier sans remettre tout le programme en cause) et en étant prévoyant lors de la réalisation matérielle (par exemple des cables de liaison supplémentaires, des voies de mesure encore inutilisées, etc...).

Enfin le risque le plus important nous semble provoqué par l'automatisation intégrale de l'interprétation de l'essai. En effet, ceci, de même que l'acquisition automatique, à tendance à couper l'expérimentateur de la manipulation et à lui faire perdre de vue le phénomène : il est donc fondamental de garder un sens critique sur les résultats obtenus. Nous illustrerons ceci par la figure IV 2. Elle représente la courbe de consolidation en  $\sqrt{t}$  obtenue au cours d'un essai qui a vu la défaillance du voltmètre. Manifestement, cette courbe ne signifie rien et son traitement est impossible. On constate que malgré tous les contrôles automatiques réalisés, la machine a réussi à calculer une valeur de  $T_{90}$  et  $C_v$  qui évidemment ne veulent rien dire.

Ce fait montre l'importance de l'impression des données brutes au cours de l'essai et du tracé automatique systématique des courbes d'essais. Mais la vigilance des utilisateurs reste la meilleure défense face à ce problème.

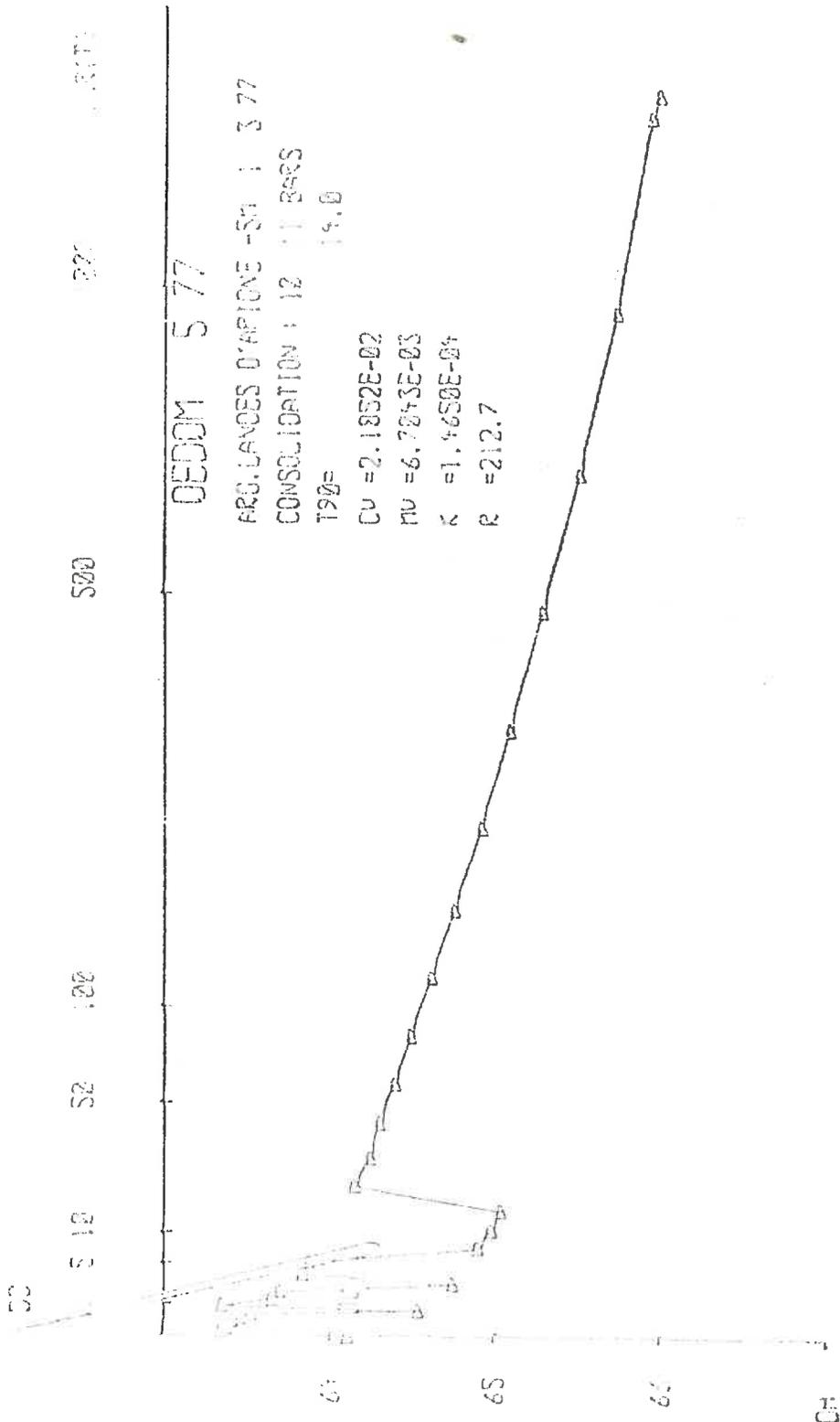


FIG. IV.2 (COURBE OBTENUE PAR TRACÉ AUTOMATIQUE)

#### IV - 3 LES EXTENSIONS POSSIBLES DU SYSTEME

Le système que nous avons mis en place est ouvert : il est possible de l'étendre très facilement à d'autres essais et même de l'utiliser dans des laboratoires voisins. A la fin de ce travail deux extensions sont déjà en cours :

- . l'adaptation d'un essai de cisaillement alterné piloté
- . le raccordement du laboratoire de thermique

Quelques améliorations au niveau du calculateur (extension de mémoire centrale, adjonction d'un système de disque) accroîtraient considérablement la puissance et la souplesse de l'ensemble en autorisant la multiprogrammation.

## CONCLUSION

## CONCLUSION

- § -

L'automatisation d'essais n'est pas une opération immédiate, elle nécessite un certain nombre d'aménagements matériels ainsi qu'une étude approfondie du mode opératoire et des méthodes de traitement.

Sur le plan matériel, outre les problèmes de câblage et de compatibilité d'instruments électroniques que nous avons dû résoudre, nous avons été amenés à concevoir puis à mettre au point un certain nombre d'appareils de mesure. Ainsi, nous proposons un montage simple et peu coûteux pour adapter les anneaux dynamométriques à la mesure électrique. D'autre part, nous avons réalisé un capteur de variation de volume de grande précision. Ces études nous ont conduit à définir et programmer une méthode générale de test que nous appliquons systématiquement pour la vérification de tous les appareils de mesure.

La mesure de consolidation exceptée, nous avons respecté d'assez près le mode opératoire des essais que nous avons étudiés. En effet, nous avons pour but l'automatisation des essais conventionnels. Cependant, nous avons dû faire certaines adaptations au calcul automatique, notamment pour le traitement de l'essai oedométrique :

- mise au point d'un processus itératif de traitement de la courbe de consolidation par la méthode de Taylor ;

- proposition d'une nouvelle construction pour exploiter la courbe de consolidation. Ce procédé empirique, dont les résultats concordent de façon très satisfaisante avec ceux des méthodes conventionnelles, offre l'avantage d'être très simple et facile à programmer.

Par ailleurs, l'emploi d'une centrale d'acquisition capable de piloter des machines, améliore sensiblement les conditions d'es-

sai. Nous avons pu constater, lors de nos expériences, qu'il se produisait beaucoup moins d'oublis et d'erreurs et que, globalement, les résultats étaient plus homogènes.

Enfin, notre étude des modes opératoires nous a montré qu'ils dépendaient en grande partie des possibilités de mesure de l'expérimentateur : lors de l'étude de la consolidation, la première mesure se fait à 6 ou 15 secondes car il n'est pas possible de faire plus vite ; de même, la charge est appliquée pendant 24 heures, ce qui correspond au rythme humain. Une chaîne d'acquisition peut avoir des rythmes très différents et s'adapter de façon plus souple aux phénomènes à étudier. Nous avons montré ce point dans l'étude de la consolidation : l'emploi d'une scrutation rapprochée (démarrant une seconde après le début) en association avec un bâti à fluide à mise en charge instantanée, permet d'exploiter les courbes de consolidation des matériaux limoneux alors que la mesure traditionnelle fournit des résultats inutilisables.

Il nous semble qu'il serait intéressant de pousser ce raisonnement plus loin : les possibilités de conduite et de contrôle qu'offre la centrale, permettent d'envisager des manipulations beaucoup plus sophistiquées. Les applications dans les domaines que nous avons étudié pourraient être les suivantes :

- l'étude de la résistance au cisaillement s'oriente maintenant vers une analyse globale du comportement du matériau. Les recherches actuelles essaient de traduire l'importance de la pression sphérique par rapport au déviateur et de prendre en compte les déformations. La théorie de l'école de Cambridge que nous avons évoquée ici, est déjà assez ancienne et s'avère insuffisante dans certains cas (essai C.D.), mais elle constitue une étape de représentation assez simple pour aborder ces problèmes. Bien que moins satisfaisant que les triaxiaux vrais, l'essai triaxial classique peut encore rendre des services dans ce domaine d'étude, à condition de contrôler parfaitement le chemin de contrainte appliqué : les essais à  $p$  constant sont à ce titre particulièrement intéressants. La réalisation de ce type d'essais qui nécessitent des asservissements, peut être abordée assez simplement avec le matériel que nous

avons utilisé ;

- en ce qui concerne l'essai oedométrique, le mode opératoire actuel, en imposant un chargement toutes les 24 heures, ne s'appuie pas sur la réalité du phénomène de consolidation. Le processus d'essai que nous avons proposé s'adapterait très facilement à une conduite entièrement automatisée (y compris les mises en charge), pourvu qu'un critère objectif de fin de consolidation soit défini. A ce titre, une recherche sur l'évolution réelle de la pression interstitielle dans l'échantillon durant la consolidation, serait particulièrement utile.

Nous voulons croire que cette étude ne restera pas lettre morte et aidera l'implantation de matériels d'acquisition dans les laboratoires d'essais. En tout état de cause, elle nous a permis d'installer à l'I.N.S.A. un système de mesure et de traitement multitâche qui est à la disposition des chercheurs et des étudiants.

## B I B L I O G R A P H I E

- 5 -

- AFNOR 1975 *Vocabulaire international de l'informatique - Recueil de normes - Paris.*
- ANQUETIL J. 1972 *Présentation de la théorie de l'école de Cambridge sur les déformations des argiles soumises aux contraintes triaxiales - Ann. IBTP - 295-290 - Juillet Août 1972 - p. 143.*
- BISHOP A.W. 1954 *The use of pore pressure coefficient in practice - Géotechnique - Vol. 4 - p. 148.*
- BISHOP A.W. 1957 *The measurement of soil properties in the triaxial test - Edward Arnold & Co. London.*
- HENKEL D.J.
- J. COSTET 1969 *Cours pratique de Mécanique des Sols - Ed. Dunod.*
- G. SANGLERAT
- DEVEAUX D. 1975 *La mesure électrique des variations de volume dans l'essai triaxial - Rapport interne. Lab. M.D.S. - INSA Rennes.*
- DEVEAUX D. 1977 *Méthode d'interprétation de la courbe de compressibilité - Rapport interne. Lab. M.D.S. - INSA Rennes.*
- VUEZ A.
- DUCASSE P. 1976 *Automatisation des essais de Mécanique des Sols au laboratoire de Toulouse - Bull. Liaisons .L.P.C. n° 82 - mars avril 1976 - p. 102-112.*
- MIEUSSENS C.
- MOUTON M.
- DARCEY P. 1973 *Discussion on apparatus for measuring volume change suitable for automatic logging - Géotechnique - Vol. 23. n° 1 p. 140-141.*
- GAUDU R.D. 1970 *Ensaio triaxiais : programma de computação electrónica. Publ. n° 470 - Un Fed. do Rio de Janeiro.*
- MAHE A.M.
- IRWIN M.J. 1972 *Discussion on use of servo-mechanisms for volume change measurement and Ko consolidation - Géotechnique - Vol. 22 n° 1 - p. 186-187.*
- KLEMENTEV 1974 *Lever-type apparatus for electrically measuring volume change - Géotechnique - Vol. 24 - n° 4 - p. 670-671.*
- L.C.P.C. 1970 *Mode opératoire : Essai de compressibilité à l'oedomètre - Dunod Paris.*
- L.C.P.C. 1970 *Mode opératoire : Essai triaxial - Dunod Paris.*

- LEBRUN P. 1975 *Système d'acquisition de données pour quatre presses triaxiales* - Bull. Liaisons L.P.C. n° 76 - mars avril 1975 - p. 27-29.
- LEONARDS G.A. 1968 *Les fondations* - Ed. Dunod.
- LEONARDS G.A. 1959 *Time effect in the consolidation of clay : Symposium on time rates of loading in testing soils* - A.S.T.M. Special Techn. Publ. 254. p. 116.
- RIMIAH B.K.
- LEWIN P.I. 1971 *Use of servo-mechanisms for volume change measurement and  $K_0$  consolidation* - Geotechnique - Vol. 21 - n° 3 - p. 259-262.
- LINNIK Y.V. 1963 *Méthode des moindres carrés* - Ed. Dunod.
- L.P.C. 1971 *Recommandations des L.P.C. : Etude des remblais sur sols compressibles* - Dunod - Paris.
- L.P.C. 1973 *Remblais sur sols compressibles* - Bull. Liaisons L.P.C. Spécial T. mai 1973.
- MARTIN P. 1976 *Essai sur la géotechnique* - Ed. Masson.
- MARUCIC J. 1974 *Burette à flotteur : nouvel instrument de mesure électrique de l'eau drainée des éprouvettes de sol* - Bull. Liaisons L.P.C. n° 73 - Sept-Oct. - p. 62-64.
- PHILIPONAT G. 1977 *Mesure de la compressibilité des sols par un essai oedométrique accéléré* - Ann. I.T.B.T.P. - n° 347 - Fév. 1977 p. 117.
- RABECHAUT 1976 *Problèmes soulevés lors de l'étude de projets de systèmes d'acquisition de données* - Bull. Liaisons L.P.C. - n° 85 - Sept.-Oct. 1976 - p. 120-127.
- ROSCOE 1970 *The influence of strains in soil mechanics* - Géotechnique Vol. XX - n° 2 - p. 129-170.
- ROSCOE K.M. 1958 *On the yielding of soils* - Géotechnique - Vol. VIII - n° 1 p. 22-53.
- SCHOFIELD A.N.  
WROTH C.P.
- ROWLANDS C.O. 1972 *Apparatus for measuring volume change suitable for automatic logging.* - Géotechnique - Vol. 22 - n° 3 - p. 525-526.
- SAVOYSKY S. 1976 *Introduction à l'emploi de l'informatique pour l'acquisition de données* - Bull. Liaisons L.P.C. n° 85 - Sept.-Oct. 1976 - p. 113-119.
- SCHMERTMANN J.M. 1955 *The undisturbed consolidation of clay* - Trans. Am. Soc. of Civil Eng. - Vol. 120 - p. 1201.
- SOUBIES CAMY M. 1975 *Acquisition et traitement de données* - L'informatique industrielle - Ed. Radio - Paris.

- SKEMPTON A.W. 1954 *The pore pressure coefficient A and B - Géotechnique*  
Vol. 4 - p. 143.
- SUKLJE *Rheological aspects of soils mechanics - Wiley - London.*
- TERZAGHI K. 1948 *Soil mechanics in Engineering Practice - John Wiley &*  
PECK R.B. *sons - Inc, New York (Ed. française - Dunod - 1957).*
- YONG R.N. 1975 *Soil properties and behaviours - Developments in Geo-*  
WARKENTIN B.P. *technical Engineering 5 - Elsevier - Amsterdam.*
- VAUTRAIN J. 1976 *Programme d'interprétation de l'essai oedométrique sur*  
SCHUTT J. *Iris 80 - Bull. Liaisons L.P.C. - n° 81 - Janv.-Fév.*  
1976 - p. 15-20.

# ANNEXE 1

## PROGRAMME OEDOM. ES.

Description du programme.....	1-1
Organigramme.....	1-3
Listing.....	1-9
Exemples de sorties.....	1-13

DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : EODOM.ES.

Type : Principal de niveau 1

Taille mémoire utilisée :

Fonctions réalisées :

. Ce programme réalise l'acquisition automatique sur trois bâtis oédométriques. Chaque bâti peut être commandé individuellement au moyen de deux clés ("ESSAI" et "CHARGE"). Ces clés sont reliées aux entrées analogiques 2 à 7.

. La scrutation se fait à des intervalles qui évoluent en progression géométrique de raison  $\sqrt{2}$ . La première mesure a lieu une seconde après le début de la consolidation. Chaque scrutation comprend la mesure du temps et des déformations des deux capteurs de déplacement du bâti. La déformation moyenne depuis le début de l'essai est calculée et imprimée avec le temps sur ruban perforé.

. Le changement de charge est manuel et commandé par l'opérateur. Le programme calcule la charge à appliquer en fonction de la contrainte désirée. La séquence de scrutation est lancée par la fermeture de l'interrupteur "CHARGE".

. Une procédure de redémarrage automatique permet de reprendre une séquence de mesures interrompue par une coupure accidentelle de courant.

. Les tests des clés 0 et 1 sont compris dans la boucle d'attente et donnent le contrôle à des programmes de niveau 2 commençant aux lignes 30000 et 50000 (ces programmes doivent être chargés en même temps que OEDOM.ES.)

Données à introduire :

- Au démarrage : date (J, M, A) et heure (H, M1)
- Au début de chaque essai : numéro de l'essai (08), nom du sol (Z0) diamètre et hauteur de l'échantillon (X7 et A(2,I)) pression des terres in situ (P0)
- A chaque nouvelle consolidation : nouvelle pression désirée (A(0,I))
- Au redémarrage après coupure de courant : date et heure

Toutes les demandes d'introduction de données sont formulées en clair sur le terminal (voir page 13).

Résultats fournis :

- Identification de la bande
- Caractéristiques de l'essai : numéro du bâti, aire et hauteur de l'échantillon, pression des terres in situ
- Mesures des déformations (en centièmes de millimètres) en face du temps (en secondes) écoulé depuis le début de la consolidation

Le passage à une nouvelle consolidation est caractérisé par le retour à zéro du temps ; la valeur inscrite en face du temps zéro est la nouvelle contrainte appliquée (en bars).

Les résultats des trois bâtis sont mélangés sur la même bande. Chaque ligne commence par le numéro d'identification du bâti. Un indice 4 annonce un code d'identification ; le chiffre suivant est le numéro du bâti.

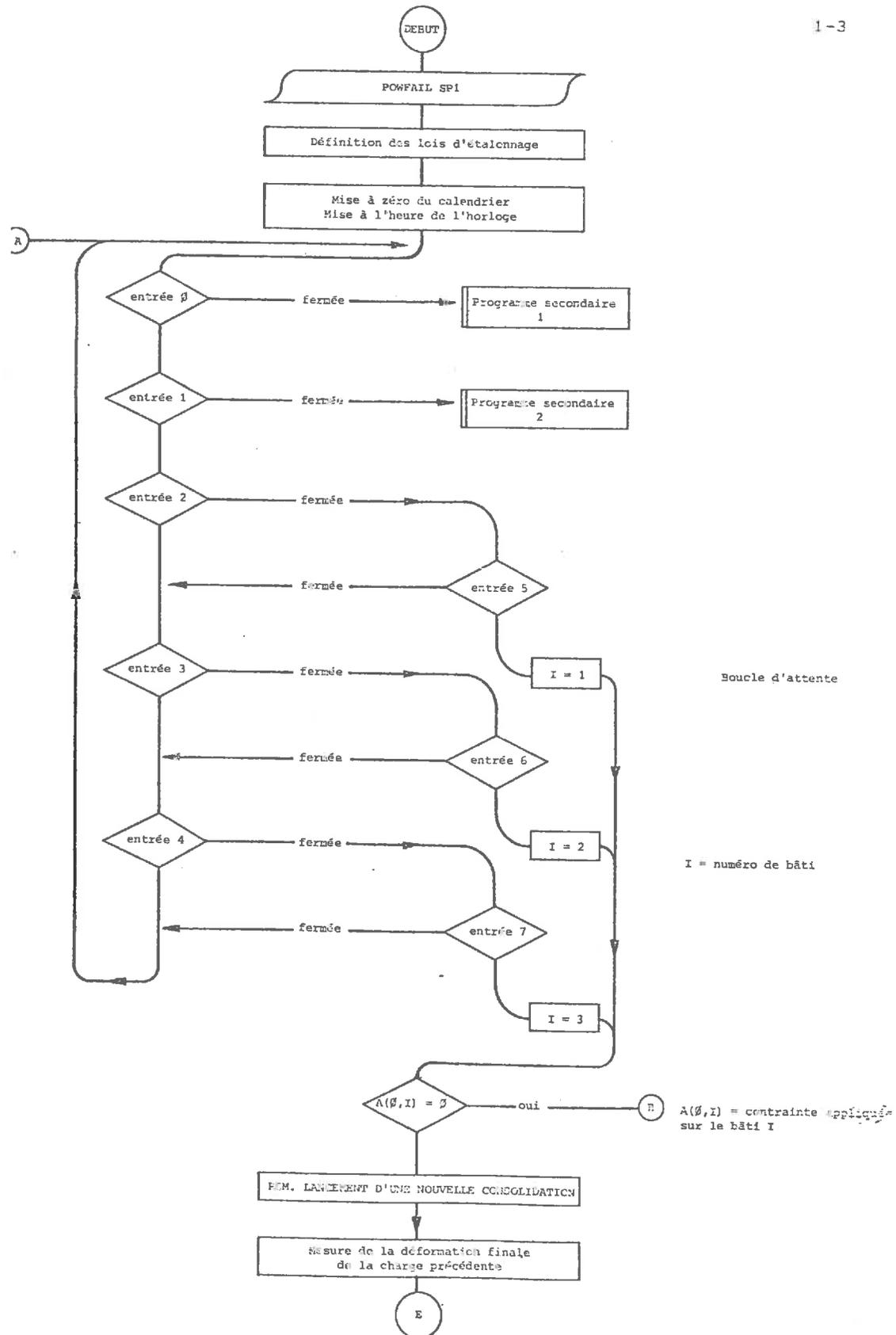
Fonctionnement pratique :

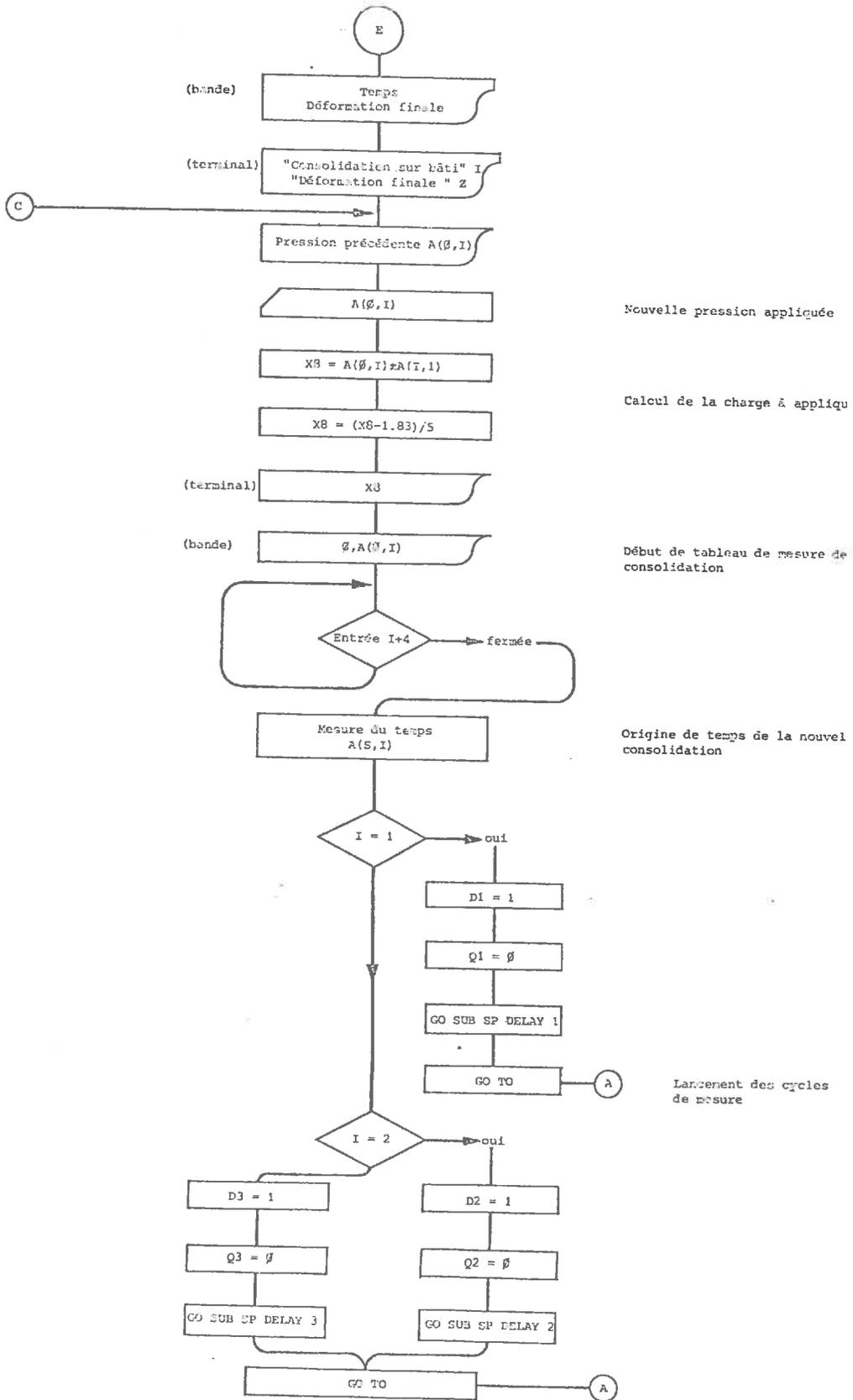
. Le lancement du programme provoque la demande de mise à jour du calendrier et de l'horloge.

