

8/91

a. numense

وزارة الجامعات  
Ministère aux Universitaires

2 EX

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

UTILISATION DES SABLES

GYPSEUX DANS LA TECHNIQUE

ROUTIERE SAHARIENNE

Proposé par :

C.T.T.P

Etudié par :

M. FAKED  
Z. DJEBBARI

Dirigé par :

M<sup>r</sup> OUZROUROU (C.T.T.P.)  
M<sup>r</sup> BALI (E.N.P.)

PROMOTION  
1991



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَاللَّهُ جَعَلَ لَكُمْ الْأَرْضَ

بِسَاطًا لَتَسْلُكُوا مِنْهَا

سَبِيلًا فَجَاغِبَا

الآيات (19 - 20) من سورة نوح

## Dédicaces

- à mes parents
- à mes frères
- à ma sœur Malika et son mari Salah
- à ma sœur Ferroudja et son mari Oncle Lounès
- à ma sœur Djedjiga et son mari Lamara
- à mes neveux: Kabah, Omar, Elimane,  
Mahdi, Nabil et Belkacem.
- à ma nièce Sabrina
- à tous mes amis

Je dédie ce modeste travail

Merzouks

---

Je consacre ce travail

- à mes parents qui me coûtent très chers,
- à mes deux frères Youssef et Zoubir,
- à toutes mes sœurs, en particulier SIHAME  
que je considère comme fortune de  
ma mère,
- à tous mes amis et amies,
- à tous mes frères de ma confession.

Ziane

## Remerciements :

*Cette etude a ete faite avec la collaboration de :*

- Notre encadreur, Mr B.OUZROUROU, Directeur de etudes et du controle du CTP.
- Notre promoteur, Mr BALI, Enseignant a l' ENP.
- Mr S. BELKACEMI, Enseignant a l' ENP.
- Tous les Ingenieurs et Techniciens du CTP.

*qui nous ont particulierement soutenu  
techniquement tout au long de cette these.*

**\*\* SOMMAIRE \*\***

	Page
AVANT PROPOS .....	5
 <b>PREMIERE PARTIE : RAPPELS THEORIQUES</b>  	
<b>CHAPITRE 1: INTRODUCTION</b>	
1- Considérations générales sur les voies de communications .....	6
2- Généralités sur les routes .....	7
<b>CHAPITRE 2: LES ASSISES DE CHAUSSEES</b>	
1- Introduction .....	8
2- Les différentes natures d'assises .....	9
A - Les assises non traitées .....	9
B - Les assises traitées .....	10
3- Rôle des assises de chaussées dans la structure .....	11
4- Qualités mécaniques des assises de chaussées .....	12
<b>CHAPITRE 3: LES MODELES DE LA MECANIQUE DES CHAUSSEES</b>	
1- Introduction .....	13
2- Les différents modèles utilisés .....	14
2-1- Le modèle de BOUSSINESQ .....	14
2-2- Le modèle BICOUCHE .....	16
2-3- Le modèle de HOGG .....	18
2-4- Le modèle de WESTERGAARD .....	20
2-5- Le modèle de BURMISTER .....	22
3- CRITERE DE CHOIX D'UN MODELE .....	25
4- REMARQUES GENERALES ET CONCLUSION .....	26

DEUXIEME PARTIE : ETUDE D'UN CAS AU SAHARA

<b>CHAPITRE 1: INTRODUCTION</b>	27
<b>CHAPITRE 2: PARTICULARITES DES ROUTES SAHARIENNES</b>	
1- Historique	28
2- Génèse de la technique routière saharienne	29
3- Définition de la technique routière saharienne	31
A- Les idées générales	31
A-1- Le trafic	31
A-2- Le climat	32
B- Les principes de la technique	33
4- Aperçu théorique sur le gypse	34
<b>CHAPITRE 3: ETUDE EN LABORATOIRE</b>	
1- PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS	37
1-1 Généralités	37
1-2 Localisation des carrières	37
2- ESSAIS DE LABORATOIRES	41
2-1- ESSAIS D'IDENTIFICATIONS	41
A- Analyse Granulométrique	42
B- Limites d'ATTERBERG	44
C- Equivalent de sable	50
D- Analyses chimiques	52
2-2- CLASSIFICATION DES MATERIAUX	54
A- Classification selon H.R.B.	54
B- Classification selon U.S.C.S.	59
C- Classification selon R.T.R.	59
D- Classification selon les résultats chimiques	63

2-3- ESSAIS MECANIQUES .....	
A- Essais Proctor .....	66
B- Essais C.B.R. ....	70
C- Résistance à la compression simple .....	73
2-4- Analyse des résultats .....	75

#### CHAPITRE 4: DIMENSIONNEMENT

1- INTRODUCTION .....	87
2- PROGRAMME ALIZE 3 .....	87
3- METHODE C.B.R. ....	95

<u>TROISIEME PARTIE : CONCLUSIONS GENERALES.</u> .....	102
--	-----

#### ANNEXES

- A - Analyse granulométrique.
- B - Limites d'ATTERBERG.
- C - Essais Equivalent de sable.
- D - Essais PROCTOR.
- E - Essais C.B.R.
- F - Essais de compression simple.



AVANT PROPOS

Certaines régions du Sahara sont complètement dépourvues de cailloux et de graviers.

En effet, pour la construction routière, l'apport de matériaux traditionnels (Granulats) conduirait à des distances de transports considérables et les prix d'acheminement sur chantier, aggravés par les coûts des transports en tout terrains, seraient absolument prohibitifs.

Cependant, l'utilisation des matériaux locaux s'impose à l'ingénieur dans ces régions. La région de QUARGLA est totalement dépourvue de matériaux durs ou grenus. Les matériaux existant dans cette région sont des sables gypseux, de qualité variable.

Ce sont les seuls matériaux, susceptibles d'être utilisés en corps de chaussées, qui constituent la mine d'or des ingénieurs routiers. A partir de cette idée, nous essayerons d'apporter une contribution pour une meilleure utilisation des sables gypseux en définissant leur comportement sous l'influence des différents paramètres tels la variation du climat, le trafic routier...

Nous souhaitons toutefois que cette étude soit bénéfique pour l'ensemble des ingénieurs routiers qui sont confrontés quotidiennement aux problèmes d'utilisation des sables gypseux dans la technique routière saharienne.

Premiere Partie

Rappels theoriques

## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

#### CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES VOIES DE COMMUNICATIONS :

L'activité économique, militaire et touristique a nécessité depuis tous temps le transport; c'est-à-dire le déplacement d'un lieu à un autre, parfois aux grandes ou aux très grandes distances, des hommes, des matériaux, des marchandises...

L'histoire fournit plusieurs exemples des transports qui retiennent l'attention; notamment le transport des immenses blocs en pierre pour la construction des pyramides d'EGYPTE, le passage de l'ATLANTIQUE vers le Nouveau Monde par CRISTOPHE COLUMB, les routes romaines en EUROPE et en AFRIQUE.

Aujourd'hui, l'intense activité économique, militaire et touristique impose le développement des moyens de transport. De nos jours, on ne peut pas imaginer l'activité humaine sans le déplacement rapide des hommes, sans le transport des marchandises lourdes aux grandes distances...

L'analyse montre que chaque voie de transport nécessite des installations de transport.

Ces installations sont des constructions civiles, de travaux publics. Elles sont dans une dernière analyse étudiées, projetées et analysées par les ingénieurs de Génie Civil, par les ingénieurs de Constructions et Travaux Publics.

## 2 GENERALITES SUR LES ROUTES :

La route est la seule voie de communication qui permet de relier tous les points d' un territoire. En effet les voies ferrées ne peuvent desservir que quelques points situés sur un territoire à peu peu près rectilignes et bien définis.

Les voies maritimes ou fluviales ne peuvent assurer également que la liaison de points situés le long d'une côte et devront-être, obligatoirement, disposees d'installations portuaires. Les voies aériennes assurent la liaison d'un nombre restreint de points qui doivent-être disposées des installations spéciales : les aéroports .

La route par contre assure, également, la liaison , la continuité et le transport entre les autres voies de communications.

De nos jours, par "route moderne", il convient d'entendre une vaste plate-forme dégagée comportant deux ou plusieurs voies, devant résister aux charges des véhicules. Une telle route doit permettre une circulation à grande vitesse, d'où la nécessité d'étude et de réalisation soignées.

Dans ce projet, on ne s'intéressera pas à la totalité des éléments qui constituent ce qui convient d'appeller route. Il n'est question, en effet, de s'intéresser que sur les chaussées; c'est-à-dire de la partie de la route sur laquelle circulent réellement les charges (Véhicules).