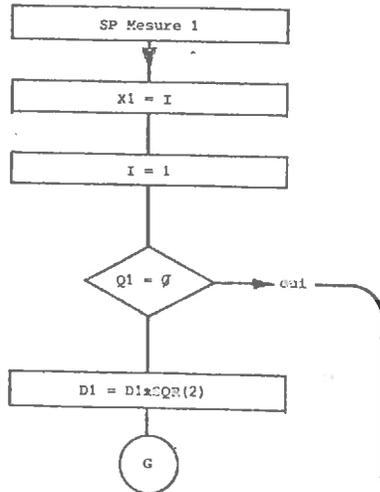
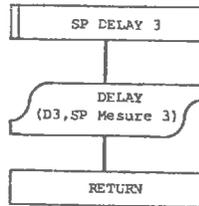
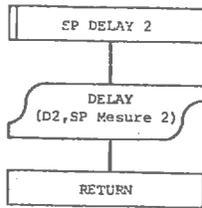
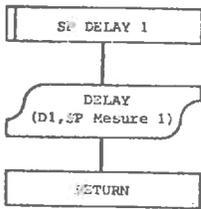
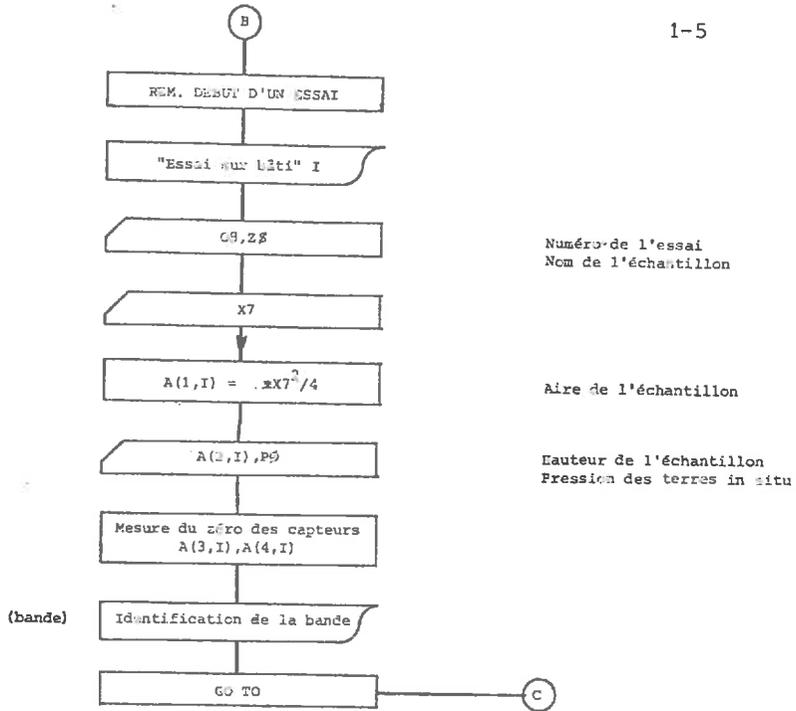
. La conversation de début d'essai est lancée par la manipulation de la clé "ESSAI" du bâti correspondant. Elle se termine par le lancement de la première consolidation : demande de la pression à appliquer. Le calculateur fournit alors la charge à mettre sur le plateau. Le démarrage de la scrutation est obtenu en abaissant la clé "CHARGE".

. Lorsque le temps de consolidation est écoulé, le message de fin de consolidation est imprimé. L'ouverture de la clé "CHARGE" provoque alors la conversation de nouvelle consolidation.

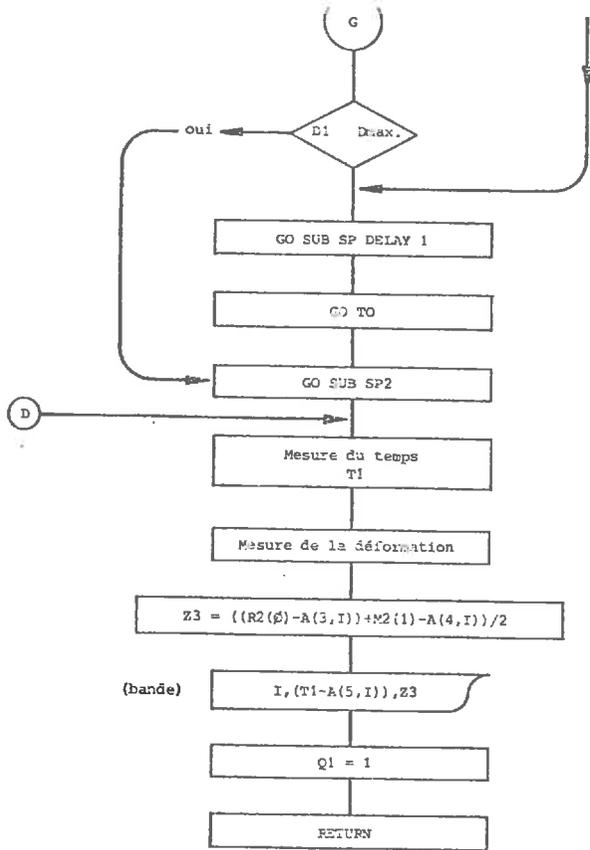
Toutes les conversations se font sur le terminal. La bande de données mélangées est éditée sur perforateur rapide.







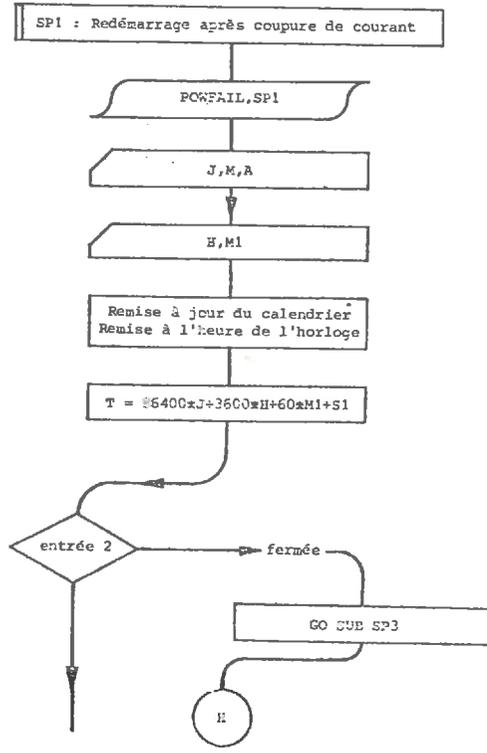
SP Mesure 2 et 3 sont identiques



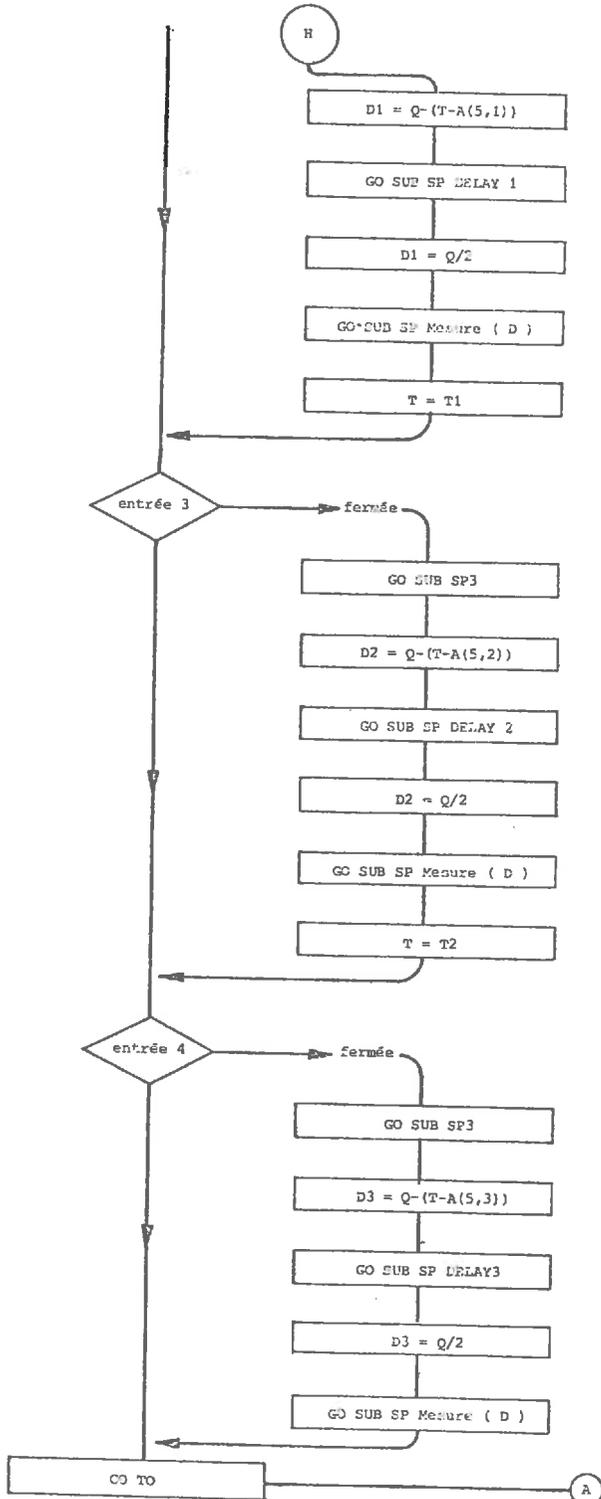
Dmax. est défini par l'opérateur au début de l'essai. Il n'y a pas d'initialisation de DELAY à la dernière mesure.

Impression d'un message de fin de consolidation sur le terminal

Calcul de la déformation moyenne

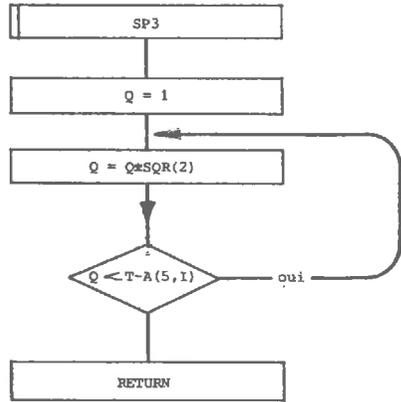


Date et heure



Reprise de la séquence de scrutation sur les bitis où se déroule un essai.

SP2 : Impression du message de fin de consolidation



```

4 REM- PROGRAM "OEDOM ES"
5 POWFAIL(2,LINE,1200)
6 PRINT FMT("I",3)
7 SETDIM#0:(0,2)
10 DIM_A(5,3),M1(1),M2(1),M3(1),M4(1),M5(1)
11 O9=2
12 CHNLDEF#0:(0,10,1,0)
13 CHNLDEF#0:(1,11,2,0)
14 CHNLDEF#0:(2,12,3,0)
15 CHNLDEF#0:(3,13,4,0)
16 CHNLDEF#0:(4,14,5,0)
17 CHNLDEF#0:(5,15,6,0)
20 PRINT NLN(3);TAB(20),"ESSAI OEDOMETRIQUE",NLN(2)
21 PRINT "DATE : J,M,A ? ";\INPUT J,M,A
23 PRINT "HEURE : H,MN ? ";\INPUT H,M1
24 S1=C\5DATE(J,M,A)\STIME(H,M1,S1)
50 DIM_B(4,3)
52 O7=0
99 REM- BOUCLE D'ATTENTE
100 DIGIN#0:(0,S)\IF S=0GO TO 110
105 GO TO 3000
110 DIGIN#0:(1,S)\IF S=0GO TO 120
115 GO TO 5000
120 DIGIN#0:(2,S)\IF S=0GO TO 139
130 DIGIN#0:(5,S)\IF S=1GO TO 140
135 I=1\GO TO 200
139 A(0,1)=0
140 DIGIN#0:(3,S)\IF S=0GO TO 159
150 DIGIN#0:(6,S)\IF S=1GO TO 160
155 I=2\GO TO 200
159 A(0,2)=0
160 DIGIN#0:(4,S)\IF S=0GO TO 179
170 DIGIN#0:(7,S)\IF S=1GO TO 180
175 I=3\GO TO 200
179 A(0,3)=0
180 GO TO 100
200 IF A(0,1)=0GO TO 500
205 REM- LANCEMENT D'UNE NOUVELLE CONSOLIDATION
218 IF N9=1GO TO 218 \N9=1
219 RDATE(J,M,A)\RTIME(H,M1,S1)\T=86400*J+3600*H+60*M1+S1
220 LOGSCAN#0:(M1(0),M5(0),(-2+2*I),(-1+2*I),LINE 240)
225 Q=0
230 IF Q=0GO TO 230 \GO TO 270
240 Z=((M1(0)-A(3,I))+(M1(1)-A(4,I)))/2
241 N9=0
250 PRINT #09:FMT("I",3)I,FMT("I",7)(T-A(5,I)),FMT("F",8,3)Z
255 Q=1\RETURN
270 PRINT NLN(2),"CONSOLIDATION SUR BATI N.",FMT("I",3)I,NLN(2)
275 PRINT "DEFORMATION FINALE POUR";FMT("A")A(0,I);"BARS : "
276 PRINT FMT("F",8,3)Z,NLN(2)
280 PRINT "PRESSION PRECEDENTE :",FMT("F",6,2)A(0,I)
290 X9=A(0,I)
300 PRINT "PRESSION ACTUELLE ? "
310 INPUT A(0,I)
320 X8=A(0,I)*A(1,I)\X8=(X8-1.83)/5
325 PRINT "CHARGE A APPLIQUER :",FMT("F",6,1)X8,"KG"
330 PRINT NLN(2)\X8=0
350 PRINT #09:FMT("I",3)I,FMT("I",7)X8,FMT("F",8,3)A(0,I)
360 DIGIN#0:(1+4,S)\IF S=0GO TO 360
370 RDATE(J,M,A)\RTIME(H,M1,S1)\A(5,I)=86400*J+3600*H+60*M1+S1
390 IF I<>1 THEN 430
400 DJ=1
401 O1=0
410 GOSUB 700
420 GO TO 100
430 IF I<>2 THEN 470

```

```

440 D2=1
441 Q2=0
450 GOSUB 720
460 GO TO 100
470 D3=1
471 Q3=0
480 GOSUB 740
490 GO TO 100
499 REM- DEBUT D'UN ESSAI...
500 PRINT NLN(3); "ESSAI SUR BATI N.", FMT("I", 3)I, NLN(2)
515 PRINT "NUMERO DE L'ESSAI ? ",
516 INPUT O8
520 PRINT "TYPE DE SOL ? ",
530 INPUT Z$
535 PRINT NLN(1)
540 PRINT "DIAMETRE DE LA BOITE (CM) ? ",
550 INPUT X7
560 A(1,1)=3.14159*X7*X7/4
570 PRINT "HAUTEUR DE L'ECHANTILLON (CM) ? ",
580 INPUT A(2,1)
585 PRINT "PRESSION IN SITU (BARS) ? ",
587 INPUT P0
590 PRINT "MESURE DU ZERO DES CAPTEURS ",
600 INPUT A$
618 IF N9=1 GO TO 618 \N9=1
619 A=0
620 LOGSCAN #0: (M1(0), M5(0), (-2+2*I), (-1+2*I), LINE 630 )
625 IF Q=0 GO TO 625 \GO TO 650
630 Q=1\A(3,1)=M1(0)\A(4,1)=M1(1)
631 N9=0
635 PRINT FMT("F", 9, 2)A(3,1), A(4,1)
640 RETURN
650 Z1=4\Z2=0
654 PRINT NLN(2)
656 PRINT #09: FMT("I", 3)Z1, FMT("I", 7)I, FMT("F", 8, 3)Z2
657 PRINT #09: "MDS QEDOM" FMT("I", 4)O8; FMT("I", 3)A; " BS"
658 PRINT #09: Z$; FMT("I", 3)J, M, A
660 PRINT #09: FMT("I", 3)I, FMT("F", 8, 3)A(1,1), A(2,1), P0
670 GO TO 270
700 DELAY(D1, LINE 800 )
710 RETURN
720 DELAY(D2, LINE 900 )
730 RETURN
740 DELAY(D3, LINE 1000 )
750 RETURN
799 REM- SP. MESURE SUR BATI 1
800 X1=I\I=1
815 IF Q1=0 GO TO 840
820 D1=D1+5QR(2)
830 IF D1>=16384 GO TO 843
840 GOSUB 700
841 GO TO 845
843 GOSUB 1100
845 Q1=0
846 IF N9=1 GO TO 846 \N9=1
847 RDATE(J, M, A)\RTIME(H, M1, S1)\T1=86400*J+3600*H+60*M1+S1
850 LOGSCAN #0: (M2(0), M5(0), 0, 1, LINE 860 )
855 IF Q1=0 GO TO 855 \I=X1\RETURN
860 Z3=((M2(0)-A(3,1))+ (M2(1)-A(4,1)))/2
861 N9=0
870 PRINT #09: FMT("I", 3)I, FMT("I", 7)(T1-A(5,1)), FMT("F", 8, 3)Z3
880 Q1=1
890 RETURN
899 REM- SP. MESURE SUR BATI 2
900 X2=I\I=2
915 IF Q2=0 GO TO 940

```

```

920 D2=D2*SQR(2)
930 IF D2>=16384G0 TO 943
940 GOSUB 720
941 GO TO 945
943 GOSUB 1100
945 Q2=0
946 IF N9=1G0 TO 946 \N9=1
947 RDATE(J,M,A)\RTIME(H,M1,S1)\T2=86400*J+3600*H+60*M1+S1
950 LOGSCAN#0:(M3(0),M5(0),2,3,LINE 960)
955 IF Q2=0G0 TO 955 \I=X2\RETURN
960 Z4=((M3(0)-A(3,I))+(M3(1)-A(4,I)))/2
961 N9=0
970 PRINT #09: FMT("I",3)I, FMT("I",7)(T2-A(5,I)), FMT("F",8,3)Z4
980 Q2=1
990 RETURN
999 REM- SP MESURE SUR BATI 3
1000 X3=I\I=3
1015 IF Q3=0G0 TO 1040
1020 D3=D3*SQR(2)
1030 IF D3>=16384G0 TO 1043
1040 GOSUB 740
1041 GO TO 1045
1043 GOSUB 1100
1045 Q3=0
1046 IF N9=1G0 TO 1046 \N9=1
1047 RDATE(J,M,A)\RTIME(H,M1,S1)\T3=86400*J+3600*H+60*M1+S1
1050 LOGSCAN#0:(M4(0),M5(0),4,5,LINE 1060)
1055 IF Q3=0G0 TO 1055 \I=X3\RETURN
1060 Z5=((M4(0)-A(3,I))+(M4(1)-A(4,I)))/2
1061 N9=0
1070 PRINT #09: FMT("I",3)I, FMT("I",7)(T3-A(5,I)), FMT("F",8,3)Z5
1080 Q3=1
1090 RETURN
1100 PRINT "NOUVELLE CONSOLIDATION POSSIBLE SUR BATI", FMT("I",3)I
1110 RETURN
1199 REM- SP DE REDEMARRAGE APRES COUPURE DE CCURANT
1200 POWFAIL(2,LINE 1200)
1210 PRINT NLN(2); "DATE : J,M,A ?", TAB(20),
1230 INPUT J,M,A
1240 PRINT "HEURE : H,MN ?", TAB(20),
1250 INPUT H,M1
1260 S1=0\SEATE(J,M,A)\STIME(H,M1,S1)
1270 T=86400*J+3600*H+60*M1+S1
1274 DIGIN#0:(2,S)\IF S=0G0 TO 1299
1275 I=1
1280 GOSUB 1400
1285 D1=Q-(T-A(5,1))
1290 GOSUB 700
1295 D1=Q/2
1296 GOSUB 845
1297 T=T1
1299 DIGIN#0:(3,S)\IF S=0G0 TO 1324
1300 I=2
1305 GOSUB 1400
1310 D2=Q-(T-A(5,2))
1315 GOSUB 720
1320 D2=Q/2
1322 GOSUB 945
1323 T=T2
1324 DIGIN#0:(4,S)\IF S=0G0 TO 1350
1325 I=3
1330 GOSUB 1400
1335 D3=Q-(T-A(5,3))
1340 GOSUB 740
1345 D3=Q/2
1346 GOSUB 1045

```

1-12

```
1380 GO TO 100
1400 Q=1
1410 Q=Q+2\IF Q<(T-A(5,I))GO TO 1410
1420 RETURN
```

ESSAI OEDOMETRIQUE

DATE : J, M, A ? 19, 4, 77  
 HEURE : H, MN ? 12, 47

ESSAI SUR BATI N. 2

NUMERO DE L'ESSAI ? 8  
 TYPE DE SOL ? LIMON DE SUPELEC BT

DIAMETRE DE LA BOITE (CM) ? 7  
 HAUTEUR DE L'ECHANTILLON (CM) ? 1-2  
 PRESSION IN SITU (BARS) ? 1-5  
 MESURE DU ZEP0 DES CAPTEURS OK  
 21.17 -97.58

CONSOLIDATION SUP BATI N. 2

PRESSI0N PRECEDENTE : 0.00  
 PRESSION ACTUELLE ? 0.10  
 CHARGE A APPLIQUER : 0.4KG

NOUVELLE CONSOLIDATION POSSIBLE SUP BATI 3  
 NOUVELLE CONSOLIDATION POSSIBLE SUR BATI 2

C  
 CONSOLIDATION SUR BATI N. 2

DEFORMATION FINALE POUR 8 BARS : 249.271

PRESSI0N PRECEDENTE : 9.00  
 PRESSION ACTUELLE ? 10  
 CHARGE A APPLIQUER : 76.0KG

CONSOLIDATION SUP BATI N. 3

DEFORMATION FINALE POUR 4 BARS : 279.794

PRESSI0N PRECEDENTE : 4.00  
 PRESSION ACTUELLE ? 9.00  
 CHARGE A APPLIQUER : 61.2KG

NOUVELLE CONSOLIDATION POSSIBLE SUP BATI 2  
 NOUVELLE CONSOLIDATION POSSIBLE SUP BATI 3



## ANNEXE 2

### PROGRAMME OEDOM. TRI.

Description du programme.....	2-1
Organigramme.....	2-2
Listing.....	2-5
Exemple de sortie.....	2-6

## DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : OEDOM.TRI.

Type : Hors système

Taille mémoire utilisée : 5230 mots

Fonctions réalisées :

. Ce programme fait le tri de la bande de données issue de OEDOM.ES. A partir de celle-ci, il édite trois bandes, une pour chaque essai.

. Les données relatives à l'essai sur le bâti 1 sont perforées par la télétype ; celles du bâti 2 sortent sur le lecteur rapide ; celles du bâti 3 sont stockées sur un tableau. Toutes ces données sont manipulées sous forme de chaînes de caractères (variables string).

. Le code d'identification est remanié (BS → DT) et deux paramètres sont ajoutés aux caractéristiques de l'essai : le poids sec de l'échantillon et sa teneur en eau après l'essai.

Données à introduire :

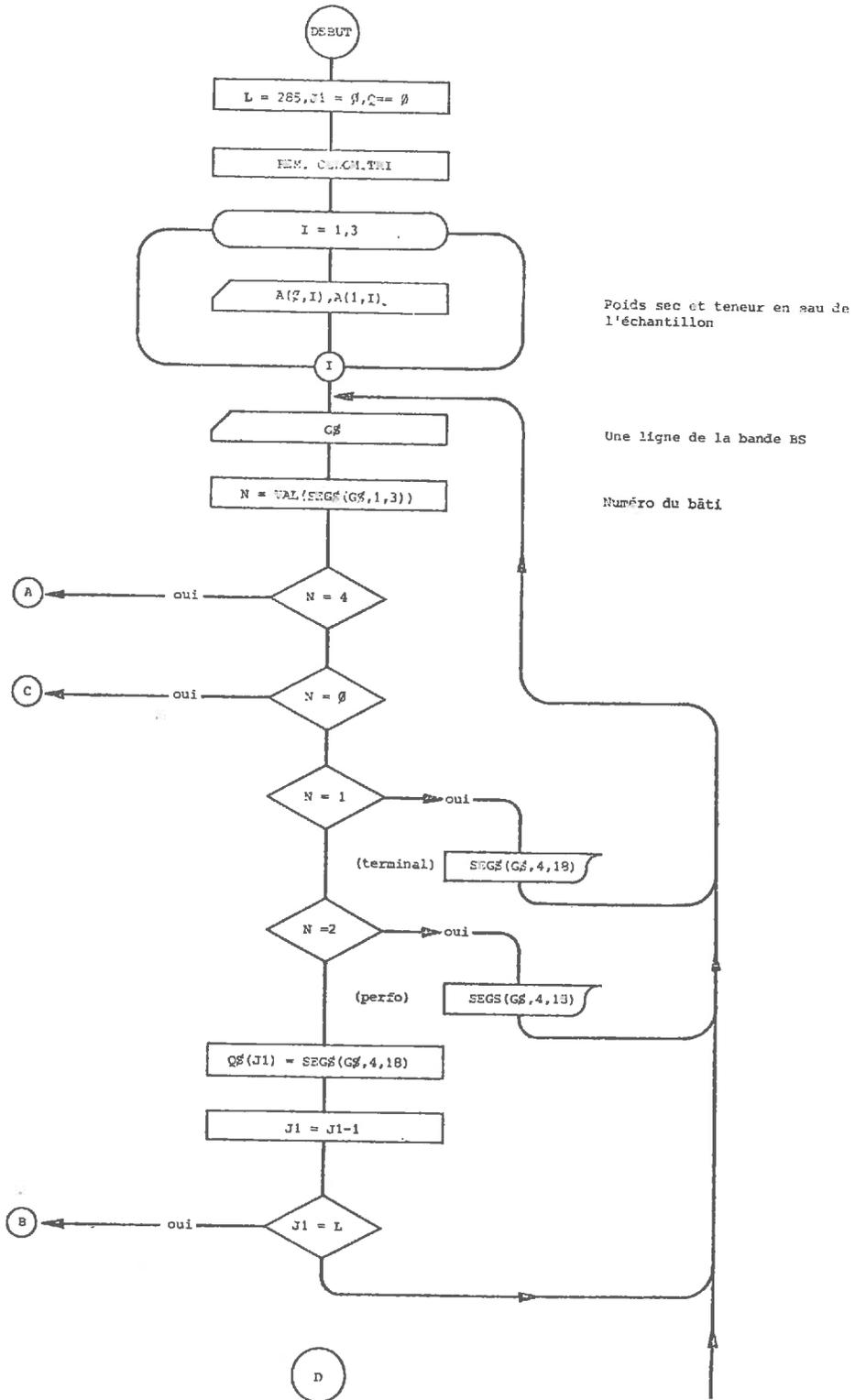
- Poids sec de chaque échantillon (A(Ø,I))
- Teneur en eau de chaque échantillon (A(1,I))
- La bande perforée issue de OEDOM.ES.

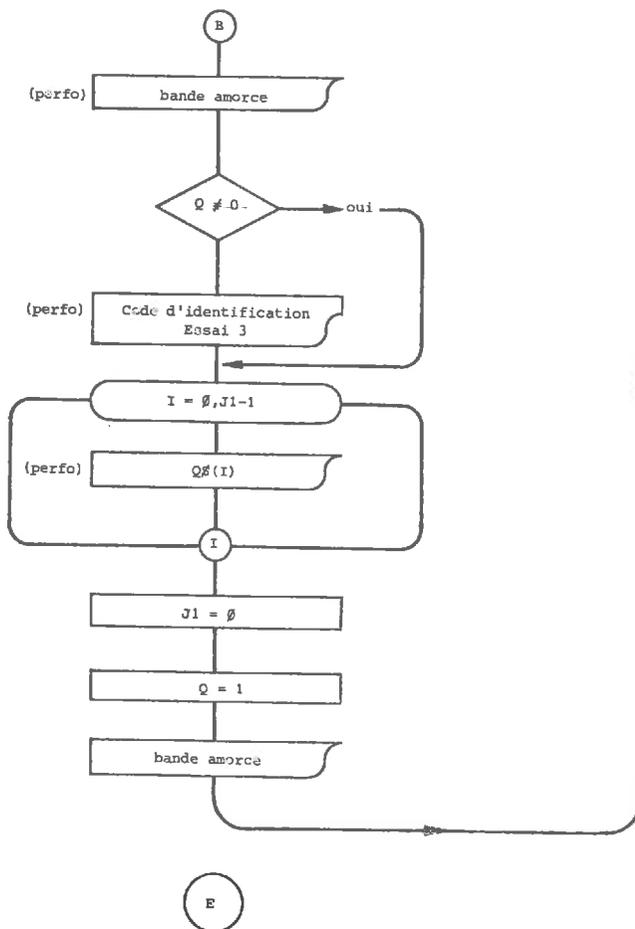
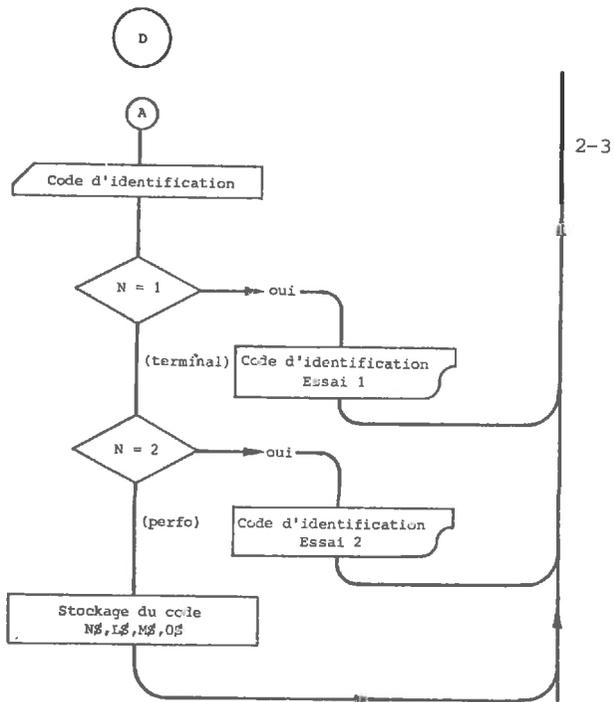
Résultats fournis :

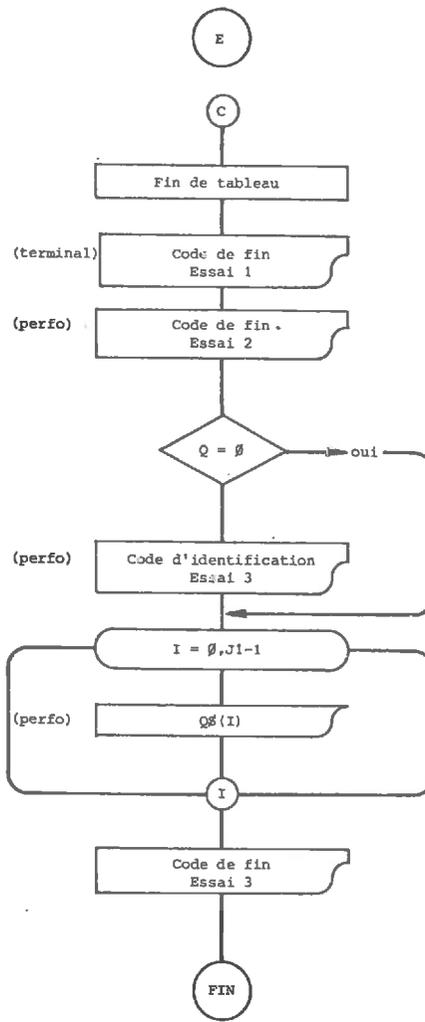
- Une bande de données par essai (voir exemple page 6). Quand le tableau ØØ(J) est plein, la lecture de la bande source est interrompue, le tableau se vide sur le perforateur rapide après l'édition d'un blanc. La bande issue du perforateur est constituée d'une série de blocs (5 ou 6) contenant alternativement des données des bâtis 2 et 3. Un simple découpage suffit pour reconstituer des bandes homogènes.

Fonctionnement pratique :

Voir exemple de sorties page 6.







```

5 REM PROGRAM "OEDOM TRI"
10 DIM QS(285), A(1,3)
11 PRINT FMT("I", 3)
12 L=285\J1=0\Q=0
15 PRINT TAB(20), "TRI ESSAI OEDOMETRIQUE", NLN(2)
17 FOR I=1 TO 3
19 PRINT "ESSAI SUR BATI", FMT("I", 2)I, NLN(1); "POIDS SEC ECH.?",
20 INPUT A(0, I)\PRINT "TENEUR EN EAU ?"\INPUT A(1, I)
22 NEXT I
23 PRINT "METTRE PERFO EN ROUTE"\INPUT AS\PRINT #0:RPT(75, 0)
24 INPUT #1:GS\N=VAL(SEGS(GS, 1, 3))
26 IF N<=40 TO 50 \IF N=0GO TO 150
28 IF N<>1GO TO 30 \PRINT #0:SEGS(GS, 4, 18)\GO TO 34
30 IF N<>2GO TO 32 \PRINT #2:SEGS(GS, 4, 18)\GO TO 34
32 QS(J1)=SEGS(GS, 4, 18)\J1=J1+1\IF J1=LGO TO 100
34 GO TO 24
40 REM IMPRESSION DU BATI 1 SUR TTY
41 REM IMPRESSION DU BATI 2 SUR PERFO
42 REM STOCKAGE DU BATI 3 EN MEMOIRE
49 REM TRI DES CODES D'IDENTIFICATION
50 INPUT #1:HS\HS=(SEGS(HS, 1, 17))&"DT"
52 INPUT #1:IS
54 INPUT #1:JS\N=VAL(SEGS(JS, 1, 3))
55 KS=SEGS(JS, 20, 28)\JS=SEGS(JS, 1, 19)
56 IF N<>1GO TO 60
58 PRINT #0:HS;NLN(1); IS;NLN(1); JS; FMT("F", 8, 3)A(0, 1), A(1, 1); KS\GO TO 66
60 IF N<>2GO TO 64
62 PRINT #2:HS;NLN(1); IS;NLN(1); JS; FMT("F", 8, 3)A(0, 2), A(1, 2); KS\GO TO 66
64 NS=HS\LS=IS\MS=JS\OS=KS
66 GO TO 24
99 REM TABLEAU PLEIN ; SORTIE DU TABLEAU SUR PERFO
100 PRINT #2:RPT(100, 0),
102 IF Q<>0GO TO 106
104 PRINT #2:NS;NLN(1); LS;NLN(1); MS; FMT("F", 8, 3)A(0, 3), A(1, 3); OS
106 FOR I=0 TO J1-1
108 PRINT #2:QS(I)
110 NEXT I
112 J1=0\Q=1\PRINT #2:RPT(100, 0),
114 GO TO 24
149 REM SORTIE DE FIN DE TABLEAUX
150 PRINT #0:FMT("I", 7)N, FMT("F", 8, 3)N, NLN(1), RPT(100, 0),
152 PRINT #2:FMT("I", 7)N, FMT("F", 8, 3)N, NLN(1), RPT(100, 0),
153 IF Q<>0GO TO 155
154 PRINT #2:KS, NLN(1); LS, NLN(1); MS; FMT("F", 8, 3)A(0, 3), A(1, 3)
155 FOR I=0 TO J1-1
156 PRINT #2:QS(I)
158 NEXT I
160 PRINT #2:FMT("I", 7)N, FMT("F", 8, 3)N, NLN(1), RPT(100, 0),
162 STOP
164 END

```

TRI ESSAI OEDOMETRIQUE

-6 ESSAI SUP BATI 1  
 POIDS SEC ECH.?0  
 TENUEP EN EAU ?0  
 ESSAI SUP BATI 2  
 POIDS SEC ECH.?0  
 TENUEP EN EAU ?0  
 ESSAI SUP BATI 3  
 POIDS SEC ECH.?0  
 TENUEP EN EAU ?0  
 METTPE PEPFO EN POUTE  
 OK



MDS OEDOM 5 77 DT		ARG.LANDES D'APIGNE -SM 1 3 77	
2	38.484	1.200	74.010 27.210 1.019
0	0.125		
1	-0.288		
2	-0.289		
3	-0.323		
5	-0.355		
8	-0.400		
12	-0.425		
18	-0.470		
26	-0.532		..... 29.205
37	-0.590		24550 28.299
53	-0.651		33026 30.590
76	0.441		56950 27.801
108	-2.223		88412 28.949
153	-2.338		0 0.125
218	-2.457		1 28.817
310	-2.691		2 28.806
440	-3.484		3 28.794
624	-3.053		5 28.786
884	-3.224		8 28.767
1252	-3.410		12 28.749
1772	-3.552		18 28.726
2508	-3.680		26 28.704
3549	.....		37 28.681
.....	-6.263		53 28.636
85959	-6.461		76 28.597
0	0.250		108 28.543
1	-6.263		153 28.478
2	-6.255		218 28.406
3	-6.251		310 28.123
5	-6.256		440 28.037
8	-6.231		624 27.930
12	-6.253		884 28.490
18	.....		1252 27.768
.....	16.649		1772 26.249
0	1.000		2508 27.495
1	16.607		3549 27.071
2	16.608		5021 26.786
3	16.607		7103 25.374
5	16.609		10048 26.361
8	.....		14273 24.522
			86400 21.371
			86400 21.371
			0 0.000

## ANNEXE 3

### PROGRAMME OEDOM. TR.CN.

Description du programme.....	3-1
Organigramme.....	3-2
Listing.....	3-7
Exemples de sorties.....	3-12

## DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : OEDOM.TR.CN.

Type : Secondaire de niveau 2. Adresse de départ 30000. Clé de commande : Ø

Taille mémoire utilisée :

Fonctions réalisées :

. Ce programme établit le tableau de résultats finaux pour chaque consolidation : calcul de  $t$  en minutes,  $\sqrt{t}$ ,  $\log(t)$  et déformation en centièmes de millimètres.

. Si le nombre de mesures est supérieur à 15, un traitement automatique de la courbe en  $\sqrt{t}$  est effectué. Ce traitement aboutit à l'expression de  $t_{90}$ ,  $C_v$ ,  $M_v$ ,  $k$  et  $R$ .

. Les courbes d'essai sont tracées ( en  $\sqrt{t}$  et  $\log(t)$  ). Sur la courbe en  $\sqrt{t}$  figure la construction retenue par le traitement automatique. Les courbes sont annotées et titrées automatiquement. L'avance du papier sur la table est commandée par le programme.

. Pour chaque cas de charge, les valeurs de la contrainte appliquée et de la déformation finale sont stockées (tableaux  $S(J)$  et  $D(J)$ ). En fin de traitement une bande de données de compressibilité est éditée (code CS) ; celle-ci sera traitée par OEDOM.TR.CS..

Données à introduire :

Toute les données nécessaires se trouvent sur la bande perforée OEDOM....DT.

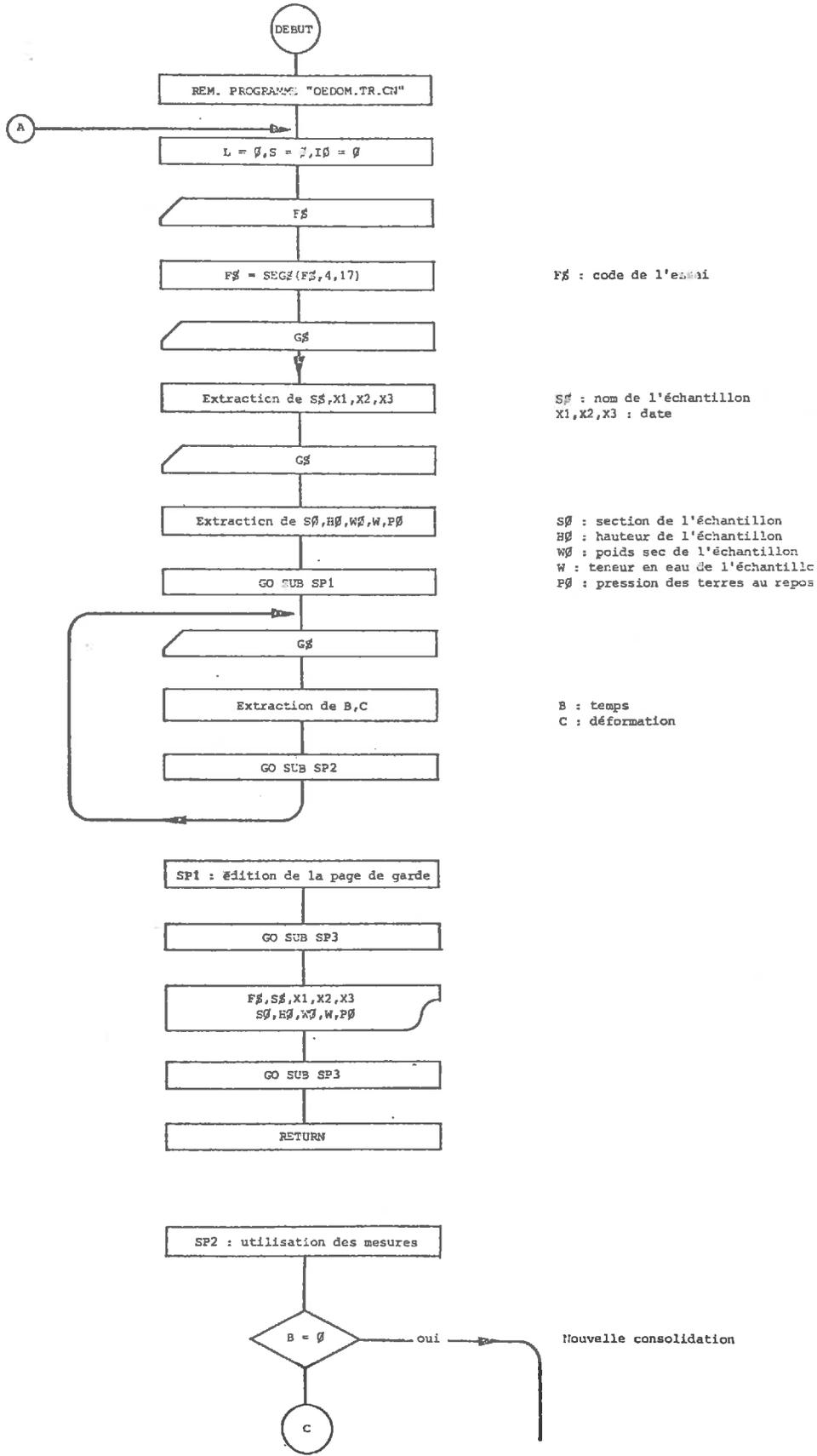
Résultats fournis :

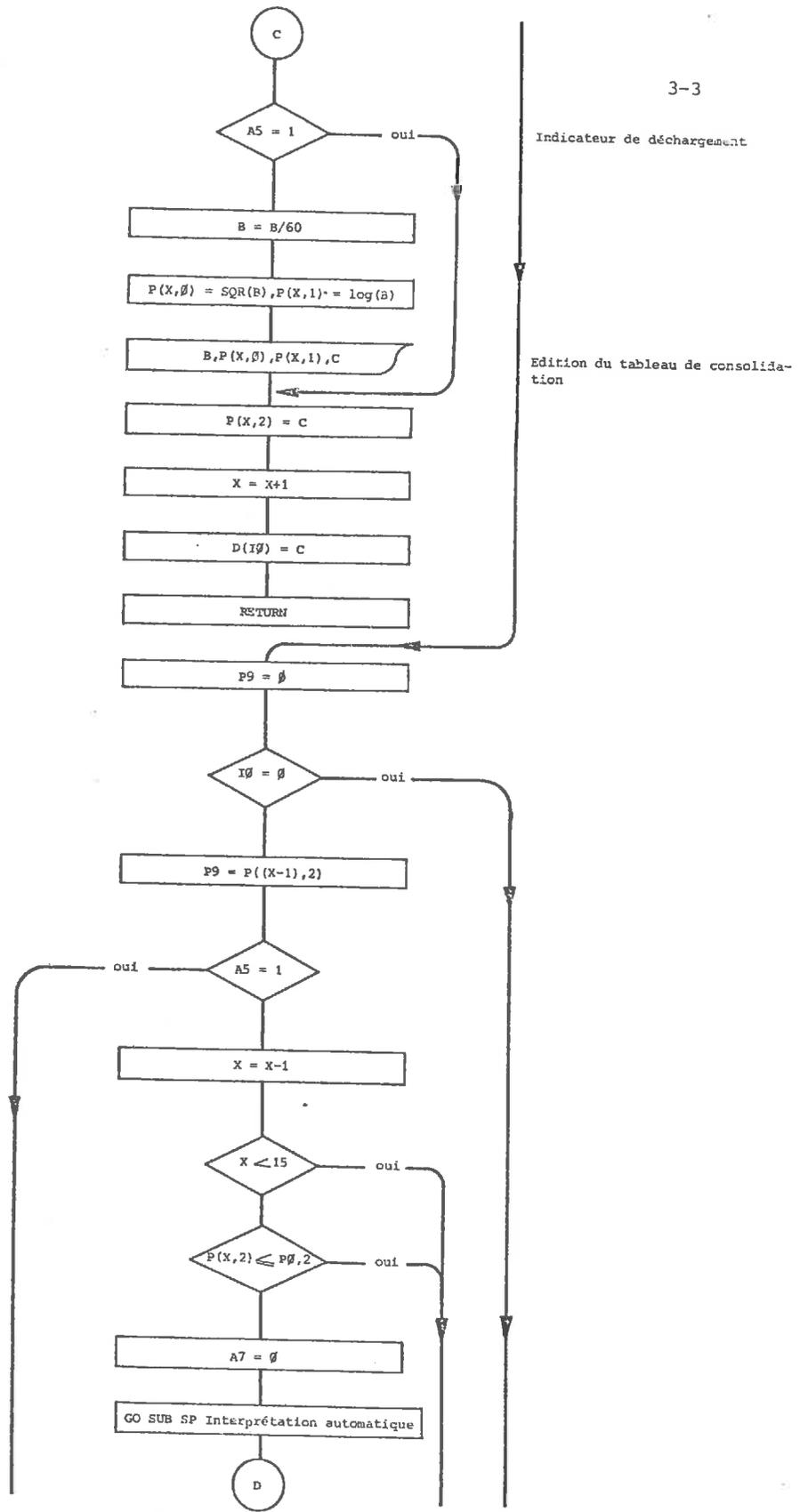
Voir exemple de sorties pages 12, 13, 14.

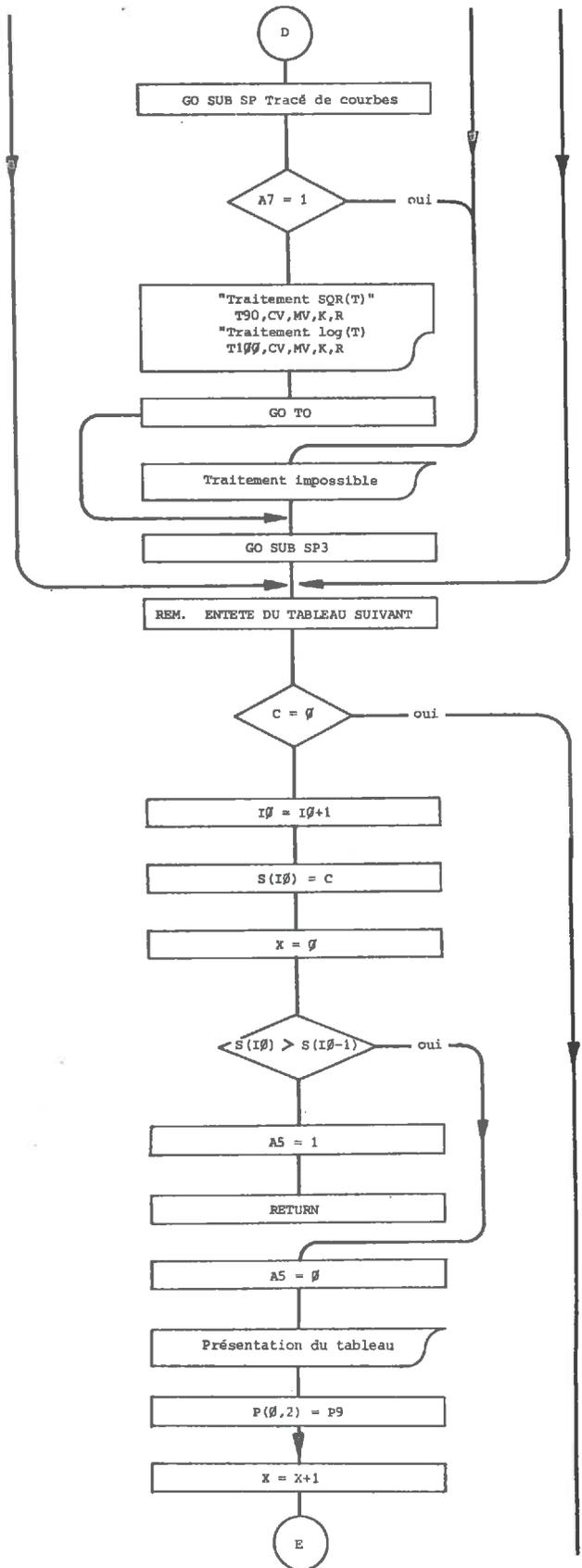
Fonctionnement pratique :

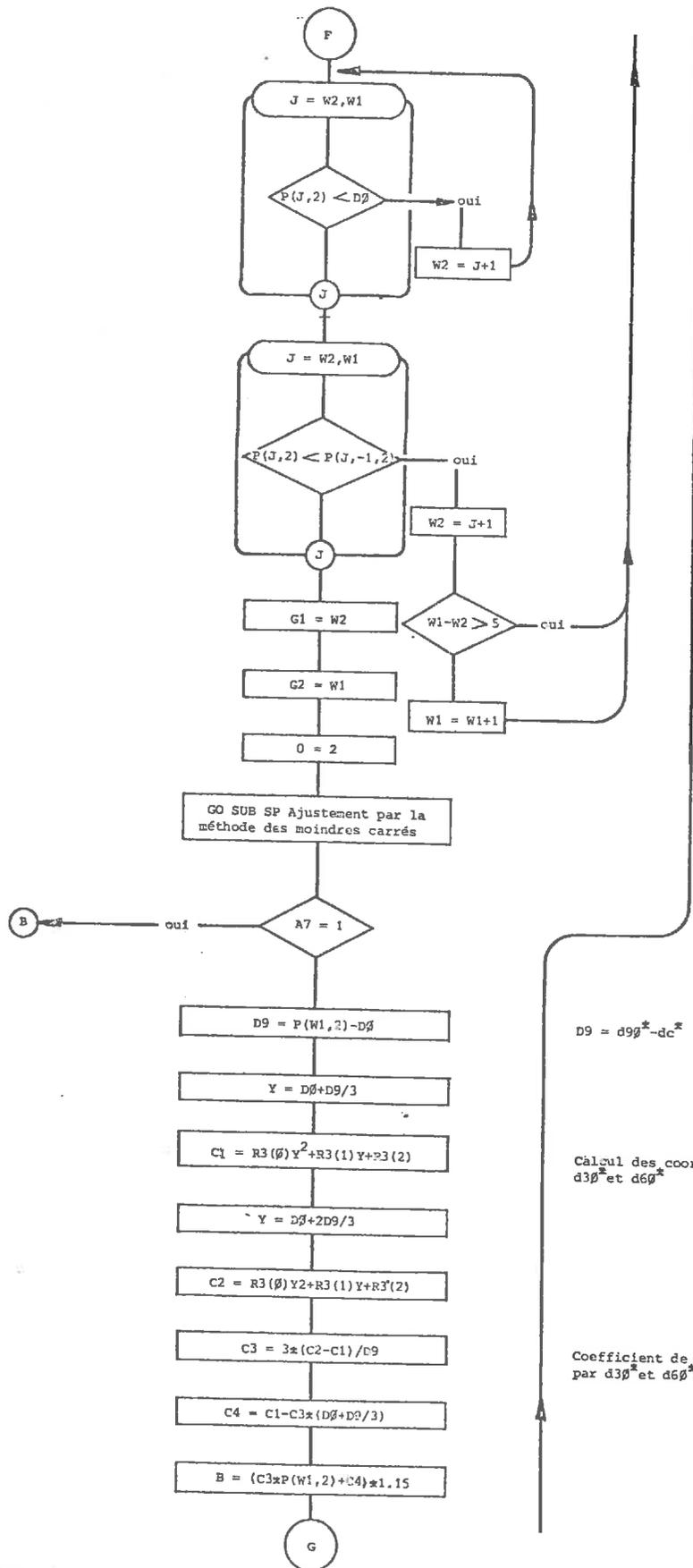
Il suffit d'introduire la bande de données et de mettre en route le programme. Le traitement est ensuite entièrement automatique.

Il est possible de chaîner plusieurs bandes perforées relatives à des essais différents : il suffit pour cela de les raccorder en intercalant entre elles le mot "SUITE", la fin du traitement est marquée par le mot "FIN".