## CHAPITRE II

### LES ASSISES DE CHAUSSEES:

#### 1) INTRODUCTION:

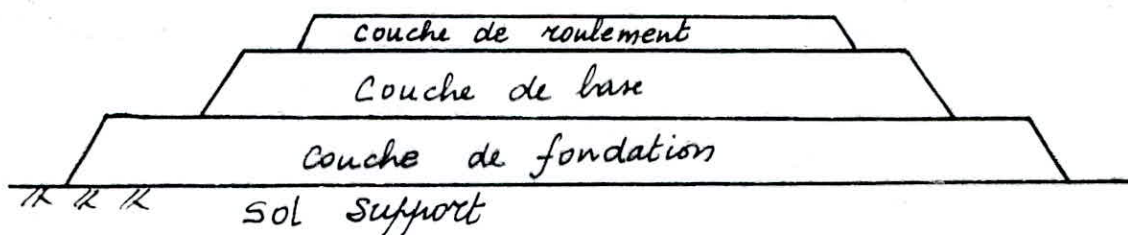
La chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent réellement les véhicules. La chaussée comporte différentes couches superposées constituant "Les assises de Chaussée"

Ce terme "Assises de Chaussées" s'agit des couches de chaussée existant entre le terrain naturel appelé aussi "Sol Support", ou la couche de forme s'il en existe une, et la couche de surface.

L'existence même des assises de chaussées est très largement ignorée de l'automobiliste, c'est pourtant grâce à elles que la chaussée peut conserver le plus longtemps possible, malgré l'effet destructeur du trafic, les qualités d'Uni qui lui permettent à l'usager un niveau de service élevé.-

Les assises de chaussées fournissent en effet aux couches de roulement un support suffisamment rigide pour leur permettre de conserver leur intégrité; et surtout elles protègent le sol-support de la chaussée en abaissant les contraintes provenant du trafic lourd à un niveau suffisamment faible pour qu'il puisse les supporter sans se déformer.-

La contre-partie est qu'elles sont soumises à des contraintes élevées qu'elles doivent elles mêmes pouvoir supporter sans déformations ni fissurations.-



2)- LES DIFFERENTES NATURES D'ASSISES :

Les assises de chaussées peuvent être classées en deux grands groupes :

A)- Les assises non traitées :

Les matériaux constitutifs de ces assises sont des granulats à granulométrie continue, dites "Graves" dont le calibre maximum dépend de la nature et de l'épaisseur de la couche et pour lesquelles la stabilité de la couche est obtenue à la fois par l'angularité (1) des plus gros éléments, et par la compacité de l'ensemble.-

(1) L'angularité est le fait pour les granulats de présenter des arrêtes vives. L'angularité existe naturellement avec les matériaux de carrière : Ils sont entièrement concassés; Par contre, pour les matériaux alluvionnaires généralement roulés et sans aspérité, il faut définir un indice de concassage  $I_c$ , qui donne une mesure de l'angularité du granulat obtenu. L'indice de concassage d'un granulat 0/D est le pourcentage en poids des éléments provenant du concassage des éléments supérieurs à D contenus dans la grave alluvionnaire d'origine.

### B)- Les assises traitées :

Pour ces assises, la granulométrie des matériaux est également continue.

Mais dans celles-ci, pour améliorer la stabilité et la résistance mécanique, on ajoute un liant, Ainsi, on peut classer les assises traitées en deux catégories, suivant la nature du liant introduit: ce liant peut être :

#### a) caractère Hydraulique :

- \* A prise rapide : ciment
- \* A prise lente : laitier granulé, cendres volantes, pouzzolanes naturels;

#### b) Hydrocarboré :

- \* A chaud : bitume pur
- \* A froid : émulsion de bitume.

Suivant la nature de ces liants, les caractéristiques des assises traitées seront différentes et les qualités nécessaires apparaitront sur des aspects également différents

### 3)- LE ROLE DES ASSISES DE CHAUSSEES DANS LA STRUCTURE :

Comme il a été indiqué en introduction, l'assise de chaussée s'agit des couches de chaussées existant entre le terrain naturel "Sol support" ou la couche de forme s'il en existe une, et la couche de surface.

Cette dernière subit directement les effets du trafic. Les assises quant à elles ont un rôle de fournir aux couches de roulement un support suffisamment rigide pour leur permettre de conserver leur intégrité <sup>et</sup> de répartir les contraintes créées par les charges roulantes afin que le sol support ne soit soumis qu'à des contraintes compatibles avec sa nature.

En effet, la couche de base, plus proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables, il est donc nécessaire qu'elle présente des caractéristiques mécaniques assez élevées. Quant à la couche de fondation les contraintes et les déformations auxquelles elle est soumise conduisent à un niveau de qualité mécanique moindre que celui de la couche de base, à noter que dans la coupe type d'une chaussée, on rencontre de plus en plus une couche de forme qui est employée lorsque le terrain naturel présente des faibles caractéristiques géotechniques (plasticité élevées, faible portance....).

Il est en outre nécessaire que les assises :

- Lors de la construction de la chaussée :

- . fournissent un support bien nivelé pour la couche de surface.
- . fournissent également un support de portance suffisant pour le compactage de la couche de surface.
- . puissent servir provisoirement de couche de roulement (renforcement sous circulation et / ou circulation de chantier).