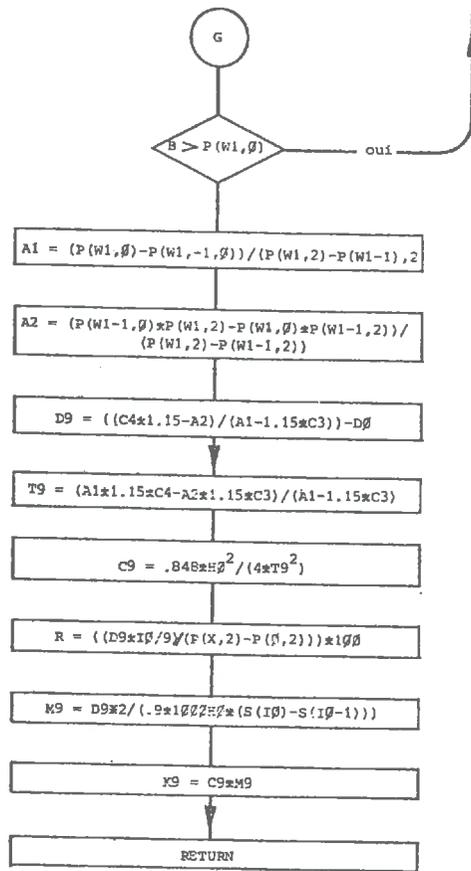




$$D9 = d9\beta^x - dc^x$$

Calcul des coordonnées des points  $d3\beta^x$  et  $d6\beta^x$

Coefficient de la droite passant par  $d3\beta^x$  et  $d6\beta^x$



Calcul de l'intersection de  
droite II avec la courbe ex-  
ponentielle

T9 beta

CV

R

MV

K

SP Tracé de courbes

SP Ajustement par la méthode des moindres carrés

```

5 REM-PROG. OEDOM.TR.
6 PRINT FMT("I",3)
20 05=1\A8=0
22 DIM D(40),S(40),P(40,2)
24 DIM R1(4,4),R2(4),R3(4)
100 IF A8=0GO TO 120
110 STOP
120 A8=1\GO TO 3000
2899 REM- SP DE PAGINATION AUTOMATIQUE
2900 Z=68-Y0
2905 IF Z<1GO TO 2915
2910 PRINT RPT(Z,10),RPT(70,45)
2913 GO TO 2920
2915 PRINT RPT(70,45)
2920 RETURN
3000 REM- TRAIT. ESSAI OEDOM.
3001 A6=0
3002 REM-OPERATIONS D'ENTREE
3005 L=0\SC0=0\I0=0
3052 INPUT #05;FS
3053 AS=SEGS(FS,18,19)\IF AS="DT"GO TO 3056
3054 A6=1
3056 FS=SEGS(FS,4,17)
3057 INPUT #05;GS
3058 Z=LEN(GS)\SS=SEGS(GS,1,Z-8)
3059 X1=VAL(SEGS(GS,(Z-8),(Z-5)))\X2=VAL(SEGS(GS,(Z-5),(Z-2)))
3060 X3=VAL(SEGS(GS,(Z-2),Z))
3071 INPUT #05;GS
3072 S0=VAL(SEGS(GS,4,11))\H0=VAL(SEGS(GS,12,19))
3073 W0=VAL(SEGS(GS,20,27))\W=VAL(SEGS(GS,28,35))
3074 P0=VAL(SEGS(GS,36,43))
3075 GOSUB 3100
3076 IF A6=1GO TO 3375
3080 INPUT #05;GS
3081 B=VAL(SEGS(GS,1,7))
3083 YS="-"
3084 FOR T=8 TO 11
3085 AS=SEGS(GS,T,T)\IF AS=YSGO TO 3093
3087 NEXT T
3089 C=VAL(SEGS(GS,8,15))\GO TO 3095
3093 C=VAL(SEGS(GS,(T+1),15))*(-1)
3095 GOSUB 3200
3097 GO TO 3080
3100 REM- PREMIERE PAGE
3105 Y0=65
3107 GOSUB 2900
3109 PRINT FMT("I",3)
3110 PRINT NLN(3);TAB(9),"I . N . S . A .",TAB(43),"ESSAI :",
3111 PRINT FS,NLN(2);"LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS",
3112 PRINT NLN(10);TAB(20);"ESSAI OEDOMETRIQUE",
3114 PRINT NLN(2);TAB(20),RPT(18,42),NLN(5)
3116 PRINT NLN(5);"ECHANTILLON :";TAB(15),SS,TAB(43);
3117 PRINT "DATE :";FMT("I",3)X1,X2,X3
3118 Z=SQR(4*S0/3.14159)
3119 PRINT NLN(1);"DIAMETRE ECHANTILLON :";TAB(30),FMT("F",6,2)Z
3120 PBINT "HAUTEUR INITIALE :";TAB(30),H0
3122 PRINT "POIDS SEC DE L'ECH. :";TAB(30),W0
3124 PRINT "TENEUR EN EAU APRES ESSAI :";TAB(30),V
3126 PRINT NLN(7);TAB(43),"OPERATEUR :";
3128 Y0=42
3130 GOSUB 2900
3132 RETURN
3200 REM-UTILISATION MESURES
3205 IF B=0GO TO 3230
3207 IF AS=1GO TO 3220
3210 B=B/60\ P(X,0)=SQR(B)\ P(X,1)=LOG(B)

```

```

3215 PRINT FMT("F", 15, 2) B, P(X, 0), P(X, 1), FMT("F", 12, 1) C
3220 P(X, 2) = C \ X = X + 1 \ D(I 0) = C \ Y 0 = Y 0 + 1
3225 RETURN
3229 REM- FIN DE TABLEAU
3230 P9 = 0 \ IF I 0 = 0 GO TO 3250
3231 P9 = P(X-1, 2)
3232 IF A5 = 1 GO TO 3250
3233 X = X - 1 \ IF X < 15 GO TO 3244 \ IF P(X, 2) <= P(0, 2) GO TO 3244
3234 A7 = 0 \ GOSUB 3500
3235 GOSUB 8000 \ IF A7 = 1 GO TO 3244
3236 PRINT NLN(2); "TRAITEMENT SQR(T) : "
3237 PRINT "T9 0 = ", FMT("F", 6, 1) T9, TAB(14), "CV = ", FMT("E", 10) C9, TAB(
3238 PRINT "MV = ", M9, TAB(46), "K = ", K9, TAB(61), "R = ", FMT("F", 6, 1) R
3239 PRINT NLN(2); "TRAITEMENT LOG(T) : "
3240 PRINT "T100 =          CV =          R = "
3243 Y0 = Y0 + 8 \ GO TO 3246
3244 PRINT NLN(2); "TRAITEMENT IMPOSSIBLE"
3245 Y0 = Y0 + 3
3246 GOSUB 2900
3248 REM- ENTETE DU TABLEAU SUIVANT
3250 IF C = 0 GO TO 3300
3251 I 0 = I 0 + 1
3252 S(I 0) = C
3253 X = 0
3254 IF S(I 0) > S(I 0 - 1) GO TO 3257
3256 A5 = 1 \ RETURN
3257 A5 = 0
3258 PRINT NLN(3); "I. N. S. A. = M. D. S. = ", TAB(43), "ESSAI : ", TAB(55), FS
3259 PRINT NLN(2); TAB(20), "ESSAI DE CONSOLIDATION"
3260 PRINT TAB(20), RPT(22, 45)
3261 PRINT NLN(3); "ECHANTILLON : "; TAB(15), SS, TAB(43);
3262 PRINT "DATE : "; FMT("I", 3) X3LXR, X3
3263 PRINT NLN(1); "PRESSION PRECEDENTE : ", TAB(25), FMT("F", 6, 2) S(I 0 - 1)
3264 PRINT "PRESSION ACTUELLE : ", TAB(25), S(I 0), NLN(3)
3265 PRINT TAB(10), "T (MN)", TAB(25), "SQR(T)", TAB(41);
3266 PRINT "LOG(T)", TAB(50), "DH(10' - 3CM)", NLN(2)
3267 PRINT TAB(11), "0", TAB(50), FMT("F", 7, 1) P9 \ P(0, 2) = P9 \ X = X + 1
3268 Y0 = 22
3269 RETURN
3300 REM- SORTIE DONNEES CS
3302 FS = "MDS"&FS&"CS"
3303 PRINT #2: RPT(100, 0); FS, NLN(1); SS; FMT("I", 3) X1, X2, X3
3304 PRINT #2: " 0", FMT("F", 8, 3) S0, H0, W0, W, P0
3306 FOR J = 1 TO I 0
3308 PRINT #2: S(J), ", ", D(J)
3310 NEXT J
3312 PRINT #2: " 0.000, 0.000", NLN(1), RPT(100, 0),
3350 INPUT #05: AS \ IF AS = "FIN" GO TO 3354
3352 PRINT RPT(10, 10) \ GO TO 3005
3354 GO TO 100
3374 REM- ENTREE D'UNE BANDE CS
3375 FOR J = 0 TO 40
3377 INPUT #05: GS
3378 Z = LEN(GS)
3379 FOR T = 1 TO Z \ AS = SEG$(GS, T, T)
3380 IF AS = " " GO TO 3381 \ NEXT T
3381 B = VAL(SEG$(GS, 1, T-1))
3382 FOR K = T+1 TO Z \ AS = SEG$(GS, K, K) \ IF AS = "-" GO TO 3384 \ NEXT K
3383 C = VAL(SEG$(GS, T+1, Z)) \ GO TO 3385
3384 C = VAL(SEG$(GS, K+1, Z)) * (-1)
3385 IF C = 0 GO TO 3389
3386 NEXT J
3389 PRINT "PROGRAMME NON ADAPTE : UTILISER 'OEDOM.TR.CS.'"
3390 GO TO 3350
3500 REM- TRAIT. CONS. TAYLOR
3502 D0 = P(1, 2) \ W1 = 13 \ W2 = 2

```

```

3503 IF W1<40GQ TO 3504\NGO TO 3520
3504 FOR J=W2 TO W1\IF P(J,2)<D0GO TO 3505 \NEXT J\NGO TO 3506
3505 W2=J+1\NGO TO 3504
3506 FOR J=W2 TO W1\IF P(J,2)<=P(J-1,2)GO TO 3508 \NEXT J
3507 GO TO 3509
3508 W2=J+1\IF W1-W2>5G0 TO 3503 \W1=W1+1\NGO TO 3503
3509 G1=W2\G2=W1\O=2
3510 GOSUB 9000
3511 IF A7=1G0 TO 3520
3512 D9=P(W1,2)-D0\Y=D0+D9/3\C1=R3(0)*Y+Y+R3(1)*Y+R3(2)
3513 Y=D0+2*D9/3\C2=R3(0)*Y+Y+R3(1)*Y+R3(2)
3514 C3=3*(C2-C1)/D9\C4=C1-C3*(D0+D9/3)
3515 B=(C3*P(W1,2)+C4)*1.15
3516 D0=-C4/C3
3518 IF B<=P(W1,0)GO TO 3522
3519 W1=W1+1\NGO TO 3503
3520 A7=1\RETURN
3522 A1=(P(W1,0)-P(W1-1,0))/(P(W1,2)-P(W1-1,2))
3524 A2=(P(W1-1,0)*P(W1,2)-P(W1,0)*P(W1-1,2))/(P(W1,2)-P(W1-1,2))
3526 D9=((C4*1.15-A2)/(A1-1.15*C3))-D0
3528 T9=(A1*1.15*C4-A2*1.15*C3)/(A1-1.15*C3)
3530 C9=.848*(H0*2)/(A*T9*T9)
3532 R=((D9*10/9)/(P(X,2)-P(0,2)))*100
3534 M9=D9*2/(.9*1000*H0*(S(I0)-S(I0-1)))
3536 K9=C9*M9
3538 RETURN
8000 REM-TRACE COURBES DE CONSOLIDATION
8002 IF P(0,2)<P(1,2)GO TO 8005
8003 A0=INT(P(1,2)-1)\NGO TO 8006
8005 A0=INT(P(0,2)-1)
8006 B0=INT(P(X,2)+2)
8010 SCALE(1,A0,(2*E0-A0),-2.96,40)
8015 SCALE(2,(2*A0-E0),P0,-5.492,8)
8020 DATA 6,1,5,10,50,100,500,1000
8022 I1=1\I2=A0\I3=1\I4=0\I6=.5\I7=40\I8=37
8024 E1=0\E2=1\E3=0\E4=0\C2=1
8025 T5="50R(T)"
8026 GOSUB 8500
8030 DATA 9,.1,.25,.5,1,2,5,10,50,100,500
8032 I1=2\I4=-4.5\I6=.1\I7=8\I8=7.2
8034 E1=1\E2=0
8036 T5="LOG(T)"
8038 GOSUB 8500
8039 RESTORE..
8040 D1=0\D2=1
8042 I1=1\I2=A0\I3=B0\I5=0\I6=-2.22\IF B0-A0>20G0 TO 8043 \I4=1\NGO TO 8044
8043 I4=5
8044 T5="DH"
8046 GOSUB 8600
8048 I1=2\I5=-4.5\I6=-5.219
8050 GOSUB 8600
8052 I2=1
8053 PLOT(1,P(0,2),P(0,0),0,2)\TEXT(1,1)" D0"
8054 PLOT(1,P(1,2),P(1,0),0,2)
8055 FOR K=2 TO X\PLOT(1,P(K,2),P(K,0),I2,2)\NEXT K
8056 IF A7=1G0 TO 8061
8057 PLOT(1,D0,0,0,0)\TEXT(1,1)" DC"\FLOT(1,D0,0,0,0)
8058 D8=P((W1+2),2)*C3+C4
8059 PLOT(1,P((W1+2),2),D8,1,0)\FLOT(1,D0,0,0,0)
8060 PLOT(1,P((W1+2),2),(D8*1.15),1,0)
8061 PLOT(2,P(0,2),-4,5,P,2)\TEXT(1,1)" D0"
8062 PLOT(2,P(1,2),P(1,1),0,2)
8064 FOR K=2 TO X
8066 PLOT(2,P(K,2),P(K,1),I2,2)
8068 NEXT K
8070 SCALE(0,0,42,0,28)

```

```

8071 IA=4\GOSUB 8080 \IF A7=1G0 TO 8072 \GOSUB 8093
8072 IA=25\GOSUB 8080
8074 PLOT(0,0,0,0)
8076 GOSUB 8900
8078 RETURN
8080 PLOT(0,14,18,0,0)
8082 TEXT(2,1)FS
8086 TEXT(1,1)Ss
8090 TEXT(1,1)"CONSOLIDATION :";FMT("A")S(I0-1);S(I0);"BARS"
8092 RETURN
8093 T9=T9*T9\TEXT(1,1)"T90=",FMT("F",5,1)T9
8094 TEXT(1,1)"CV =",FMT("E",10)C9\TEXT(1,1)"MV =",M9
8095 TEXT(1,1)"K =",K9\TEXT(1,1)"R =",FMT("F",5,1)R
8096 RETURN
8500 REM-TRACE AXE Y : GRAD. IRREGULIERE
8505 PLOT(I1,(I2+I3),14,0,0)
8510 READ M8
8515 FOR K=0 TO M8.
8520 READ Z\I5=E1*LOG(Z)+E2*SQR(Z)
8525 PLOT(I1,(I2+I3),15,1,8)
8530 PLOT(I1,(I2+I3/2),(I5-I6),0,0)
8535 TEXT(1,D2)FMT("A")Z
8540 PLOT(I1,(I2+I3),15,0,0)
8545 NEXT K.
8550 PLOT(I1,(I2+I3),17,1,0)
8555 PLOT(I1,(I2+I3/2),18,0,0)
8560 TEXT(1,D2)Ts
8565 RETURN
8600 REM-TRACE AXE X : GRAD. REGULIERE
8605 PLOT(I1,(I2+I4),15,0,0)
8610 FOR Y=(I2+2*I4) TO (I3-2*I4) STEP I4
8615 PLOT(I1,Y,15,1,7)
8620 PLOT(I1,(Y-D1),16,0,0)
8625 TEXT(1,D2)FMT("A")Y
8630 PLOT(I1,Y,15,0,0)
8635 NEXT Y.
8640 PLOT(I1,(I3-I4),15,1,0)
8645 PLOT(I1,(I3-I4-D1),16,0,0)
8650 TEXT(1,D2)Ts
8655 RETURN
8900 REM-DEROULEMENT DU PAPIER
8905 DELAY(100,LINE 8920 )
8910 RETURN
8920 DIGOUT#0:(6,1)
8925 DELAY(46,LINE 8940 )
8930 RETURN
8940 DIGOUT#0:(6,0)
8945 RETURN
9000 REM- AJUSTEMENT PAR LA MMC
9010 FOR I=0 TO 0
9012 R1(I,0)=0\R1(1,0)=0\R2(I)=0
9014 F1=2*0-I\F2=0-I
9016 FOR J=G1 TO G2
9018 R1(I,0)=R1(I,0)+(P(J,2)*F1)
9020 IF F2=0G0 TO 9026
9022 R1(I,0)=R1(I,0)+(P(J,2)*F2)
9024 R2(I)=R2(I)+P(J,0)*(P(J,2)*F2)\G0 TO 9028
9026 R1(I,0)=R1(I,0)+I\R2(I)=R2(I)+P(J,0)
9028 NEXT J\NEXT I
9032 FOR I=1 TO 0
9034 Z1=I
9036 FOR J=0 TO I-1
9038 Z1=Z1-I\Z2=J+I\R1(Z1,Z2)=R1(I,0)
9040 NEXT J
9041 NEXT I
9042 O1=0-I

```

```

9044 FOR I=1 TO 01
9046 Z2=0\Z1=I\01=01-1
9048 FOR J=0 TO 01
9050 Z2=Z2-1\Z1=Z1+1\RI(Z1,Z2)=RI(I,0)
9052 NEXT J
9053 NEXT I
9054 0=0+1\GOSUB 9100
9056 0=0-1\RETURN
9100 REM- SP GAUSS
9102 FOR K=0 TO 0-2\I=K+1\P=K
9106 IF ABS(R1(I,K))<ABS(R1(P,K))GO TO 9108 \P=I
9108 IF I>0-1GO TO 9110 \I=I+1\GO TO 9106
9110 IF R1(P,K)=0GO TO 9150 \IF P=KGO TO 9120
9112 FOR J=K TO 0-1
9114 F=R1(K,J)\R1(K,J)=R1(P,J)\R1(P,J)=F
9116 NEXT J
9118 F=R2(K)\R2(K)=R2(P)\R2(P)=F
9120 FOR I=K+1 TO 0-1
9122 F=R1(I,K)/R1(K,K)\R1(I,K)=0
9124 FOR J=K+1 TO 0-1
9126 R1(I,J)=R1(I,J)-F*R1(K,J)
9128 NEXT J
9130 R2(I)=R2(I)-F*R2(K)
9131 NEXT I
9132 NEXT K
9133 IF R1(0-1,0-1)=0GO TO 9150
9134 R3(0-1)=R2(0-1)/R1(0-1,0-1)
9136 FOR I=0-2 TO 0 STEP -1
9138 F=0
9140 FOR J=0-1 TO I+1 STEP -1\F=F-(R1(I,J)*R3(J))\NEXT J
9142 IF R1(I,I)=0GO TO 9150
9144 R3(I)=(R2(I)+F)/R1(I,I)
9146 NEXT I
9148 RETURN
9150 PRINT "RESOLUTION DU SYSTEME IMPOSSIBLE"
9152 Y0=Y0+1\A7=1\RETURN

```

ESSAI : OEDOM 7 77

ESSAI : OEDOM 7 77

I.N.S.A. - M.E.S. -

ESSAI : OEDOM 7 77

I.N.S.A.

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ESSAI DE CONSOLIDATION

DATE : 7 3 77

ECHANTILLON : PILLE REHUMIDIFIE

PRESSION PRECEDENTE : 2.52  
PRESSION ACTUELLE : 1.80

ESSAI OECOMETRIQUE  
\*\*\*\*\*

DATE : 7 3 77

ECHANTILLON : PILLE REHUMIDIFIE

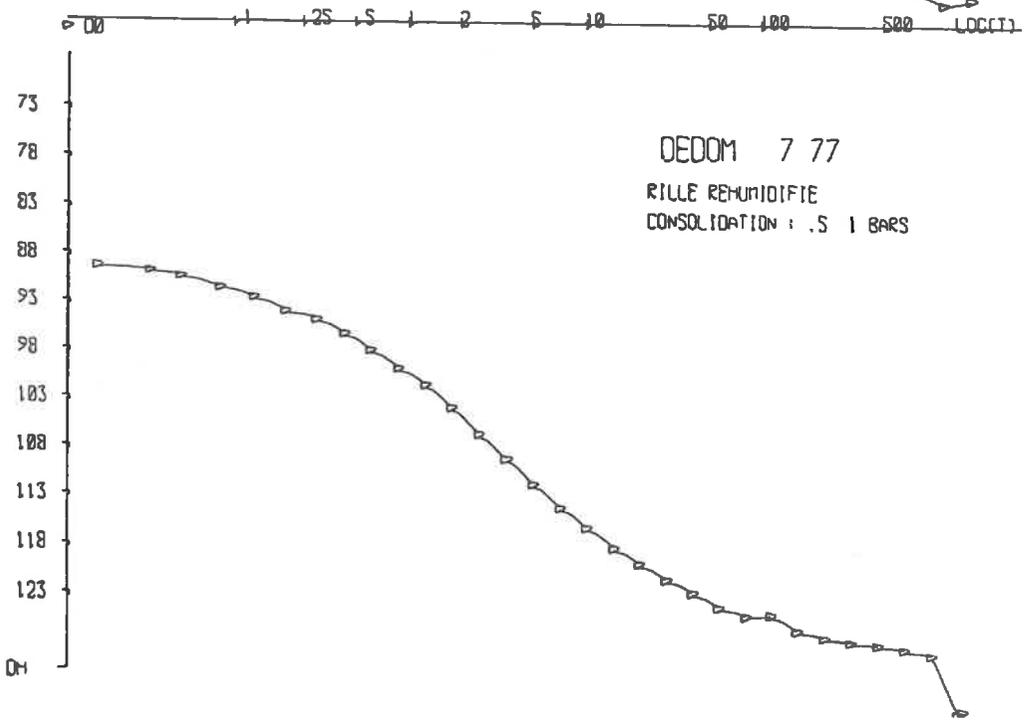
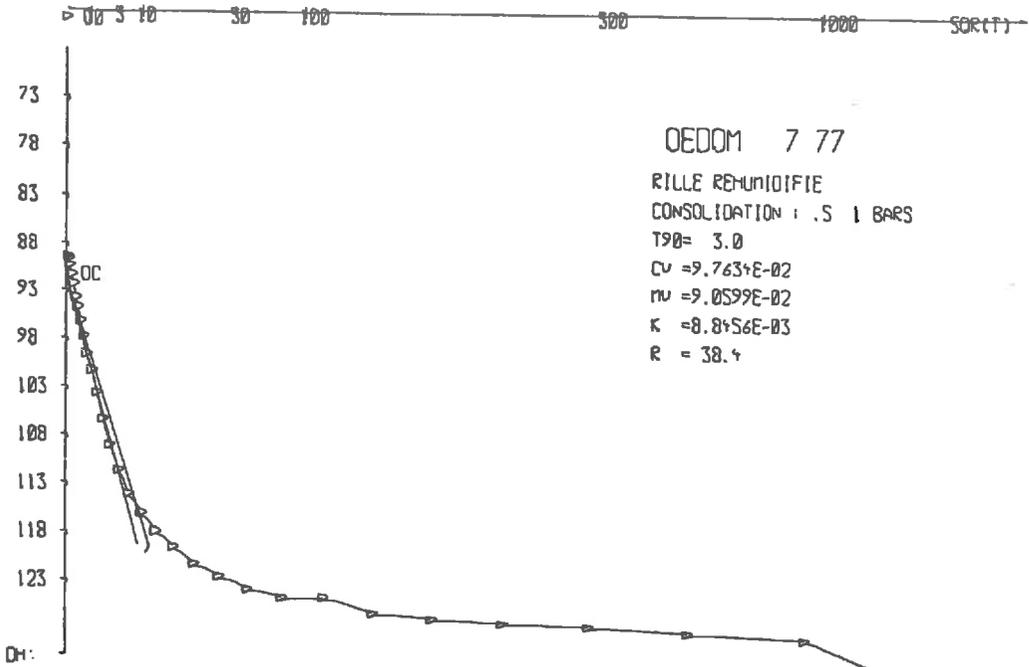
DIAMETRE ECHANTILLON : 7.08  
HAUTEUR INITIALE : 1.18  
POIDS SEC L'ECH. : 63.23  
TENUEUR EN EAU APRES ESSAI : 23.47

OPERATEUR :

T (MN)	SCR(T)	LOG(T)	EX(10 <sup>-3</sup> CM)
0	0.13	-4.09	64.8
0.22	0.18	-3.80	80.4
0.43	0.22	-3.68	87.4
0.86	0.29	-3.48	91.4
1.73	0.37	-2.81	92.5
3.46	0.45	-1.51	93.9
6.92	0.52	-1.28	94.9
13.84	0.55	-0.84	97.3
27.68	0.66	-0.54	97.9
55.36	0.79	-0.18	99.9
110.72	0.94	0.12	101.5
221.44	1.13	0.24	103.6
442.88	1.34	0.59	106.5
885.76	1.60	0.84	109.1
1771.52	1.91	1.20	111.7
3543.04	2.27	1.54	114.1
7086.08	2.71	1.99	116.2
14172.16	3.22	2.24	118.1
28344.32	3.84	2.69	119.4
56688.64	4.57	3.04	121.3
113377.28	5.43	3.73	122.5
226754.56	6.47	4.08	123.9
453509.12	7.79	4.43	124.7
907018.24	9.42	4.77	126.2
1814036.48	11.80	5.12	126.9
3628072.96	14.94	5.47	127.3
7256145.92	18.92	5.82	127.6
14512291.84	23.80	6.17	128.1
29024583.68	29.67	6.52	128.7
58049167.36	36.54	6.87	129.7
116098334.72	43.41	7.21	130.3
232196669.44	57.90	7.57	

TPAITEMENT SCR(T) :  
T92 = 3.8 CV = 9.763E-02 MV = 9.060E-02 K = 8.846E-03 R = 38.4

TPAITEMENT LOG(T) :  
T100 = R =



## ANNEXE 4

### PROGRAMME OEDOM. TR. CS.

Description du programme.....	4-1
Organigramme.....	4-2
Listing.....	4-7
Exemples de sorties.....	4-12

DESCRIPTION DU PROGRAMMETitre : OEDOM.TR.CS.Type : secondaire de niveau 2. Adresse de départ 3000. Clé de commande  $\emptyset$ .Taille mémoire utilisée :Fonctions réalisées :

. Etablit le tableau de compressibilité : contrainte, logarithme de la contrainte, indice des vides.

. Un traitement automatique est effectué si les conditions de chargement sont compatibles avec le mode de traitement : première charge à 0,100 ou 0,125 bar, une boucle de déchargement proche de  $\sigma_c$ , CC1, CC2, CC3.

. Le programme trace automatiquement la courbe de compressibilité et la courbe vierge qui en est déduite. Les valeurs caractéristiques sont indiquées et les titres tracés automatiquement.

Données à introduire :

Toutes les données se trouvent sur la bande OEDOM...CS

Résultats fournis :

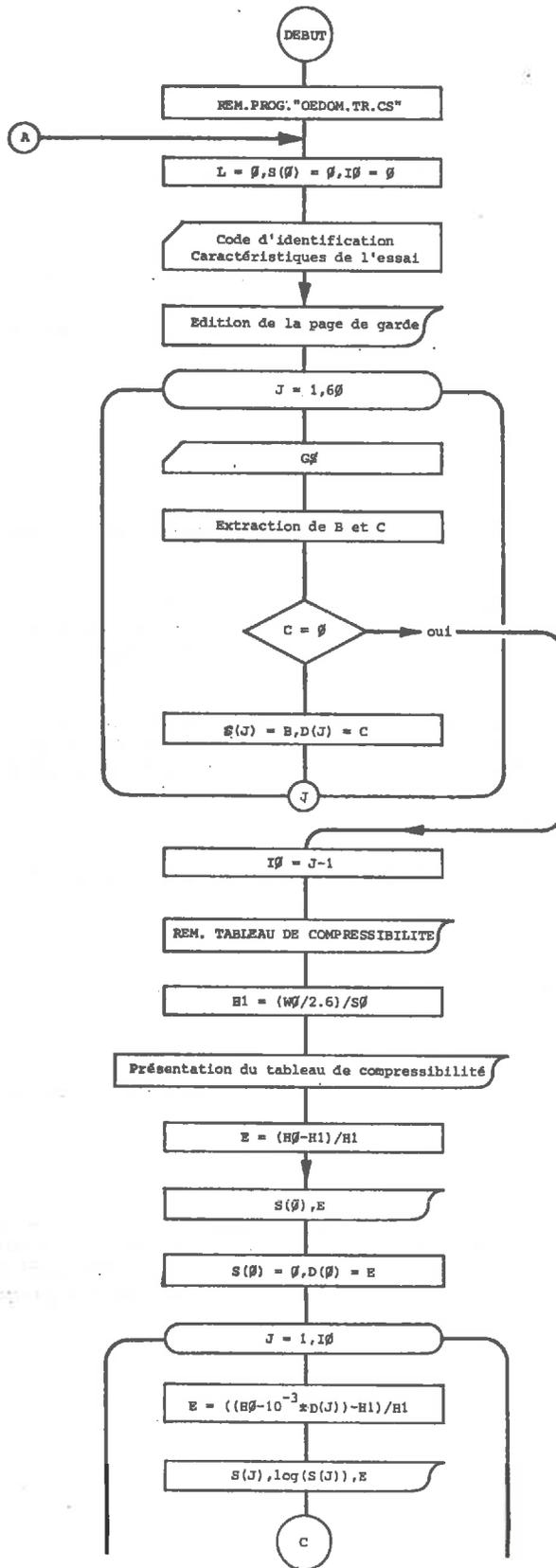
Voir exemple de sortie pages 12 et 13.

Fonctionnement pratique :

Entièrement automatique ; possibilité de chaînage de bande de données.

Observations :

OEDOM.TR. et OEDOM.TR.CS. sont en fait un seul programme qui a été coupé en deux pour des raisons de taille. Si on utilise un calculateur dont la taille est suffisante, il est très facile de les réunir (suppression de quelques lignes dans chacun des programmes).



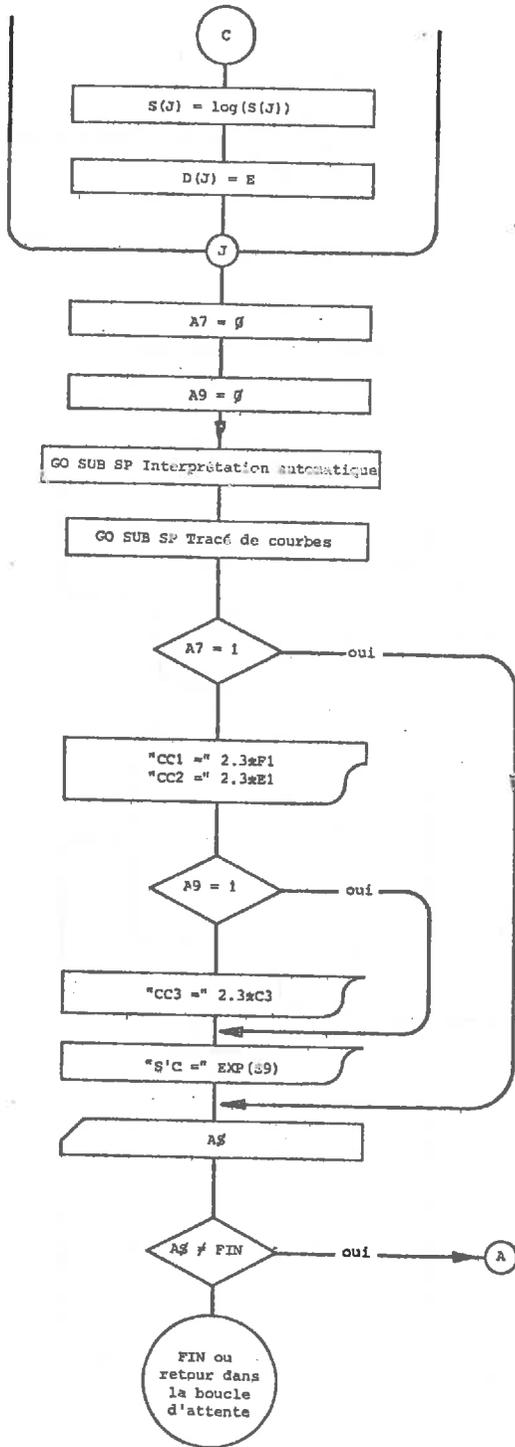
Identique à  
"OEDOM. TR. CN"

B = pression  
C = déformation

Hauteur réduite

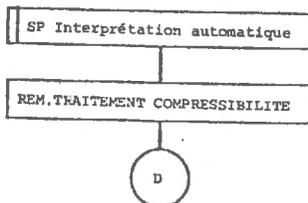
Indice des vides initial

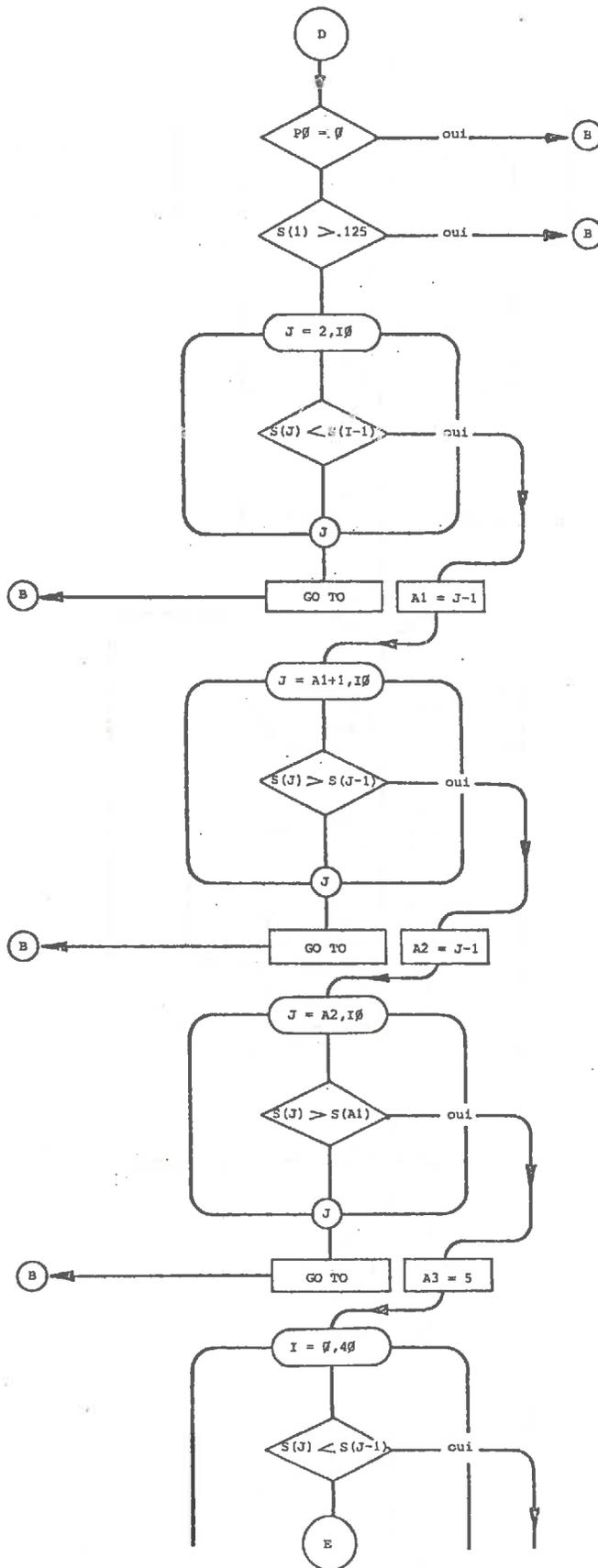
Indice des vides



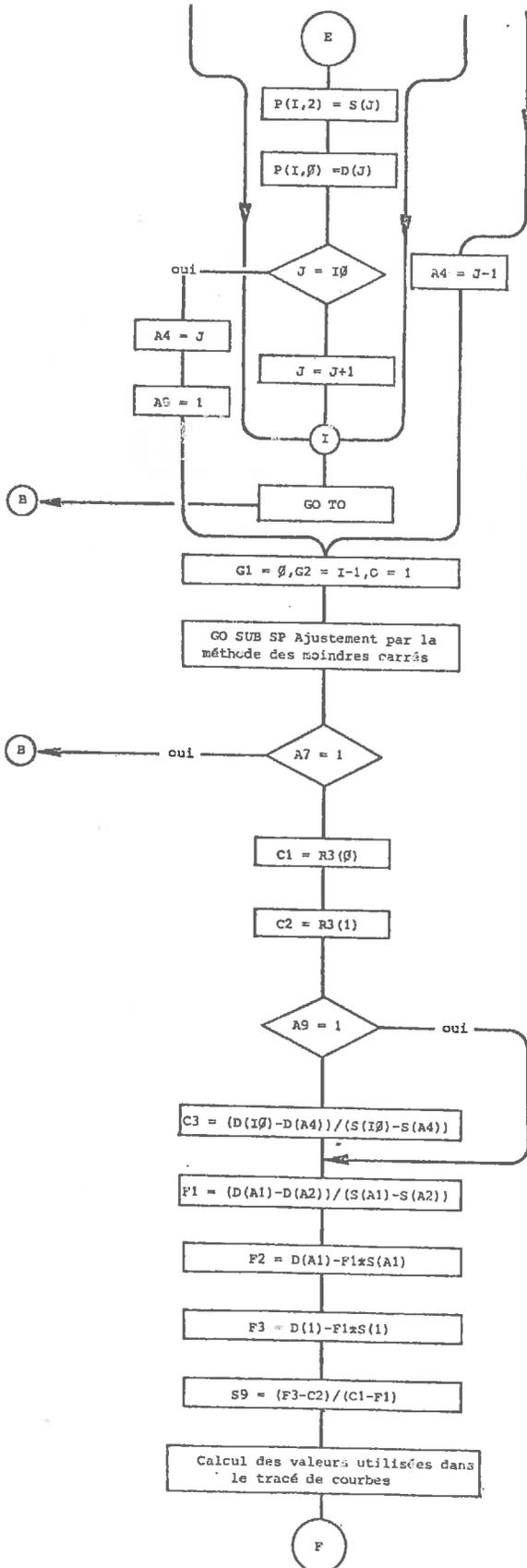
4-3

Stockage des données pour le traitement





Recherche des points caractéristiques



Constitution du tableau de données pour le SP d'ajustement

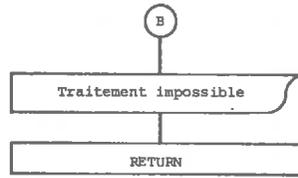
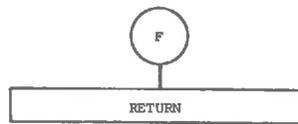
Coefficients de la droite CC2'

Coefficients de la droite CC3

Coefficients de la droite CC1

o 'c

4-6



SP Ajustement par la méthode des moindres carrés

SP Tracé de courbes

```

5 REM- PROGRAM "OEDOM TR CS"
6 PRINT FMT("I", 3)
20 O5=1\A8=0
22 DIM D(40), S(40), P(40, 2)
24 DIM R1(2, 2), R2(2), R3(2)
100 IF A8=0G0 TO 120
110 STOP
120 A8=1\G0 TO 3000
2900 Z=68-Y0
2905 IF Z<1G0 TO 2915
2910 PRINT RPT(Z, 10), RPT(70, 45)
2913 G0 TO 2920
2915 PRINT RPT(70, 45)
2920 RETURN
3000 REM- TRAIT. ESSAI OEDOM.
3001 A6=0
3002 REM- OPERATIONS D'ENTREE
3005 L=0\ S(0)=0\ I0=0
3052 INPUT #05: F5
3053 A5=SEGS(F5, 18, 19)\ IF A5="DT" G0 TO 3056
3054 A6=1
3056 F5=SEGS(F5, 4, 17)
3057 INPUT #05: G5
3058 Z=L FN(G5)\ S5=SEGS(G5, 1, Z-8)
3059 X1=VAL(SEGS(G5, (Z-8), (Z-5)))\ X2=VAL(SEGS(G5, (Z-5), (Z-2)))
3060 X3=VAL(SEGS(G5, (Z-2), Z))
3071 INPUT #05: G5
3072 S0=VAL(SEGS(G5, 4, 11))\ H0=VAL(SEGS(G5, 12, 19))
3073 W0=VAL(SEGS(G5, 20, 27))\ W=VAL(SEGS(G5, 28, 35))
3074 P0=VAL(SEGS(G5, 36, 42))
3075 GOSUB 3100
3076 IF A6=1G0 TO 3375
3080 INPUT #05: G5
3081 B=VAL(SEGS(G5, 1, 7))
3083 Y5="-"
3084 FOR T=8 TO 11
3085 A5=SEGS(G5, T, T)\ IF A5=Y5G0 TO 3093
3087 NEXT T
3089 C=VAL(SEGS(G5, 8, 15))\ G0 TO 3095
3093 C=VAL(SEGS(G5, (T+1), 15))*(-1)
3095 GOSUB 3200
3097 G0 TO 3080
3100 REM- PREMIERE PAGE
3105 Y0=65
3107 GOSUB 2900
3109 PRINT FMT("I", 3)
3110 PRINT NLN(3); TAB(9), "I . N . S . A .", TAB(43), "ESSAI :",
3111 PRINT F5, NLN(2); "LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS",
3112 PRINT NLN(10); TAB(20); "ESSAI OEDOMETRIQUE",
3114 PRINT NLN(2); TAB(20), RPT(18, 42), NLN(5)
3116 PRINT NLN(5); "ECHANTILLON :", TAB(15), S5, TAB(43);
3117 PRINT "DATE :"; FMT("I", 3)X1, X2, X3
3118 Z=SQR(4*S0/3.14159)
3119 PRINT NLN(1); "DIAMETRE ECHANTILLON :", TAB(30), FMT("F", 6, 2)Z
3120 PRINT "HAUTEUR INITIALE :", TAB(30), H0
3122 PRINT "POIDS SEC DE L'ECH. :", TAB(30), W0
3124 PRINT "TENEUR EN EAU APRES ESSAI :", TAB(30), W
3126 PRINT NLN(7); TAB(43), "OPERATEUR :"
3128 Y0=42
3130 GOSUB 2900
3132 RETURN
3300 REM- TABLEAU DE COMPRESSIBILITE
3302 H1=(W0/2.6)/S0
3304 PRINT NLN(3); "I.N.S.A. - M.D.S. -", TAB(43), "ESSAI :", TAB(55), F5
3306 PRINT NLN(2); TAB(20), "ESSAI DE COMPRESSIBILITE"
3307 PRINT TAB(20), RPT(24, 45)

```

```

3309 PRINT NLN(3);"ECHANTILLON "; TAB(15), S5, TAB(43);
3310 PRINT "DATE :"; FMT("I", 3)X1, X2, X3
3312 PRINT NLN(3); TAB(15), "CONTRAINTE S", TAB(34), "LOG(S)", TAB(49), "E",
3313 PRINT NLN(2)
3314 E=(H0-H1)/H1
3316 PRINT TAB(15), FMT("F", 8, 2)S(0), TAB(46), FMT("F", 6, 3)E
3317 Y0=17
3318 S(0)=0\D(0)=E
3319 FOR J=1. TO I0
3320 E=((H0-1.-00000E-03*D(J))-H1)/H1
3325 PRINT TAB(15), FMT("F", 8, 2)S(J), TAB(33), FMT("F", 7, 3)LOG(S(J)),
3326 PRINT TAB(45), E
3327 S(J)=LOG(S(J))\D(J)=E
3330 Y0=Y0+1
3332 NEXT J
3334 A7=0
3335 GOSUB 4000
3337 GOSUB 8100
3338 IF A7=1GO TO 3344
3339 PRINT NLN(3); TAB(20), "CC1 =", FMT("E", 9)2.3*F1
3340 PRINT TAB(20), "CC2 =", 2.3*C1
3341 IF A9=1GO TO 3342 \PRINT TAB(20), "CC3 =", 2.3*C3\Y0=Y0+1
3342 PRINT TAB(20), "S'C =", FMT("F", 6, 2)EXP(S9)
3343 Y0=Y0+5\GO TO 3345
3344 Y0=Y0+4
3345 GOSUB 2900
3350 INPUT #05:A5\IF A5="FIN"GO TO 3354
3352 PRINT RPT(10, 10)\GO TO 3005
3354 GO TO 100
3370 A6=1\GO TO 3052
3375 FOR J=1 TO 60
3377 INPUT #05:G$
3378 Z=LEN(G$)
3379 FOR T=1 TO Z\AS=SEGS(G$, T, T)
3380 IF AS="", GO TO 3381 \NEXT T
3381 B=VAL(SEGS(G$, 1, (T-1)))
3382 FOR K=T+1 TO Z\AS=SEGS(G$, K, K)\IF AS=""GO TO 3384 \NEXT K
3383 C=VAL(SEGS(G$, (T+1), Z))\GO TO 3385
3384 C=VAL(SEGS(G$, K+1, Z))*(-1)
3385 IF C=0GO TO 3388
3386 S(J)=B\D(J)=C
3387 NEXT J
3388 I0=J-1
3389 GO TO 3300
4000 REM- TRAIT. COMPRESSIBILITE
4003 IF P0=0GO TO 4200
4005 IF S(1)>.125GO TO 4200
4007 FOR J=2. TO I0\IF S(J)<S(J-1)GO TO 4010 \NEXT J
4008 GO TO 4200
4010 A1=J-1
4012 FOR J=A1+1 TO I0\IF S(J)>S(J-1)GO TO 4016 \NEXT J
4014 GO TO 4200
4016 A2=J-1
4018 FOR J=A2 TO I0\IF S(J)>S(A1)GO TO 4022 \NEXT J
4020 GO TO 4200
4022 A3=J
4024 FOR I=0 TO 40\IF S(J)<S(J-1)GO TO 4030
4026 P(I, 2)=S(J)\P(I, 0)=D(J)\IF J=I0GO TO 4032
4028 J=J+1\NEXT I
4029 GO TO 4200
4030 A4=J-1\GO TO 4034
4032 A4=J\A9=1
4034 G1=0\G2=I-1\0=1
4036 GOSUB 9000
4037 IF A7=1GO TO 4200
4038 C1=R3(0)\C2=R3(1)

```

```

4040 IF A9=1G0 TO 4042 \C3=(D(I0)-D(A4))/(S(I0)-S(A4))
4042 F1=(D(A1)-D(A2))/(S(A1)-S(A2))
4044 F2=D(A1)-F1*S(A1)
4046 F3=D(I)-F1*S(I)
4048 S9=(F3-C2)/(C1-F1)
4050 D9=C1*S9+C2
4052 D7=F1*(S9-LOG(P0))+D(0)
4054 S8=(.42*D(0)-C2)/C1
4056 F4=(D7-.42*D(0))/(S9-S8)
4058 F5=(.42*D(0)*S9-D7*S8)/(S9-S8)
4060 D6=F4*S(A4)+F5\D5=C1*S(A4)+C2
4062 RETURN
4200 A7=1
4202 PRINT NLN(3);"TRAITEMENT AUTOMATIQUE IMPOSSIBLE"
4204 RETURN
8100 REM-TRACE COURBE DE COMPRESSIBILITE
8102 M0=I\MI=0
8103 FOR K=0 TO I0
8104 IF D(K)>M0GO TO 8106
8105 M0=D(K)
8106 IF D(K)<M1GO TO 8110
8107 M1=D(K)
8110 NEXT K
8112 A0=INT((M1+I0)+1)/I0+.03
8114 B0=(INT(M0*10)/10)-.01
8116 SCALE(3, A0, B0, -2.85, 3)
8117 SCALE(0, 0, 42, 0, 28)
8119 DATA 6, 1, 2, 5, 1, 2, 4, 10
8120 I1=3\I2=A0\I3=-.03\I4=-2.5\I6=.1\I7=3\I8=2.7
8122 E1=1\E2=0\E3=0\E4=0\D1=0\D2=1
8124 T$="LOG(S)"
8126 GOSUB 8500
8127 RESTORE
8128 I3=B0\I4=-.03\I5=-2.5\I6=-2.8\T$=" E"
8130 GOSUB 8600
8132 I2=1
8134 PLOT(3, D(0), -2.5, 0, 7)
8138 TEXT(1, 1)" E0"
8140 PLOT(3, D(1), S(1), 0, 4)
8142 FOR K=2 TO I0
8144 PLOT(3, D(K), S(K), I2, 4)
8146 NEXT K
8147 IF A7=1G0 TO 8170
8148 PLOT(3, D9, S9, 0, 0)
8150 PLOT(3, D5, S(A4), 1, 0)
8152 PLOT(3, D(0), S(1), 0, 0)\PLOT(3, D(0), LOG(P0), 1, 8)
8154 PLOT(3, (D(0)+.01), LOG(P0), 0, 0)\TEXT(1, 1)"S0"
8155 PLOT(3, D(0), LOG(P0), 0, 0)
8156 IF S9>LOG(P0)GO TO 8164
8158 PLOT(3, D(0), S9, 0, 8)\PLOT(3, (D(0)+.01), S9, 0, 0)
8160 TEXT(1, 1)"S'C"\PLOT(3, D(0), S9, 0, 0)
8162 GO TO 8168
8164 PLOT(3, D7, S9, 1, 8)\PLOT(3, (D7+.01), S9, 0, 0)
8166 TEXT(1, 1)"S'C"\PLOT(3, D7, S9, 0, 0)
8168 PLOT(3, D6, S(A4), 1, 0)
8170 SCALE(0, 0, 38, 0, 28)
8172 PLOT(0, 6, 20, 0, 0)
8174 TEXT(2, 1)F$ \TEXT(1, 1)S$
8176 TEXT(1, 1)"COMPRESSIBILITE"\IF A7=1G0 TO 8186
8178 TEXT(1, 1)"CC1 =", FMT("E", 9)2.3*F1
8180 TEXT(1, 1)"CC2 =", 2.3*C1\IF A9=1G0 TO 8184
8182 TEXT(1, 1)"CC3 =", 2.3*C3
8184 TEX9)"S'C =", FMT("F", 6, 2) EXP(S9)
8186 PLOT(0, 0, 0, 0, 0)
8188 GOSUB 8900
8190 RETURN

```

```

8 500 REM-TRACE AXE Y : GRAD, IBREGULIERE
8 502 DEF FNA(Z)=E1*LOG(Z)+E2*SQR(Z)+E3*SIN(Z)+E4*COS(Z)
8 505 PLOT(I1,(I2+I3),I4,0,0)
8 510 READ M8
8 515 FOR K=0 TO M8
8 520 READ Z\I5=FNA(Z)
8 525 PLOT(I1,(I2+I3),I5,1,8)
8 530 PLOT(I1,(I2+I3/2),(I5-I6),0,0)
8 535 TEXT(1,I2)FMT("A")Z
8 540 PLOT(I1,(I2+I3),I5,0,0)
8 545 NEXT K
8 550 PLOT(I1,(I2+I3),I7,1,0)
8 555 PLOT(I1,(I2+I3/2),I8,0,0)
8 560 TEXT(1,I2)T8
8 565 RETURN
8 600 REM-TRACE AXE X : GRAD, REGULIERE
8 605 PLOT(I1,(I2+I4),I5,0,0)
8 610 FOR Y=(I2+2*I4) TO (I3-2*I4) STEP I4
8 615 PLOT(I1,Y,I5,1,7)
8 625 TEXT(1,I2)FMT("A")Y
8 630 PLOT(I1,Y,I5,0,0)
8 635 NEXT Y
8 640 PLOT(I1,(I3-I4),I5,1,0)
8 645 PLOT(I1,(I3-I4-D1),I6,0,0)
8 650 TEXT(1,I2)T8
8 655 RETURN
8 900 REM-DEPOULEMENT DU PAPIER
8 905 DELAY(100,LINE 8920)
8 910 RETURN
8 920 DIGOUT#0:(6,1)
8 925 DELAY(46,LINE 8940)
8 930 RETURN
8 940 DIGOUT#0:(6,0)
8 945 RETURN
9 000 REM- AJUSTEMENT PAR LA MMC
9 010 FOR I=0 TO 0
9 012 R1(I,0)=0\R1(I,0)=0\R2(I)=0
9 014 F1=2*0-I\F2=0-I
9 016 FOR J=G1 TO G2
9 018 R1(I,0)=R1(I,0)+(P(J,2)*F1)
9 020 IF F2=0GO TO 9026
9 022 R1(I,0)=R1(I,0)+(P(J,2)*F2)
9 024 R2(I)=R2(I)+P(J,0)*(P(J,2)*F2)\GO TO 9028
9 026 R1(I,0)=R1(I,0)+I\R2(I)=R2(I)+F(J,0)
9 028 NEXT J\nEXT I
9 030 FOR I=1 TO 0
9 034 Z1=I
9 036 FOR J=0 TO I-1
9 038 Z1=Z1-I\Z2=J+I\R1(Z1,Z2)=R1(I,0)
9 040 NEXT J
9 041 NEXT I
9 042 O1=0-I
9 044 FOR I=1 TO O1
9 046 Z2=0\Z1=I\O1=O1-I
9 048 FOR J=0 TO O1
9 050 Z2=Z2-I\Z1=Z1+I\R1(Z1,Z2)=R1(I,0)
9 052 NEXT J
9 053 NEXT I
9 054 O=0+I\GOSUB 9100
9 056 O=0-2\RETURN
9 100 REM- SE GAUSS
9 102 FOR K=0 TO 0-2\I=K+I\N=P=K
9 106 IF ABS(R1(I,K))<ABS(R1(P,K))GO TO 9108 \N=I
9 108 IF I>0-1GO TO 9110 \I=I+1\GO TO 9106
9 110 IF R1(P,K)=0GO TO 9150 \IF P=KGO TO 9120
9 112 FOR J=K TO 0-I

```

```
9114 F=R1(K,J)\R1(K,J)=R1(P,J)\R1(P,J)=F
9116 NEXT J
9118 F=E2(K)\R2(K)=E2(P)\R2(P)=F
9120 FOR I=K+1 TO C-1
9122 F=R1(I,K)/R1(K,K)\R1(I,K)=E
9124 FOR J=K+1 TO C-1
9126 R1(I,J)=R1(I,J)-F*R1(K,J)
9128 NEXT J
9130 R2(I)=R2(I)-F*R2(K)
9131 NEXT I
9132 NEXT K
9133 IF R1(C-1,C-1)=EGD TO 9150
9134 R3(C-1)=R2(C-1)/R1(C-1,C-1)
9136 FOR I=C-2 TO 0 STEP -1
9138 F=E
9140 FOR J=C-1 TO I+1 STEP -1\F=F-(R1(I,J)*R3(J))\NEXT J
9142 IF R1(I,I)=EGD TO 9150
9144 R3(I)=(R2(I)+F)/R1(I,I)
9146 NEXT I
9148 RETURN
9150 PRINT "RESOLUTION DU SYSTEME IMPOSSIBLE"
9152 Y0=Y2+1\A7=1\RETURN
```

I.N.S.A. - M. 635 - ESSAI : OEDOM 007 75

ESSAI : OEDOM 007 75

I . N . S . A .

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ESSAI DE COMPRESSIBILITE

ECHANTILLON : ARGILE VERTE N.2 DATE : 10 10 76

CONTRAINTES	LOG(S)	E
0.23	-2.079	0.596
0.12	-1.478	0.507
0.23	-0.693	0.505
0.50	0.002	0.502
1.00	0.693	0.496
2.00	1.386	0.503
4.00	2.079	0.505
2.00	0.693	0.509
1.00	0.002	0.509
0.50	-0.693	0.545
0.23	-1.472	0.562
0.13	-2.090	0.870
0.23	-1.470	0.572
0.50	-0.693	0.814
1.00	0.002	0.815
2.00	0.693	0.841
4.00	1.386	0.831
0.60	2.079	0.783
1.21	2.752	0.755
10.00	2.780	0.734
10.00	2.670	0.730
0.23	1.286	0.755
0.30	0.693	0.772
1.00	0.002	0.737
0.50	-0.693	0.824
0.23	-1.472	0.519
0.12	-2.079	0.530

ESSAI OEDOMETRIQUE

\*\*\*\*\*

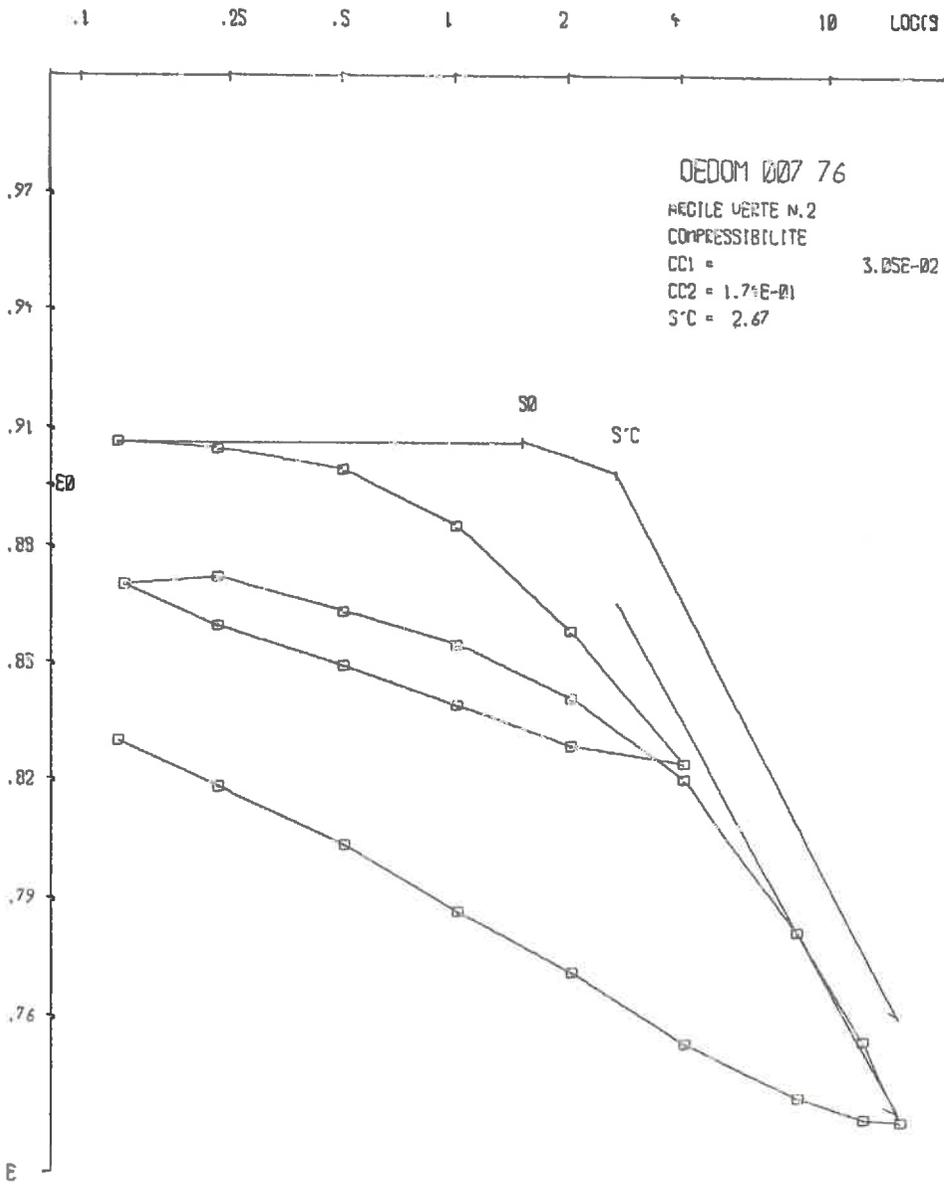
DATE : 10 10 76

ECHANTILLON : ARGILE VERTE N.2

DIAMETRE ECHANTILLON : 7.00  
 HAUTEUR INITIALE : 1.00  
 POIDS SEC DE L'ECH. : 63.33  
 TENUE EN EAU APRES ESSAI : 37.30

OPERATEUR :

CCI = 3.65E-02  
 CC2 = 1.74E-01  
 C.C = 0.67



## ANNEXE 5

### PROGRAMME TRIAX. ES. S.

Description du programme.....	5-1
Organigramme.....	5-2
Listing.....	5-6
Exemple de sortie.....	5-9

DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : TRIAX.ES.S.

Type : secondaire de niveau 2. Adresse de départ 50000. Clé de commande 1.

Taille mémoire utilisée :

Fonctions réalisées :

. Acquisition automatique sur essai triaxial. Le programme calcule l'intervalle de temps séparant deux scrutations en fonction de l'écart de déformation et de la vitesse choisis.

. A chaque scrutation, les mesures de déplacement, force, pression interstitielle (essais U.U. et C.U.), pression hydrostatique et variation de volume (essai C.D.) sont effectuées. Les grandeurs physiques sont calculées et les résultats perforés sur bande.

. Lorsque l'essai est "normal" les choix de gamme de vitesse et des lois d'étalonnage des capteurs sont automatiques.

. Le programme édite le code d'identification et toutes les caractéristiques de l'essai, la bande de données est directement exploitable.

. La mise en route et l'arrêt de la presse se font automatiquement au début et à la fin de l'essai (choix de gamme et démarrage-arrêt).

. Une procédure de redémarrage automatique après coupure de courant remet la presse en route et relance le cycle de mesure.

Données à introduire :

- Essai normal (A $\mathcal{E}$ ), type d'essai (D $\mathcal{E}$ )
- Eventuellement les lois d'étalonnage des capteurs (si A $\mathcal{E}$  = non)
- Numéro de l'essai et du cisaillement (O6,N9), nom de l'échantillon (C $\mathcal{E}$ )
- Intervalle de mesure (D9), déformation maximale (D8), Vitesse (D7)
- Pression hydrostatique (S3)
- Caractéristiques de l'échantillon : dimensions (Y1,Y2), variation de volume pendant la consolidation (Y3), poids humide (Y4), teneur en eau (Y5).

Toutes les demandes d'introduction de données sont formulées en clair sur le terminal (voir page 9).

Résultats fournis :

- Identification de la bande.
- Caractéristiques de l'essai : type, pression hydrostatique, dimensions, variation de volume, poids et teneur en eau de l'échantillon.
- Mesures de déformations (cm), force (kgf), pressions interstitielle et hydrostatique (bar), et variation de volume (cm<sup>3</sup>) en face du temps (en secondes), les diminutions de hauteur et de volume sont comptées positivement.

Fonctionnement pratique :

. Le programme est appelé par la clé 1. Il suffit ensuite de répondre aux questions posées.

. Après autorisation de démarrage, l'essai se déroule entièrement automatiquement. A la fin la presse est arrêtée et le programme est en attente.

. Si un autre cisaillement doit être effectué immédiatement après, on laisse la clé 1 abaissée, on revient alors au début de la partie conversationnelle. Sinon on relève la clé et le contrôle est redonné à la boucle d'attente principale.

Observations :

Il existe un second programme très voisin TRIAX.ES.L. qui est adapté aux essais de longue durée. Il présente, par rapport à celui-ci deux différences :

- un contrôle de la force et de la pression hydrostatique est effectué toutes les trente secondes, en cas d'anomalie l'essai est arrêté et un message d'erreur est affiché. Il est possible de reprendre le cycle de mesure après une intervention.

- l'attente entre deux mesures se fait sur la boucle principale et non à l'intérieur du programme. TRIAX.ES.L. est donc un programme secondaire de niveau 1. Ceci permet d'appeler l'exécution d'autres programmes pendant le cycle de mesure.

Essai normal et type d'essai  
(UU, CU, CD)

Choix et attribution des lois  
d'étalonnage des capteurs

Numéro d'essai  
Numéro de cisaillement

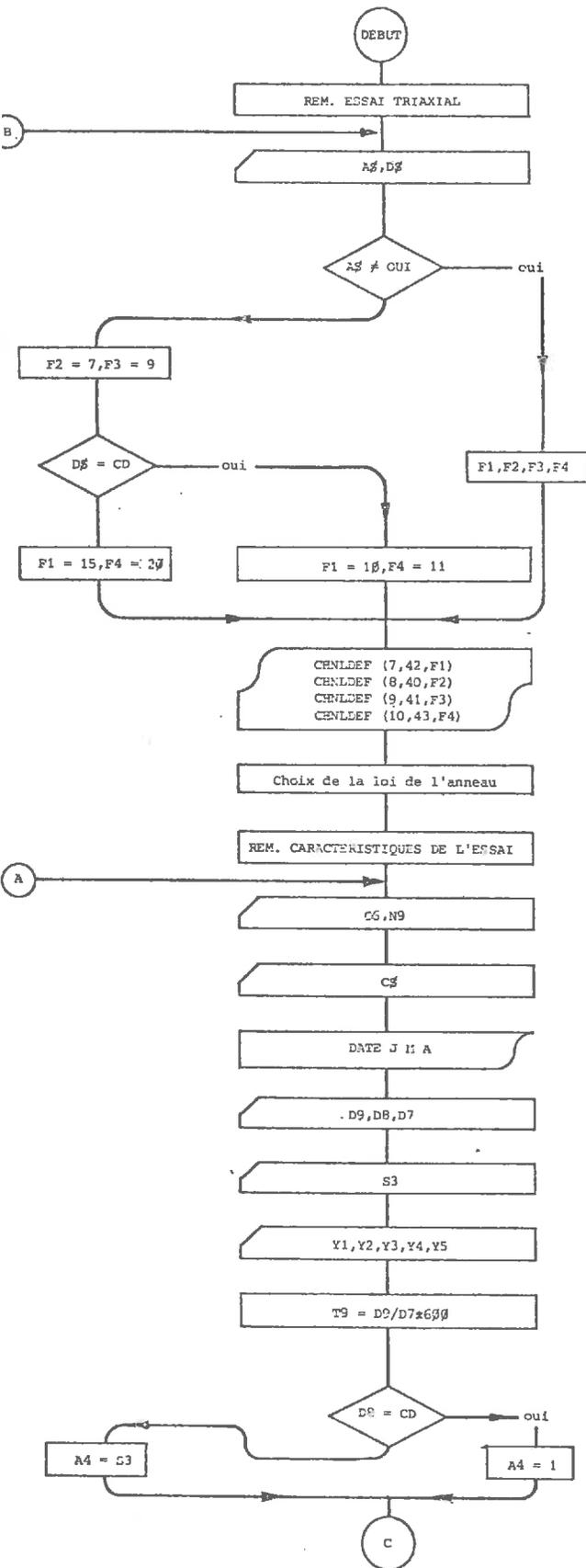
Nom de l'échantillon

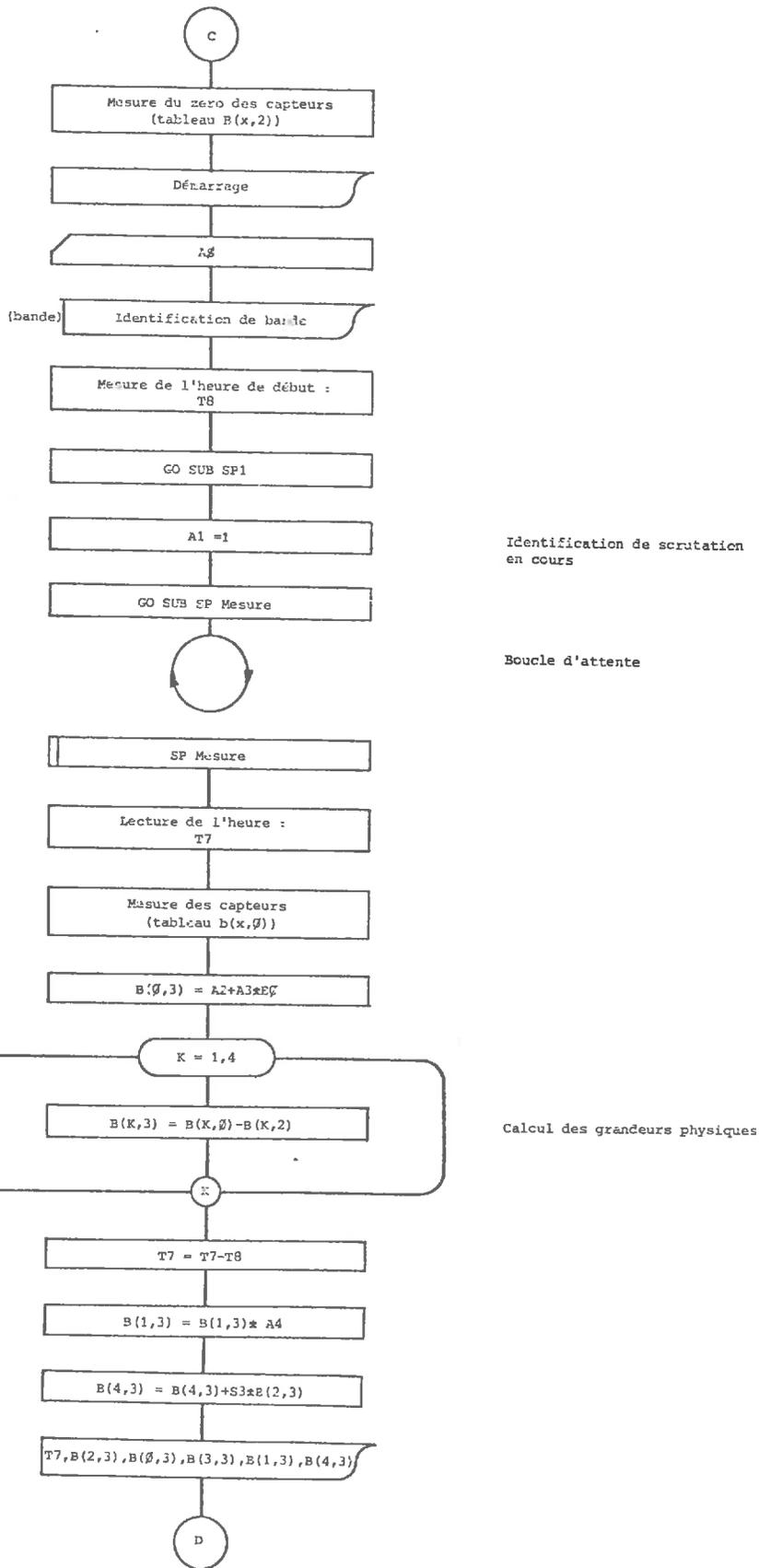
Intervalle de mesure  
Déformation maximale  
Vitesse de déformation

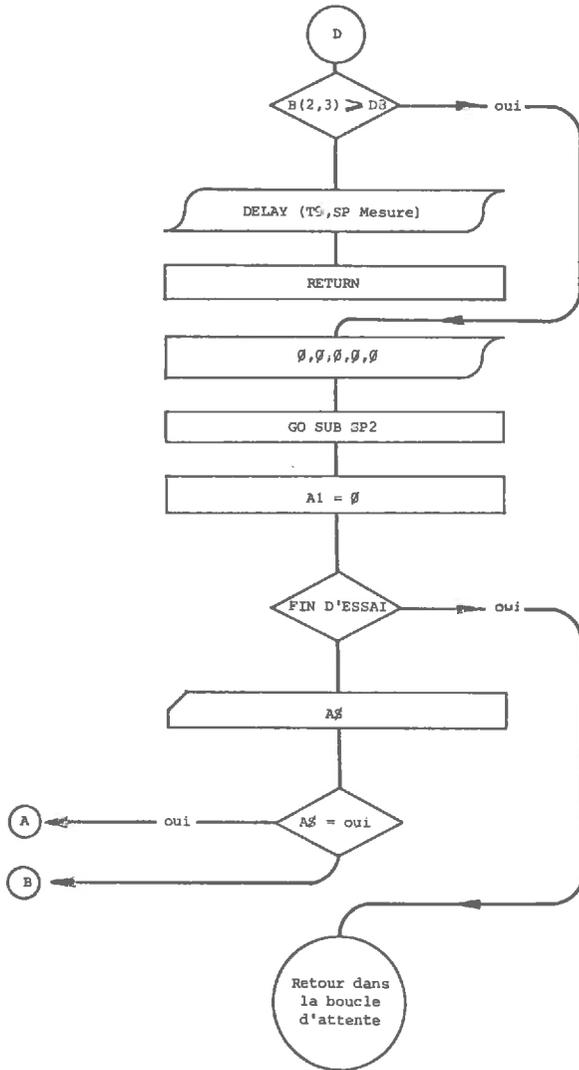
Pression hydrostatique

Caractéristiques de l'échantillon

Intervalle de scrutation







SP1 : Mise en route de la presse
SP2 : Arrêt de la presse

```

5 REM- PROGRAM "TRIAX ES S"
50 DIM B(4,3)
52 O7=0
1350 IF A1=1G0 TO 6000
1999 REM-. SP MISE EN ROUTE DE LA PRESSE
2000 IF L1=0 THEN 2002 \GO TO 2005
2002 O=0\GO TO 2010
2005 LET O=1
2010 DIGOUT#0:(0,1)
2011 Q=0
2012 Q=Q+1\IF Q<50 THEN 2012
2015 DIGOUT#0:(0,0)
2020 IF L2=0 THEN 2022 \GO TO 2025
2022 O=2\GO TO 2030
2025 LET O=3
2030 DIGOUT#0:(0,1)
2031 Q=0
2032 Q=Q+1\IF Q<50 THEN 2032
2035 DIGOUT#0:(0,0)
2040 RETURN
2099 REM-. SP ARRET DE LA PRESSE
2100 DIGOUT#0:(4,1)
2113 Q=0
2114 Q=Q+1\IF Q<50GO TO 2114
2115 DIGOUT#0:(4,0)
2125 RETURN
2199 REM- REGLAGE ALIM ET ETALONNAGE ANNEAU DYN.
2200 PRINT "REGLER L'ALIM. A :", FMT("F",6,2)11;"MA"
2233 INPUT AS
2234 MEASURE(V,30)\U0=V
2235 DIGOUT#0:(7,1)
2236 Q=0
2237 Q=Q+1\IF Q<50GO TO 2237
2239 MEASURE(V,30)\U1=V
2240 DIGOUT#0:(7,0)
2248 RETURN
2250 E0=10:4*(V0-U0)/(U1-U0)
2254 E2=INT(E0+.5)
2258 RETURN
5000 PRINT NLN(3)
5010 PRINT TAB(20),"ESSAI TRIAXIAL",NLN(2)
5100 PRINT NLN(2)
5110 PRINT "S'AGIT-IL D'UN ESSAI NORMAL ?",TAB(35),
5115 INPUT AS
5116 PRINT "TYPE D'ESSAI (UU,CU,CD) ?",TAB(35),
5117 INPUT D$
5120 IF AS<>"OUI"GO TO 5150
5122 F2=7\F3=9
5125 IF D$="CD"GO TO 5140
5130 F1=15\F4=20
5135 GO TO 5200
5140 F1=10\F4=11
5145 GO TO 5200
5150 F1=0\F2=7\F3=0\F4=0
5200 CHNLDEF#0:(7,42,F1,0)
5210 CHNLDEF#0:(3,40,F2,0)
5220 CHNLDEF#0:(9,41,F3,0)
5230 CHNLDEF#0:(10,43,F4,0)
5240 PRINT "N. DE L'ANNEAU ?",TAB(35),
5242 INPUT Z\IF Z=1G0 TO 5250
5244 A2=.562\A3=.105
5246 I1=2\GO TO 5254
5250 A2=1.09\A3=.137
5252 I1=4
5254 GOSUB 2200
5290 CHNLDEF#0:(6,30,0,0)

```

```

5300 REM-CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI
5305 PRINT NLN(2)
5310 PRINT "NUMERO DE L'ESSAI ?", TAB(35),
5315 INPUT O6
5317 PRINT "NUMERO DU CISAILLEMENT ?", TAB(35),
5319 INPUT N8
5320 PRINT "TYPE DE SOL?", TAB(35),
5325 INPUT C$
5330 RDATE(J,M,A)\PRINT "DATE.:", FMT("I", 3)J,M,A, NLN(2)
5335 PRINT "INTERVALLE DE MESURE (CM) ?", TAB(50), \INPUT D9
5336 PRINT "DEFORMATION MAXIMALE (CM) ?", TAB(50), \INPUT D8
5337 PRINT "VITESSE DE DEFORMATION IMPOSEE (MM/MN) ?", TAB(50), \INPUT D7
5339 PRINT NLN(1)
5340 PRINT "PRESSION HYDROSTATIQUE (BARS) ?", TAB(50), \INPUT S3
5342 PRINT "DIM. INITIALES DE L'ECH. : H, D (CM) ?", TAB(50),
5343 INPUT Y1,Y2
5344 PRINT "VAR. DE VOL. APRES CONSOLIDATION (CM3) ?", TAB(50), \INPUT Y3
5346 PRINT "POIDS INITIAL HUMIDE (G) ?", TAB(50), \INPUT Y4
5348 PRINT "TENEUR EN EAU INITIALE (%) ?", TAB(50), \INPUT Y5
5350 PRINT NLN(2)
5355 T9=(D9/D7*600)
5360 IF D3="CD"GO TO 5370
5365 A4=S3\GO TO 5500
5370 A4=1
5500 PRINT "MESURE DU ZERO DES CAPTEURS", TAB(35),
5510 INPUT A$
5514 IF N9=1GO TO 5514.\N9=1
5515 LOGSCAN(B(1,2),B(1,1),7,10,LINE 5520 )
5517 G=0
5518 IF G=0GO TO 5518 \GO TO 5525
5520 G=1\N9=0\RETLRN
5525 PRINT "DEMARRAGE : METTRE PERFO EN ROUTE ", TAB(35),
5530 INPUT A$
5531 REM- EDITION CODE D'IDENTIFICATION
5532 PRINT NLN(2)
5535 PRINT #07:RPT(100,0); "MDS TRIAX"; FMT("I", 4)06; FMT("I", 3)A; " B";
5536 PRINT #07: FMT("I", 1)N8
5537 PRINT #07: C; FMT("I", 3)J,M,A
5539 PRINT #07: L; FMT("F", 7,2) S3, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5
5540 RTIME(H,M1, S1)\T8=86400*J+3600*H+60*M1+S1
5542 L2=0\IF D3="CD"GO TO 5544
5543 L1=0\B(1,2)=0\GO TO 5545
5544 L1=1
5545 GOSUB 2000
5547 A1=1
5550 GOSUB 5700
5560 GO TO 5560
5600 DELAY(T9,LINE 5700 )
5610 RETURN
5699 REM- SP MESURE
5700 IF N9=1GO TO 5700 \N9=1
5705 RDATE(J,M,A)\RTIME(H,M1, S1)\T7=86400*J+3600*H+60*M1+S1
5710 LOGSCAN(B(0,0),B(0,1),6,10,LINE 5730 )
5715 G=0
5720 IF G=0GO TO 5720 \IF G=2GO TO 5900
5725 GOSUB 5600
5727 RETURN
5730 V0=B(0,0)
5731 N9=0
5735 GOSUB 2250
5740 B(0,3)=A2+A3*E0
5745 FOR K=1 TO 4\B(K,3)=B(K,0)-B(K,2)\NEXT K
5747 T7=T7-T8
5748 B(1,3)=B(1,3)*A4
5750 PRINT #07: FMT("I", 7)T7, FMT("F", 8, 3)B(2,3), FMT("F", 9, 2)B(0,3),
5752 PRINT #07: FMT("F", 8, 3)B(3,3), B(1,3), B(4,3)

```

```
5755 IF B(2,3)>=D8GO TO 5760 \G=1\GO TO 5765
5760 G=2
5765 RETURN
5899 REM- .CODE DE FIN DE CISAILLEMENT
5900 PRINT #07:"      0  0.000      0.00  0.000  0.000  0.000"
5901 PRINT #07:RPT(100,0),
5910 GOSUB 2100
5912 A1=0
5915 PRINT NLN(3);"FIN DU CISAILLEMENT"
5920 PRINT "FIN D'ESSAI : OUVRIR L'INTER. 1",TAB(45),
5925 INBUF(4,LINE 5940 )
5927 G1=0.
5930 IF G1=0GO TO 5930 \IF G1=1GO TO 100 \IF G1=2GO TO 5100 \GO TO 5300
5940 RDBUF(A$).
5945 DIGIN#0:(1,S)\IF S=1GO TO 5950 \G1=1\RETURN.
5950 PRINT "NOUVEL ESSAI IDENTIQUE AU PRECEDENT ?",TAB(45),
5955 INPUT A$
5960 IF A$="OUI"GO TO 5970
5965 G1=2\RETURN
5970 G1=3\RETURN
6000 GOSUB 2000
6004 GOSUB 5700
6006 GO TO 5560
```

## ESSAI TRIAXIAL

S'AGIT-IL D'UN ESSAI NORMAL ? OUI  
 TYPE D'ESSAI (CU, CU, CD) ? CU  
 N. DE L'ANNEAU ? 1  
 REGLER L'ALIM. A : 4.00MA  
 OUI

NUMERO DE L'ESSAI ? 5  
 NUMERO DU CISAILLEMENT ? 1  
 TYPE DE SOL ? LIMON DE LA VALIERE  
 DATE : 22 4 77

INTERVALLE DE MESURE (CM) ? .05  
 DEFORMATION MAXIMALE (CM) ? 2.5  
 VITESSE DE DEFORMATION IMPOSEE (MM/MN) ? .25

PRESSION HYDROSTATIQUE (BARS) ? .5  
 DIM. INITIALES DE L'ECH. : H, D (CM) ? 10.19, 4.89  
 VAR. DE VOL. APRES CONSOLIDATION (CM3) ? 7.5  
 POIDS INITIAL HUMIDE (G) ? 381.3  
 TENEUR EN EAU INITIALE (%) ? 25.84

MESURE DU ZERO DES CAPTEURS OUI  
 DEMARRAGE : METTRE PERFO EN ROUTE OUI

MDS TRIAX 5 77 B1

LIMON DE LA VALIERE 22 4 77

CU	0.50	10.19	4.89	7.50	381.30	25.84
. 0	-0.000	1.23	0.202	0.500	0.000	
125	0.044	5.88	0.238	0.500	0.000	
250	0.090	8.21	0.268	0.500	0.000	
375	0.136	9.86	0.293	0.500	0.000	
499	0.182	10.95	0.312	0.500	0.000	
623	0.232	11.78	....			
		...	0.428	0.500	0.000	
6226	2.464	15.75	0.428	0.500	0.000	
6351	2.516	15.75	0.430	0.500	0.000	
0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	

FIN DU CISAILLEMENT

FIN D'ESSAI : OUVRIR L'INTER. 1 OUI  
 NOUVEL ESSAI IDENTIQUE AU PRECEDENT ? OUI

## ANNEXE 6

### PROGRAMME TRIAX.TR. 1

Description du programme.....	6-1
Organigramme.....	6-3
Listing.....	6-6
Exemples de sorties.....	6-10

## DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : TRIAX.TR.1

Type : secondaire de niveau 2. Adresse de départ 30000. Clé de commande 0.

Capacité mémoire utilisée :

Fonctions réalisées :

. Etablit le tableau de résultats finaux pour chaque cisaillement : calcul de déformation en %, du déviateur  $\sigma_1 - \sigma_3$ , du rapport des contraintes principales effectives  $\sigma'_1 / \sigma'_3$ , de la variation de volume en % et du coefficient de Skempton A.

. Trace les courbes représentatives de l'essai : pour les essais U.U. et C.U., un diagramme U,Q en fonction de  $\Delta L$  et un diagramme R/ $\Delta L$ , pour les essais C.D. des diagrammes Q/ $\Delta L$ ,  $\Delta V / \Delta L$  et au choix R/ $\Delta L$  ou U/ $\Delta L$ . Tous ces diagrammes sont titrés et annotés automatiquement. L'avancement du papier de la table est automatique.

. Edite une page de garde qui regroupe les caractéristiques des différents cisaillements.

Données à introduire :

. Toutes les données se trouvent sur la bande issue de TRIAX.ES. (S. ou L.).

. Les bandes de différents cisaillements sont séparées par le mot clé "CONT", la fin de l'essai est marquée par "FIN". Il peut y avoir jusqu'à six cisaillements pour un essai.

. Il est possible de chaîner les bandes de plusieurs essais.

Résultats fournis :

Voir exemples de sorties en pages 10, 11, 12.

Légende :

- T : temps en secondes
- Def.: variation relative de hauteur en %
- Q : déviateur  $\sigma_1 - \sigma_3$  en bars
- R : rapport des contraintes effectives  $\sigma'_1 / \sigma'_3$
- U : pression interstitielle en bars
- DV% : variation de volume en %
- Coef A : coefficient A de Skempton

Fonctionnement pratique :

Le traitement est entièrement automatique.

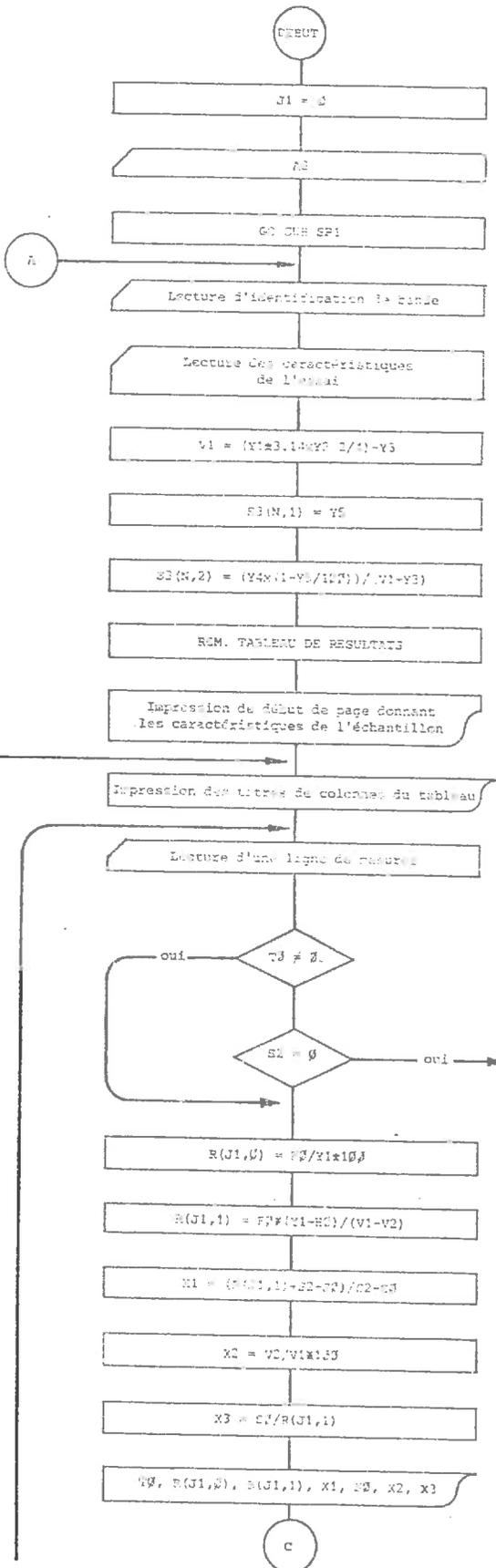
Observations :

Un second programme de traitement TRIAX.TR.2 a la même structure que celui-ci mais il calcule les grandeurs P et Q au lieu de Q,R,U.

P = pression moyenne  $(\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$

Q = déviateur  $(\sigma_1 - \sigma_3)$

Les courbes P.Q. de chaque cisaillement sont tracées sur un seul diagramme en fin de traitement (voir page 13).



Identificateur de choix de tracé de courbe

S1(N,1) = pression hydrostatique  
 Y1 = hauteur de l'échantillon  
 Y2 = diamètre de l'échantillon  
 Y3 = V de consolidation  
 Y4 = poids total humide  
 Y5 = teneur en eau  
 Volume initial

Masse volumique sèche initiale

T3 = temps  
 R0 = déformation axiale  
 F7 = force  
 S3 = pression interstitielle  
 S2 = pression hydrostatique  
 V2 = variation de volume

Test de fin de tableau

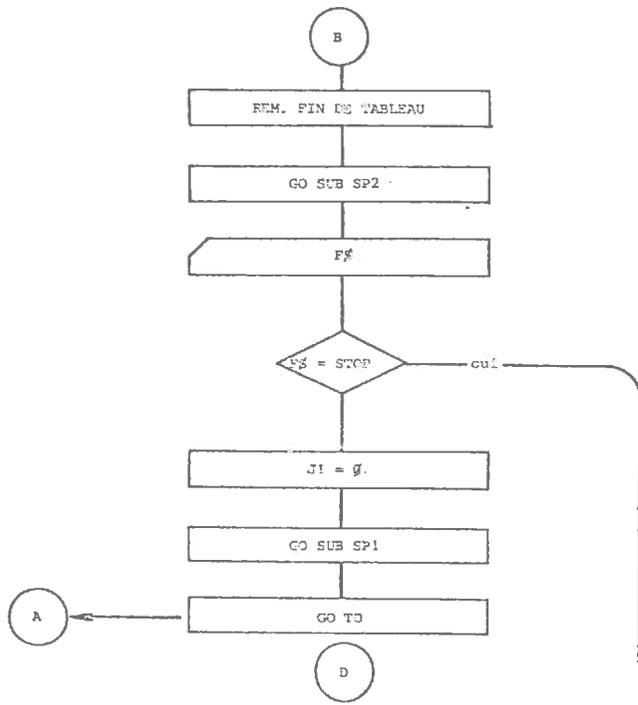
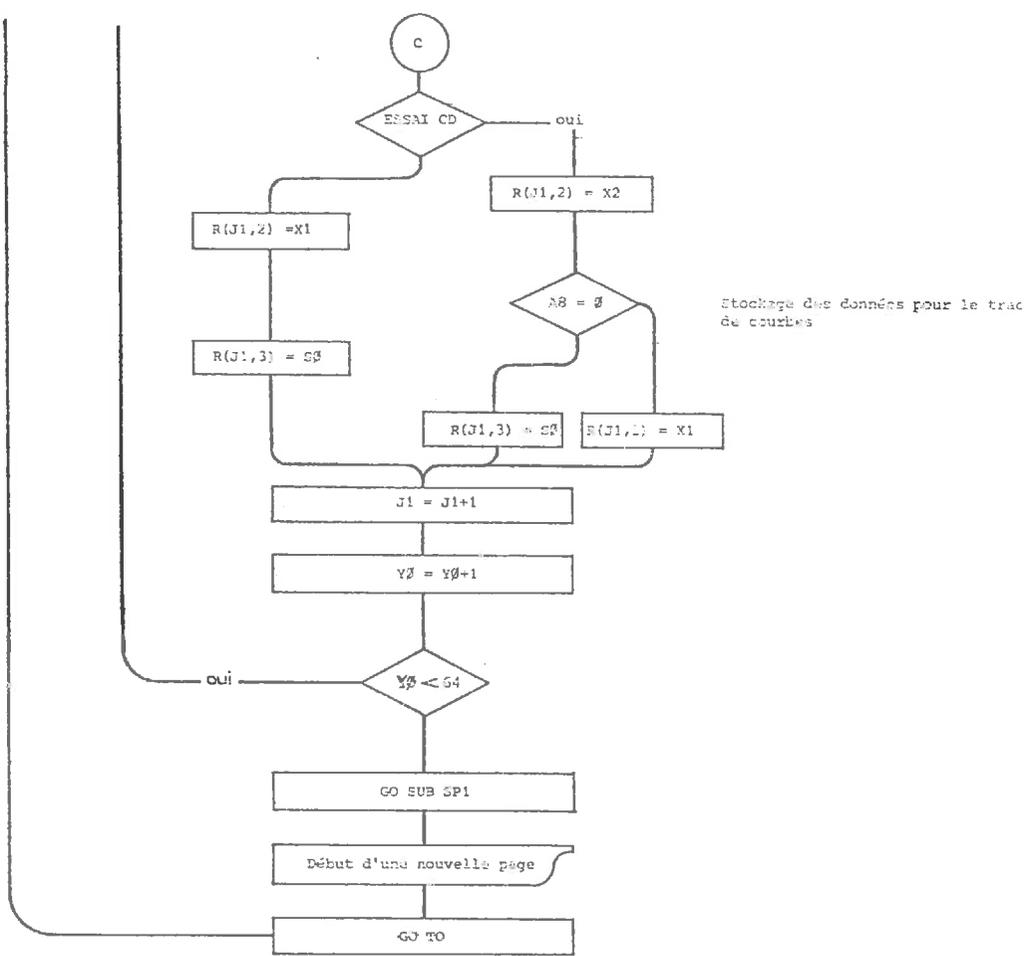
Déformation relative

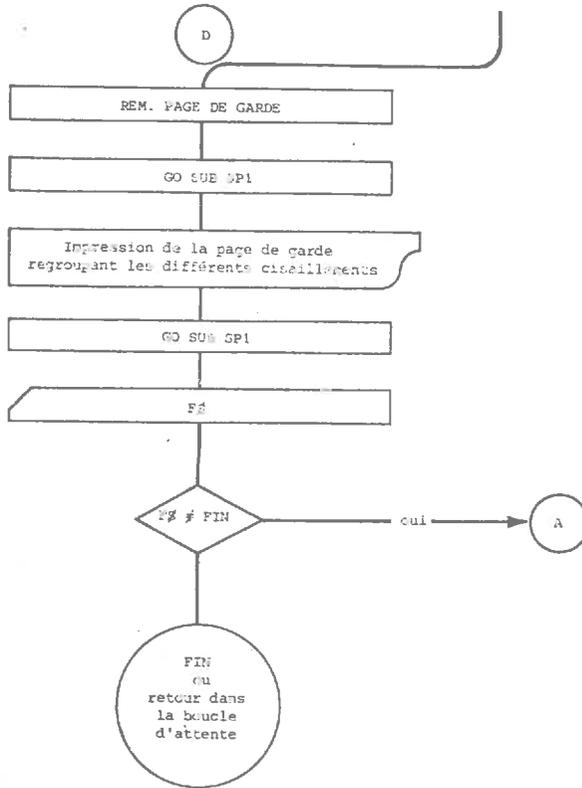
Déviateur

Rapport des contraintes principales effectives

Variation de volume

Coefficient A





SP1 : tableau du format 21x29,7  
et séparation de page

SP2 : tracé automatique de courbe

```

5 REM- PROGRAM. "TRIAx TR 1"
30 DIM S3(5,2),F(60,3)
31 O5=0
32 PPINT FMT("I",4)
35 GO TO 3000
100 STOP
2899 REM- SP DE PAGINATION AUTOMATIQUE
2900 Z=60-Y0
2905 IF Z<1GO TO 2915
2910 PRINT RPT(Z,10),RPT(70,45)
2913 GO TO 2920
2915 PPINT RPT(70,45)
2920 RETURN
3000 REM- TRIAX TR.1
3002 J1=0
3003 PRINT "ESSAI CI : TRACE DE R =0 ;TRACE DE U =1"\INPUT A8
3004 Y2=65\GOSUB 2900
3005 INPUT #1:F5\ES=SEG$(F5,4,17)
3007 N=VAL(SEG$(F5,19,19))-1
3009 INPUT #1:F5
3010 Z=LEN(F5)\S5=SEG$(F5,1,(Z-8))
3012 ES=SEG$(F5,(Z-8),Z)\AS="DATE : "\LS=AS&DS
3014 INPUT #1:F5
3016 TS=SEG$(F5,1,2)\S3(N,0)=VAL(SEG$(F5,3,9))\Y1=VAL(SEG$(F5,10,16))
3018 Y2=VAL(SEG$(F5,17,23))\Y3=VAL(SEG$(F5,24,30))
3019 Y4=VAL(SEG$(F5,31,37))\Y5=VAL(SEG$(F5,38,44))
3020 V1=(Y1*3,14159*Y2*2/4)-Y3
3022 S3(N,1)=Y5\S3(N,2)=(Y4*(1-Y5/100))/(V1+Y3)
3030 REM- TAELFAU DE RESULTATS
3031 Y0=23
3032 PRINT #05:NLN(3);"I.N.S.A. - M.D.S. -",TAB(43),"ESSAI :",
3034 PRINT #05:TAB(55),ES,NLN(3);TAB(20),"ESSAI TRIAXIAL",NLN(1),
3036 PRINT #05:TAB(20),PPT(14,45),NLN(4);"ECHANTILLON :",TAB(15),
3038 PRINT #05:SS,TAB(43),ES,NLN(2);"TYPE D'ESSAI :",TAB(30),TS
3039 PPINT #05:"CISAILLEMENT N. :",TAB(30),FMT("I",2)(N+1)
3040 PRINT #05:"PRESSION HYDROSTATIQUE :",TAB(29),FMT("F",6,2),S3(N,0)
3042 PRINT #05:"TENEUR EN EAU INITIALE :",TAB(29),S3(N,1)
3044 PRINT #05:"MASSE VOLUMIQUE SECHE :",TAB(29),S3(N,2)
3046 PRINT #05:NLN(3);TAB(4),"T",TAB(12),"LEF",TAB(24),"Q",
3048 PRINT #05:TAB(33),"R",TAB(42),"U",TAB(50),"DVX",TAB(58),
3049 PPINT #05:"COEF.A",NLN(2)
3050 INPUT #1:F5
3052 T0=VAL(SEG$(F5,1,7))\Z5=SEG$(F5,8,15)\GOSUB 4900
3054 IF Z<0GO TO 3055 \H0=Z\GO TO 3056
3055 H0=0
3056 Z5=SEG$(F5,16,24)\GOSUB 4900
3058 IF Z<0GO TO 3059 \F0=Z\GO TO 3060
3059 F0=0
3060 Z5=SEG$(F5,25,32)\GOSUB 4900
3062 S0=Z\S0=VAL(SEG$(F5,33,40))
3064 Z5=SEG$(F5,41,48)\GOSUB 4900
3066 V2=Z
3068 IF T0<>0GO TO 3070 \IF S0=0GO TO 3100
3070 R(J1,0)=H0/Y1*100\R(J1,1)=F0*(Y1-H0)/(V1-V2)
3071 X1=(R(J1,1)+S0-S0)/ABS(S0-S0)\X2=V2/V1*100
3072 IF R(J1,1)=0GO TO 3073 \X3=S0/R(J1,1)\GO TO 3074
3073 X3=0
3074 PRINT #05:FMT("I",7)T0,TAB(10),FMT("F",6,2)R(J1,0),
3075 PPINT #05:TAB(19),FMT("F",8,3)R(J1,1),TAB(30),FMT("F",6,2)X1,
3076 PRINT #05:TAB(39),FMT("F",6,3)S0,TAB(48),X2,TAB(58),X3
3077 IF TS="CI"GO TO 3080
3078 R(J1,2)=X1\R(J1,3)=S0\GO TO 3084
3080 R(J1,2)=X2\IF A8=0GO TO 3082 \R(J1,3)=S0\GO TO 3084
3082 R(J1,3)=X1
3084 J1=J1+1\Y0=Y0+1
3086 IF Y0=64GO TO 3090 \GO TO 3050

```

```

3090 PRINT #05:NLN(1),TAB(55),".../..."
3092 Y2=66\GOSUB 2900
3094 PPINT #05:NLN(3);"I.N.S.A. - M.D.S. -",TAB(43),"ESSAI :",
3095 PRINT #05:TAB(55),F$,
3096 Y0=8\GO TO 3046
3100 REM-FIN DE TABELAU
3105 GOSUB 8200
3113 J1=0
3114 INPUT #1:F$
3116 IF F$="STOP"GO TO 3150
3117 GOSUB 2900
3118 GO TO 3005
3150 REM- PAGE DE GARDE
3151 GOSUB 2000
3152 PPINT #05:NLN(3);TAB(9),"I . N . S . A .",TAB(43),"ESSAI :",
3154 PPINT #05:TAB(55),F$,NLN(2);"LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS"
3156 PRINT #05:NLN(10);TAB(20),"ESSAI TRIAXIAL",NLN(1),TAB(20),
3158 PRINT #05:RPT(14,42),NLN(5);"ECHANTILLON :",TAB(15),5$,TAB(43),
3160 PRINT #05:F$,NLN(2);"TYPE D'ESSAI :",TAB(30),T$
3162 PPINT #05:NLN(2);TAB(25),"W",TAB(33),"M.VOL.",TAB(45),
3163 PRINT #05:"S3",TAB(53),"S1 RUFT",NLN(2),
3164 Y0=27
3166 FOR J2=0 TO N
3168 PRINT #05:" CISAILLEMENT N.":FMT("I",2)(J2+1),TAB(23),
3169 PRINT #05:FMT("F",6,2),S3(J2,1),TAB(33),S3(J2,2),
3170 PRINT #05:TAB(43),S3(J2,0),TAB(53),"....."
3172 Y0=Y0+1\NEXT J2
3174 PRINT #05:NLN(3);TAB(15),"C =",TAB(35),"C' =",NLN(2),
3175 X=15
3176 PRINT #05:TAB(15),"0 =",TAB(35),"0' =",RPT(1,13),TAB(16),
3177 PRINT #05:"I",TAB(36),"I",NLN(7),TAB(43),"OPERATEUR :"
3178 Y0=Y0+13\GOSUB 2900
3182 INPUT #1:F$IF F$="FIN"GO TO 100
3184 GO TO 3004
4900 L=LEN(Z$)
4910 FOR K=1 TO L\A$=SEG$(Z$,K,K)\IF A$="--"GO TO 4930 \NEXT K
4920 Z=VAL(Z$)\RETURN
4930 Z=VAL(SEG$(Z$,K+1,L))*(-1)\RETURN
8200 REM-TRACE COURBES TRIAX
8202 M1=0\M2=0\M3=0\M4=0\M5=0
8204 FOR K=0 TO J1-1
8205 IF R(K,1)<M1GO TO 8206 \M1=R(K,1)
8206 IF R(K,2)<M2GO TO 8207 \M2=R(K,2)
8207 IF R(K,2)>M3GO TO 8208 \M3=R(K,2)
8208 IF R(K,3)<M4GO TO 8209 \M4=R(K,3)
8209 IF R(K,3)>M5GO TO 8210 \M5=R(K,3)
8210 NEXT K
8211 M1=INT(M1+1)\M2=INT(M2+1)\M3=INT(M3)\M4=INT(M4+1)\M5=INT(M5)
8212 IF T$<>"C"GO TO 8213 \P$="DVZ"\IF A8=0GO TO 8270 \GO TO 8214
8213 P$="R"
8214 AE=-2\BE=INT(R((J1-1),0)+2)\IF M1>M4GO TO 8215 \M1=M4
8215 CE=M5-(M1-M5)/14\DE=M3-(M2-M3)/14
8218 SCALE(1,A0,(2*B0-A0),C0,M1)
8219 SCALE(2,(2*A0-B0),B0,DE,M2)
8220 I1=1\I2=M5-CE\I3=0\I4=0\I5=0\I6=5\I7=.6\I8=0\I9="ELX"
8221 GOSUB 8600 \I1=2\I2=M3-CE\GOSUB 8600
8222 I1=1\I2=2\I3=M5\I4=M1\I7=0\I9="C, U(BARS)"
8223 IF M1-M5>15GO TO 8224 \I6=1\GO TO 8225
8224 I6=5
8225 GOSUB 8700
8226 I1=2\I3=M3\I4=M2\I9=P$
8227 IF M2-M3>15GO TO 8228 \IF M2-M3<=2GO TO 8230 \I6=1\GO TO 8231
8228 IF M2-M3>5GO TO 8229 \I6=5\GO TO 8231
8229 I6=1\GO TO 8231
8230 I6=5
8231 GOSUB 8700

```

```

8232 PLOT(1, R(0, 0), R(0, 1), 0, 0)
8234 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(1, R(K, 0), R(K, 1), 1, 0)\NEXT K
8238 TEXT(1, 0) "C"
8240 PLOT(1, R(0, 0), R(0, 3), 0, 0)
8242 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(1, R(K, 0), R(K, 3), 1, 0)\NEXT K
8244 TEXT(1, 0) "U"
8246 PLOT(2, R(0, 0), R(0, 2), 0, 0)
8248 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(2, R(K, 0), R(K, 2), 1, 0)\NEXT K
8250 SCALE(0, 0, 38, 0, 28)
8251 B1=1\B2=16
8252 GOSUB 8260
8253 B1=30\B2=16
8254 GOSUB 8260
8255 PLOT(0, 0, 0, 0)
8256 D3=46\GOSUB 8900
8258 RETURN
8260 PLOT(0, B1, B2, 0, 0)\TEXT(2, 0); E3
8261 TEXT(1, 0); S3\TEXT(1, 0); D3
8262 TEXT(1, 0); "CISAILLEMENT N. "; FMT("A")(N+1)
8263 TEXT(1, 0); "ESSAI "; T3; " S3="; S3(N, 0)
8264 RETURN
8270 D0=M3-(M2-M3)/14
8271 A0=-2\B0=INT(R((J1-1), 0)+2)
8272 SCALE(1, A0, (2*B0-A0), (-M1/14), M1)
8273 SCALE(2, (2*A0-B0), B0, 0, M2)
8274 SCALE(3, A0, (2*B0-A0), (-M4/14), M4)
8276 I1=1\I2=M1/14\I3=0\I4=B0-1\I5=0\I6=5\DI=0.6\I2=0\O5="DL?"
8277 GOSUB 8600
8278 I1=2\I2=M3-D0\GOSUB 8600
8280 I1=1\I2=2\I3=0\I4=M1\DI=0\O5="Q(BARS)"
8281 IF M1>15GO TO 8282 \I6=1\GO TO 8283
8282 I6=5
8283 GOSUB 8700
8284 I1=2\I3=M3\I4=M2\O5="DV?"\IF M2-M3<=2GO TO 8285 \I6=1\GO TO 8286
8285 I6=.25
8286 GOSUB 8700
8287 PLOT(1, R(0, 0), R(0, 1), 0, 0)
8288 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(1, R(K, 0), R(K, 1), 1, 0)\NEXT K
8289 PLOT(2, R(0, 0), R(0, 2), 0, 0)
8290 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(2, R(K, 0), R(K, 2), 1, 0)\NEXT K
8291 SCALE(0, 0, 38, 0, 28)
8292 B1=1\B2=16\GOSUB 8260
8293 B1=22\B2=26\GOSUB 8260
8294 G=0\ PLOT(0, 0, 0, 0)
8295 I3=46\GOSUB 8900
8296 IF 0=0GO TO 8296
8300 I1=3\I2=M4/14\I3=0\I4=B0-1\I5=0\I6=5\DI=0.6\I2=0\O5="DL?"
8302 GOSUB 8600
8304 I2=2\I4=M4\DI=0\O5="R"
8305 IF M4>15GO TO 8306 \IF M4<=2GO TO 8308 \I6=1\GO TO 8309
8306 IF M4>50GO TO 8307 \I6=5\GO TO 8309
8307 I6=1\GO TO 8309
8308 I6=.25
8309 GOSUB 8700
8310 PLOT(3, R(0, 0), R(0, 3), 0, 0)
8312 FOR K=1 TO J1-1\ PLOT(3, R(K, 0), R(K, 3), 1, 0)\NEXT K
8314 B1=1\B2=16\GOSUB 8260
8315 PLOT(0, 0, 0, 0)
8316 D3=23\GOSUB 8900
8318 RETURN
8600 REM= TRACE AXE X : GRAD REGULIERE
8605 PLOT(I1, I3, I5, 0, 0)
8610 FOR Y=(I3+I6) TO (I4-I6) STEP I6
8615 PLOT(I1, Y, I5, 1, 7)
8620 PLOT(I1, (Y-D1), (I5-I2/2), 0, 0)
8625 TEXT(1, I2) FMT("A")Y

```

```
8630 PLOT(I1,Y,I5,2,0)
8635 NEXT Y
8640 PLOT(I1,I4,I5,1,0)
8645 PLOT(I1,(I4-D1),(I5-I2/2),0,0)
8650 TEXT(1,D2)0$
8655 RETURN
8700 REM- TRACE AXE Y : GRAD REGULIERE
8705 PLOT(I1,I5,I3,0,3)
8710 FOR Y=I3+16 TO (I4-I6) STEP 16
8715 PLOT(I1,I5,Y,1,8)
8720 PLOT(I1,(I5-I2/2),(Y-D1),0,0)
8725 TEXT(1,D2)FMT("A")Y
8730 PLOT(I1,I5,Y,0,0)
8735 NEXT Y
8740 PLOT(I1,I5,I4,1,0)
8745 PLOT(I1,(I5-I2/2),(I4-D1),0,0)
8750 TEXT(1,D2)0$
8755 RETURN
8900 REM- DEROULEMENT DU PAPIER
8905 DELAY(100,LINE 8920 )
8910 RETURN
8920 DIGOUT#0:(6,1)
8925 DELAY(13,LINE 8940 )
8930 RETURN
8940 DIGOUT#0:(6,0)
8945 G=1\RETURN
```

I.N.S.A. - M.D.S. - ESSAI TRIAXIAL 5 77 I.N.S.A. - M.D.S. - ESSAI TRIAXIAL 5 77

ESSAI TRIAXIAL

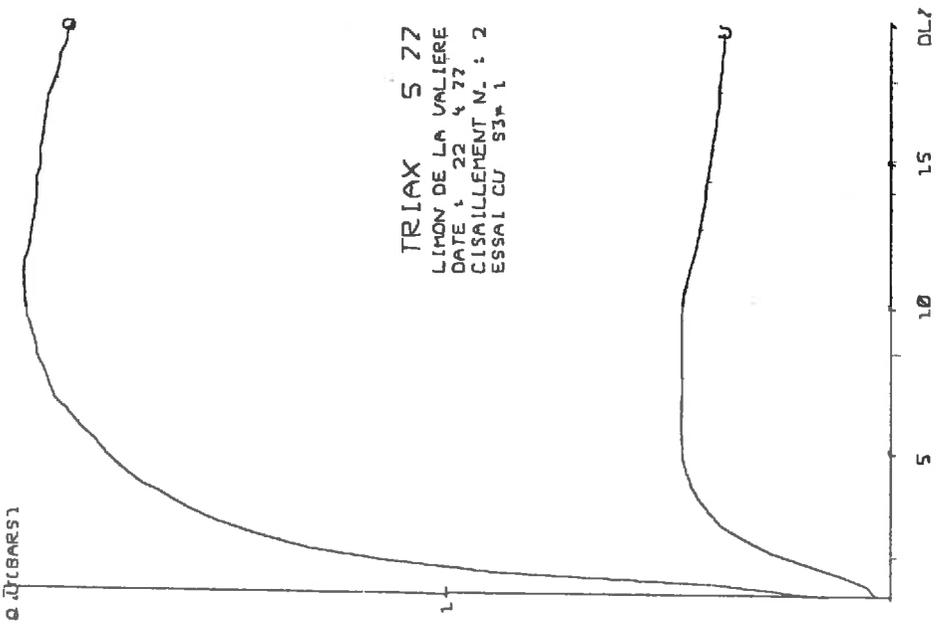
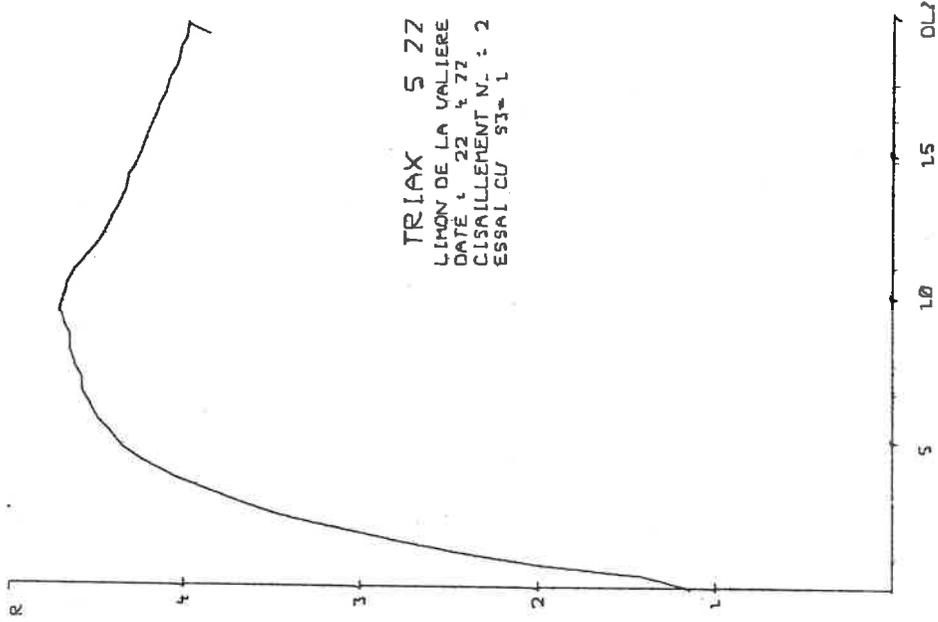
ICHANTILLON : LIMON DE LA VALIERE  
 TYPE D'ESSAI : CU  
 DIAMETRE N° : 2  
 TEMPERATURE HYDROSTATIQUE : 1.00  
 TEMPERATURE PAU. INITIALE : 25.34  
 MASSE VOLUMIQUE SECHE : 1.34

T DEF q R U DVX COEF.A

5106 19.22 1.864 3.99 0.376 0.000 0.282  
 5231 19.50 1.859 3.97 0.375 0.000 0.282

DATE : 22 A 77

T	DEF	q	R	U	DVX	COEF.A
106	8.08	0.139	1.14	0.232	0.000	0.230
250	8.78	0.294	1.42	0.452	0.000	0.132
375	1.18	0.687	2.60	0.116	0.000	0.131
499	1.49	1.137	2.82	0.190	0.000	0.174
623	2.07	1.413	2.81	0.274	0.000	0.209
748	2.66	1.815	3.16	0.356	0.000	0.234
872	3.25	1.522	3.47	0.353	0.000	0.252
997	3.44	1.693	3.72	0.414	0.000	0.268
1122	3.63	1.699	3.93	0.439	0.000	0.266
1247	4.31	1.739	4.11	0.433	0.000	0.267
1371	4.75	1.773	4.56	0.479	0.000	0.266
1495	5.25	1.739	4.66	0.460	0.000	0.264
1619	5.69	1.756	4.50	0.474	0.000	0.266
1744	6.18	1.832	4.56	0.475	0.000	0.266
1868	6.66	1.888	4.53	0.473	0.000	0.266
1992	7.12	1.899	4.58	0.470	0.000	0.267
2117	7.59	1.910	4.60	0.470	0.000	0.266
2241	8.03	1.927	4.65	0.472	0.000	0.265
2366	8.52	1.931	4.68	0.471	0.000	0.264
2490	9.01	1.941	4.70	0.473	0.000	0.264
2615	9.46	1.951	4.73	0.473	0.000	0.262
2739	9.94	1.954	4.73	0.473	0.000	0.262
2864	10.43	1.956	4.66	0.465	0.000	0.260
2989	10.88	1.957	4.62	0.459	0.000	0.234
3113	11.38	1.955	4.55	0.450	0.000	0.230
3238	11.52	1.945	4.49	0.440	0.000	0.223
3362	12.30	1.941	4.44	0.436	0.000	0.225
3486	12.79	1.937	4.40	0.431	0.000	0.223
3610	13.21	1.932	4.36	0.425	0.000	0.220
3735	13.73	1.929	4.30	0.420	0.000	0.210
3859	14.23	1.928	4.31	0.417	0.000	0.216
3984	14.78	1.919	4.26	0.412	0.000	0.215
4109	15.16	1.921	4.23	0.407	0.000	0.211
4233	15.66	1.916	4.20	0.402	0.000	0.210
4358	16.13	1.912	4.17	0.397	0.000	0.208
4483	16.59	1.903	4.14	0.390	0.000	0.206
4608	17.08	1.902	4.16	0.387	0.000	0.203
4732	17.57	1.891	4.08	0.374	0.000	0.204
4857	18.07	1.879	4.04	0.361	0.000	0.203



I . N . S . A .

ESSAI : TRIAX 5 77

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

ESSAI TRIAXIAL  
\*\*\*\*\*

ECHANTILLON : LIMON DE LA VALLIERE

DATE : 22 4 77

TYPE D'ESSAI : CU

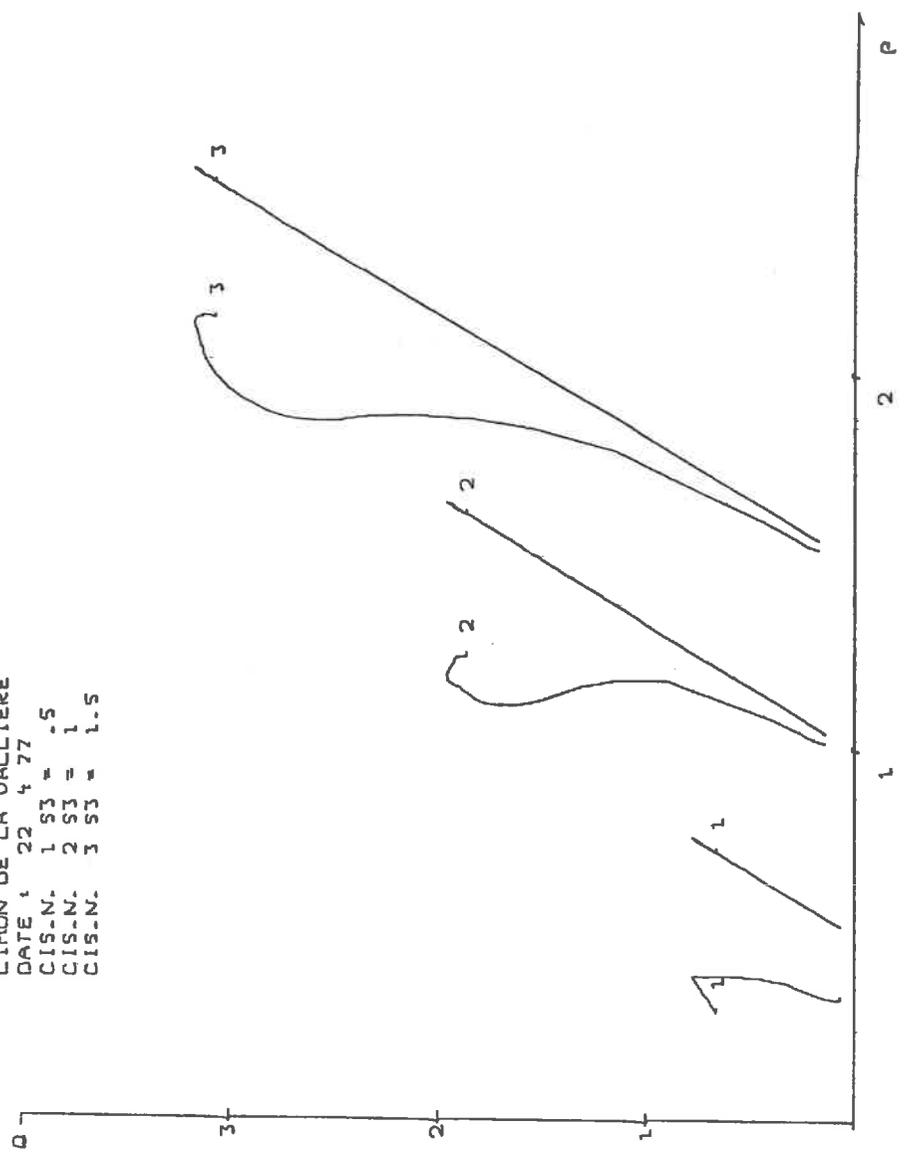
	WZ	M.VOL.	S3	S1 RUPT
CISAILLEMENT N. 1	25.84	1.48	0.50	.....
CISAILLEMENT N. 2	25.84	1.34	1.00	.....
CISAILLEMENT N. 3	25.84	1.46	1.50	.....

C = C' =

Ø = Ø' =

OPERATEUR :

TRIAx 5 77  
LIMON DE LA VALLIERE  
DATE 1 22 4 77  
CIS-N. 1 93 = .5  
CIS-N. 2 93 = 1  
CIS-N. 3 93 = 1.5



## ANNEXE 7

### PROGRAMME TEST. DV.

Description du programme.....	7-1
Organigramme.....	7-2
Listing.....	7-5
Exemple de sortie.....	7-7

## DESCRIPTION DU PROGRAMME

Titre : TEST.DV.

Type : secondaire de niveau 2. Adresse de départ 3000. Clé de commande Ø.

Taille mémoire utilisée :

Fonction réalisée :

. Le programme comporte deux éléments : la partie mesure et la partie traitement.

. Le premier sous-programme exécute une mesure à chaque palier et imprime sur une bande perforée la réponse électrique du capteur en face de la variation de volume imposée.

. Le sous-programme de traitement travaille à partir de la bande précédente. Il calcule les coefficients de la droite la mieux ajustée aux points expérimentaux (méthode des moindres carrés), puis mesure les écarts des points expérimentaux à cette droite. Il extrait les écarts maxima, calcule les écarts moyens en plus et en moins et l'erreur quadratique moyenne.

Données à introduire :

- Partie mesure : à chaque mesure l'incrément de variation de volume ajouté (C2).

- Partie traitement : le nombre de points expérimentaux (NØ) et la bande de données.

Résultats fournis :

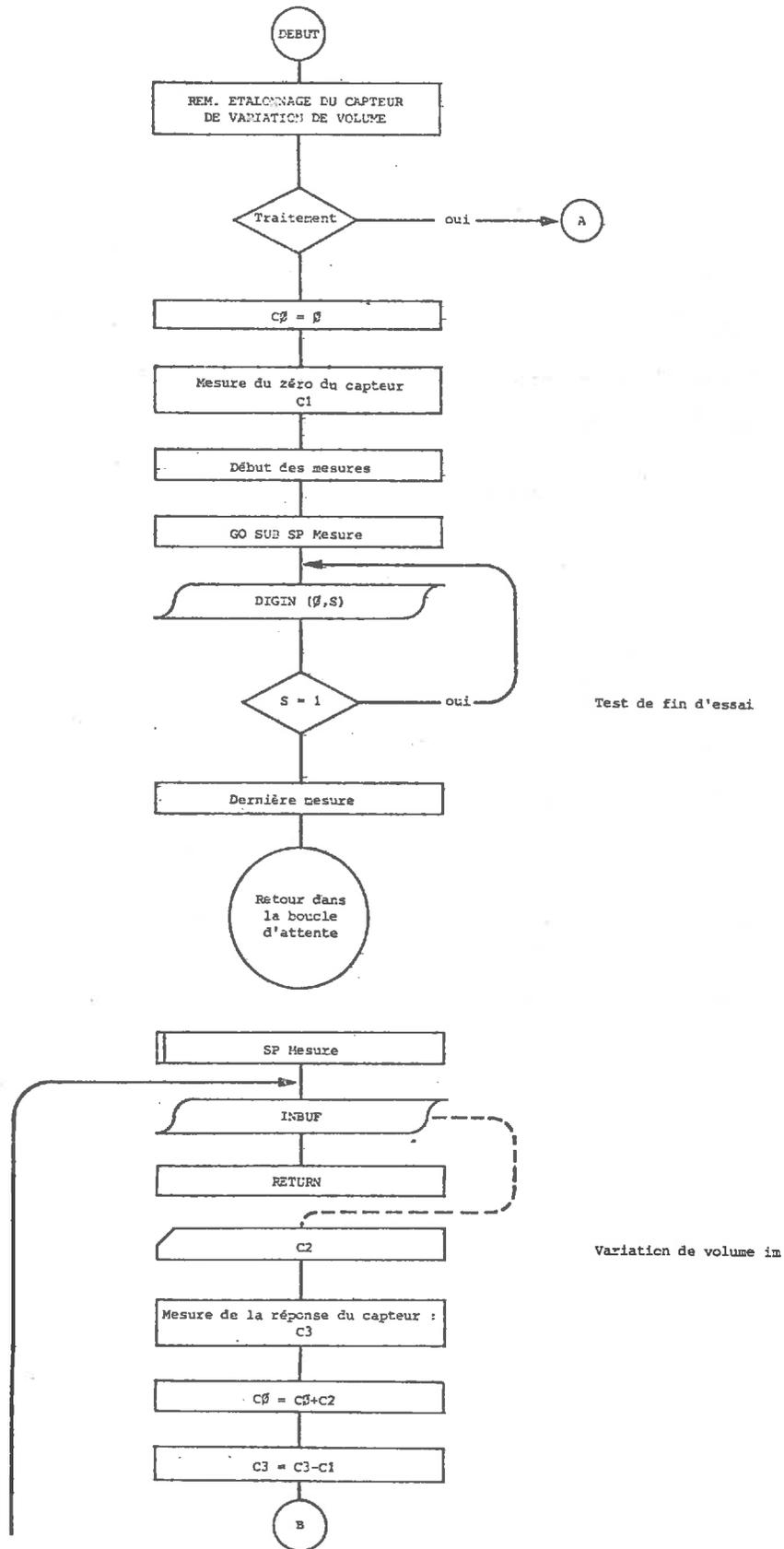
Voir exemple de sorties en page 7

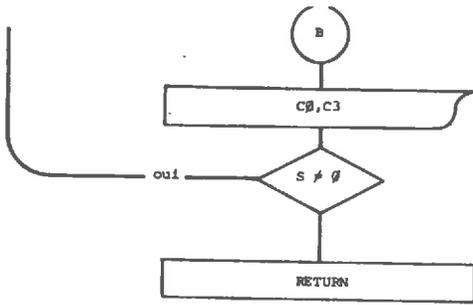
Fonctionnement pratique :

Le programme est appelé par la clé Ø. La première question permet de choisir l'une des deux branches de programme. Les réponses aux questions et l'introduction des incréments de volume se font en mode sans écho ( $\neq$  4Ø) et de ce fait n'apparaissent pas sur la sortie de la bande.

Observations :

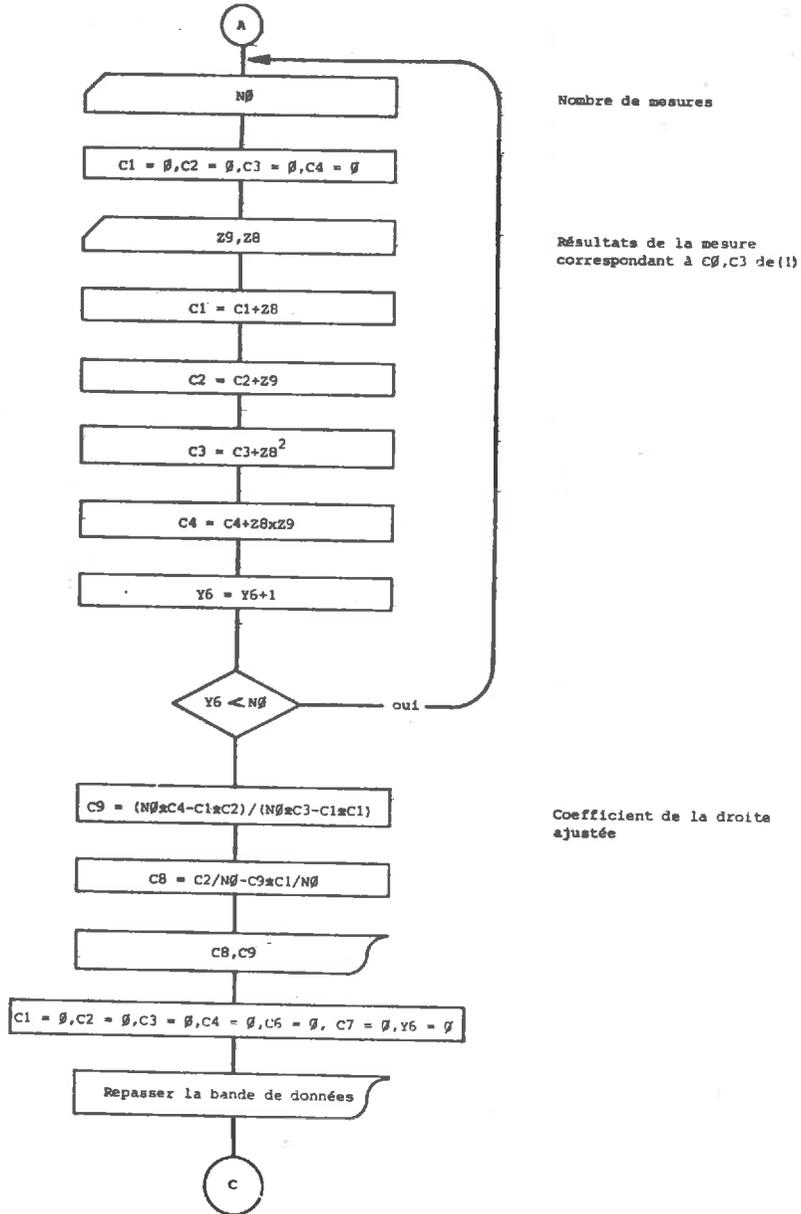
Il existe d'autres programmes sur le même principe pour les tests de capteurs de force, de pression et de déplacement.





(1)

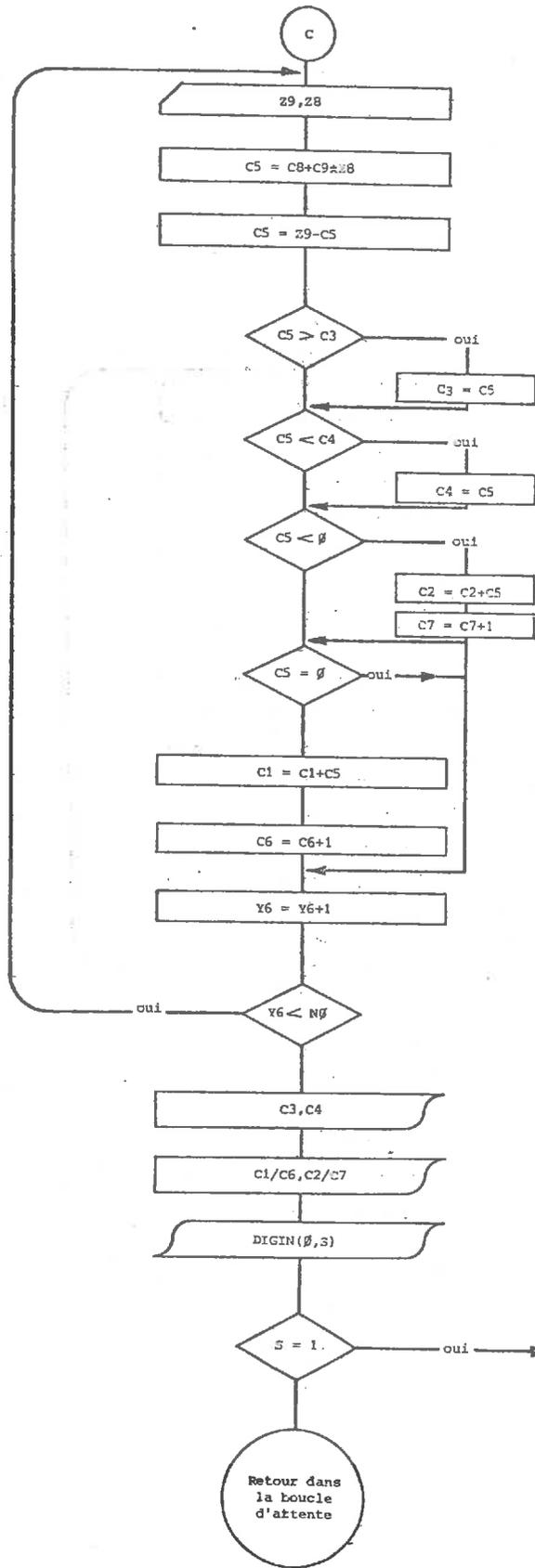
7-3



Nombre de mesures

Résultats de la mesure correspondant à C8, C3 de (1)

Coefficient de la droite ajustée



Calcul de l'écart des p  
expérimentaux à la droi  
ajustée

Ecart maximum

Ecart moyen

```

30 REM- PROGRAM "TEST.DV"
31 REM- CE PROGRAMME UTILISE LFS ENTRES BUFFERISEES AFIN DE NE
32 REM- PAS MODIFIER D'AUTRES CYCLES DE MESURE (MODE SANS ECHO #40)
3000 PRINT NLN(3);TAB(20);"ETALONNAGE CAPTEUR DV",NLN(2)
3001 B1=0
3002 PRINT "EST-CE UNE MESURE (MES) OU UN TRAITEMENT (TRA) ?"
3003 INBUF#40:(20,LINE 3005)
3004 IF B1=0GO TO 3004 \IF B1=2GO TO 3300 \GO TO 3008
3005 RDBUF(AS)\IF AS="MES"GO TO 3007
3006 B1=2\RETURN
3007 B1=1\RETURN
3008 C0=0\B1=0
3009 REM- PARTIE MESURE
3010 PRINT "MESURE DU ZERO DU CAPTEUR"
3015 INBUF#40:(10,LINE 3030)
3020 IF B1=0GO TO 3020 \GO TO 3045
3030 RDBUF(AS)
3035 MEASURE(V,43)\C1=V
3040 B1=1\RETURN
3045 PRINT "PRET"
3048 REM- CYCLE DE MESURE
3050 GOSUB 3100
3060 DGIN#0:(0,5)\IF S=1GO TO 3060
3065 PRINT RPT(50,0);"FAIRE DERNIERE MESURE"
3070 GO TO 100
3100 INBUF#40:(10,LINE 3200)
3105 RETURN
3200 RDBUF(C2)
3205 MEASURE(V,43)\C3=V
3210 C0=C0+C2\C3=C3-C1
3215 PRINT FMT("F",8,3)C0,FMT("F",10,6)C3
3217 IF S=0GO TO 3225
3220 GOSUB 3100
3225 RETURN
3298 REM- PARTIE TRAITEMENT
3299 REM- PREMIERE PHASE : CALCUL DE LA DROITE AJUSTEE PAR LA M.M.C.
3300 PRINT "NB. DE POINTS.?"
3305 INBUF#40:(20,LINE 3315)
3308 07=0
3310 IF B1=2\GO TO 3310 \GO TO 3320
3315 RDBUF(N0)\B1=0\RETURN
3320 C1=0\C2=0\C3=0\C4=0\Y6=0
3330 INPUT #07;Z9,Z8
3405 C1=C1+Z8\C2=C2+Z9
3410 C3=C3+(Z8*Z8)\C4=C4+(Z8*Z9)\Y6=Y6+1
3420 IF Y6<N0GO TO 3330
3450 C9=(N0*C4-C1*C2)/(N0*C3-C1*C1)
3455 C8=C2/N0-C9*C1/N0
3460 PRINT NLN(1);"AJUSTEMENT Y=A+B*X : A ="FMT("F",7,3)C8,TAB(40);
3461 PRINT "B.=",C9
3463 REM- DEUXIEME PHASE : CALCUL DES ECARTS MAXIMA ET MOYENS
3465 C3=0\C4=0\Y6=0
3466 C1=0\C2=0\C6=0\C7=0
3470 PRINT "REPASSER LA BANDE DE DONNEES",
3475 INBUF#40:(20,LINE 3485)
3480 IF B1=0GO TO 3480
3481 GO TO 3500
3485 RDBUF(AS)\B1=1\RETURN
3500 INPUT #07;Z9,Z8
3555 C5=C8+C9*Z8\C5=Z9-C5
3560 IF C5<C3GO TO 3565 \C3=C5
3565 IF C5>C4GO TO 3566 \C4=C5
3566 IF C5<0GO TO 3568 \IF C5=0GO TO 3570
3567 C1=C1+C5\C6=C6+1\GO TO 3570
3568 C2=C2+C5\C7=C7+1
3570 Y6=Y6+1\IF Y6<N0GO TO 3500

```

7-6

```
3590 PRINT "ECARTS MAXIMA :", FMT("F", 8, 3), C3, C4
3592 C1=C1/C6\ C2=C2/C7
3594 PRINT "ECARTS MOYENS :", FMT("F", 8, 3), C1, C2
3595 PRINT "FIN RELEVER L'INTER 0", \INPUT AS
3600 DIGIN#0:(0, S)\IF S=1GO TO 3300
3605 GO TO 100
```

ETALONNAGE CAPTEUR IV

7-7

MESURE DU ZERO DU CAPTEUR  
PRET

0.000	0.012800
0.500	0.054600
1.000	0.091300
2.750	0.249300
3.700	0.622200
4.560	0.751400
5.440	2.897200
4.810	0.796100
4.020	0.676100
3.570	0.592900
2.300	0.465400
1.750	0.292200
0.600	0.109100
-0.950	-0.130600
-2.030	-0.331900
-3.000	-0.519200
-4.950	-2.792800
-5.550	-0.970000
-4.330	-0.741100
-3.440	-0.527300
-2.000	-0.396100
-1.440	-0.250300
0.320	0.032300
1.610	0.234000
3.050	0.463700
3.810	0.583300
4.660	0.717400
3.740	0.578800
2.830	2.406400
1.740	0.269400
0.550	0.082700
-0.750	-0.123300
-2.940	-0.488400
-4.220	-0.707500
-5.440	-0.922900
-3.850	-0.652400
-2.360	-0.397200
-0.570	-0.103900
0.180	0.012500
FAIRE DERNIERE MESURE	
0.180	-4.591766

ETALONNAGE CAPTEUR IV

MESURE OU TRAITEMENT ?  
NB. LE POINTS ?

AJUSTEMENT  $Y=A+B*X$  : A = 0.076      B = 6.053  
 REPASSEZ LA BANDE DE DONNEES  
 ECARTS MAXIMA : 0.246    -0.007  
 ECARTS MOYENS : 0.167    -0.070  
 FIN RELEVIER L'INTER ?

A N N E X E 8

CODE D'IDENTIFICATION DES BANDES DE DONNEES

CODE D'IDENTIFICATION DES BANDES DE DONNEES

La première ligne de la bande sert à l'identification de l'essai et de la bande. La seconde ligne donne obligatoirement le nom de l'échantillon et la date de l'essai. Les formats de ces deux lignes sont imposés. La troisième ligne contient les données propres à l'essai, son format dépend de l'essai.

Exemple :

```
MDS OEDOM 002 77 DT
LIMON DE PACE 12 04 77
      2 38.480  1.200 63.280 22.690
```

Le format des deux premières lignes est le suivant (code utilisé :  $\emptyset$  = intervalle, A = caractère alphanumérique, X = chiffre).

lère ligne :

```
AAA $\emptyset$ AAAAA $\emptyset$ XXX $\emptyset$ XX $\emptyset$ AA
  a      b      c  d  e
```

a - identification du laboratoire : 3 caractères alphanumériques :

MDS = laboratoire de mécanique des sols

b - identification de l'essai : 5 caractères alphanumériques :

TRIAX = essai triaxial

OEDOM = essai oedométrique

CISDI = essai de cisaillement direct

CISAL = essai de cisaillement alterné

c - numéro d'ordre : 3 chiffres ; la numérotation commence à 1 au début de chaque année.

d - année de l'essai : deux chiffres..

e = identification de la bande : 2 caractères alphanumérique  
cette identification est importante lorsqu'on édite plus  
d'une bande par essai :

BS = bande source : issue directement du programme de mesure

DT = dans l'essai oedométrique, bande prête pour le traitement, éditée par le programme de tri (OEDOM-TRI)

CS = dans l'essai oedométrique, bande ne contenant que les données de compressibilité

B1 = dans l'essai triaxial, donne les numéros d'échantillons cisailés successivement lors d'un même essai.

RC = bande de résultats traités : utilisé quand on dissocie le tracé des courbes du traitement, cette bande permet le tracé ultérieur

2ème ligne :

AAA.....AAA~~XXXXXX~~XX~~XX~~XX  
 a                    b   b   b

a - nom de l'échantillon : moins de 25 caractères alphanumériques.

b - date : jour, mois, année : 2 chiffres chacun.

I.N.S.A - RENNES

PERMIS D'IMPRIMER

Thèse de : DOCTEUR INGÉNIEUR

Spécialité : GÉNIE CIVIL

présentée par M<sup>r</sup> DE VEAUX Daniel

né le 22 08 1949 à PARIS (75014)

n° de la thèse par année civile : 03 - 77 - 51/214

n° d'ordre général de la thèse : 03

Autheur le 30-06-77

Le Président de Thèse

Rennes, le 05-09-77

Signature

*Daniel De Veaux*

Vu et permis d'imprimer

Rennes, le 05 09 77

Le Directeur de l'I.N.S.A. *[Signature]*