- Lorsque la chaussée est construite :

Assurent un rôle thermique, car les assises doivent protéger le sol-support de la pénétration du gel.



Une conception correcte des assises des chaussées neuves et des renforcements est essentielle, d'autant plus que les défauts qu'elles peuvent présenter ne peuvent être corrigés qu'à grand frais, par renforcement, reconstruction ou recyclage, les facteurs techniques ne sont pas les seuls à prendre en compte, les facteurs économiques sont déterminants, très importants par comparaison aux couches de roulement, l'utilisation optimale des ressources locales ou régionales en liant et en granulats est donc essentielle mais il faut tenir compte de ce que les exigences à satisfaire sont très différentes selon l'importance du trafic lourd ou la nature de l'assise, couche de fondation ou couche de base.

#### 4)- QUALITES MECANQUES DES ASSISES DE CHAUSSEES :

Les charges de véhicules (roulantes ou statiques) appliquent à la chaussée des contraintes verticales qui se transmettent le long de toute l'épaisseur de la chaussée jusqu'au sol-support.

A chaque niveau, connaissant les caractéristiques de chaque assise (notamment l'épaisseur et le module d'Young E) il est possible de déterminer les contraintes et les déformations engendrées par ces charges.

Pour améliorer la stabilité, il est nécessaire qu'en tout points des différentes couches, les sollicitations soient inférieurs aux limites que matériaux correspondant peuvent admettre afin qu'il n'y ait ni déformation permanente ni rupture.

## CHAPITRE 3

### LES MODELES DE LA MECANIQUE DES

#### CHAUSSEES

##### 1- INTRODUCTION :

Pour toutes les structures de GENIE-CIVIL, le dimensionnement consiste tout d'abord à évaluer le niveau de sollicitation de la structure. En effet le domaine de la mécanique des chaussées consiste à la mise au point d'un modèle d'évaluation du niveau de sollicitation de la structure de chaussée pour permettre la définition des règles de dimensionnement. L'évaluation de ce niveau de sollicitations, pose le problème de la définition d'un certain nombre de paramètres représentatifs de son fonctionnement mécanique.

Ce niveau de sollicitation est ensuite confronté aux paramètres limites, des différents matériaux de la chaussée, qui sont ici des limites en FATIGUE (c'est-à-dire sous sollicitations répétées).

Le niveau de sollicitations de la structure étant évalué à l'aide d'un modèle; la suite des équations du modèle prétend représenter les interactions entre les différents paramètres, qui gouvernent le fonctionnement de la structure, d'une façon réaliste, en effet les modèles utilisés doivent être représentatifs du fonctionnement des structures étudiées. Dans ce qui suit, nous examinerons brièvement chacun de ces modèles.

## 2 - LES DIFFERENTS MODELES UTILISES :

### 2-1 LE MODELE DE BOUSSINESQ :

Comme il a été cité, le rôle de la chaussée est de répartir les contraintes créées par les charges roulantes et de les amener à un niveau compatible avec les caractéristiques du terrain naturel. La contrainte  $q$  exercée par le pneumatique ne peut généralement pas être supportée par le sol naturel.

a) Si le corps de chaussée n'est pas trop différent du terrain naturel, on peut supposer que la répartition des contraintes se fait de la même manière dans les deux corps. Ceci conduit à définir une méthode simpliste de dimensionnement :

\*\* La charge appliquée à la chaussée est représentée par la pression  $q_0$ , répartie sur un cercle de rayon  $a$ .

\*\* Le sol support est supposé élastique (module d'Young  $E$ , coefficient de Poisson  $\nu$ ), linéaire, homogène, isotrope (hypothèses de HOOKE).

\*\* Il ne peut supporter sans se déformer exagérément qu'une contrainte verticale notée  $\sigma(\text{adm})$  inférieure à  $q_0$ .

\*\* On recherche à quelle profondeur  $H$  du sol, la pression verticale a été suffisamment diffusée pour ne pas dépasser  $\sigma(\text{adm})$ .

Pour réaliser ce dimensionnement, il faut savoir comment s'effectue la diffusion des pressions verticales à l'intérieur du massif ( $E, \nu$ ).

Ce problème a été résolu par BOUSSINESQ : la contrainte verticale  $\sigma_z$  est maximum à l'aplomb du cercle de charge . A la profondeur z , elle prend la valeur :

$$\sigma_z = q_0 \left[ 1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right] = q_0 \left[ 1 - \frac{(z/a)^3}{(1 + z^2/a^2)^{3/2}} \right]$$

schéma de diffusion (voir fig 1).

REMARQUES:

\*  $\sigma_z$  est proportionnelle à  $q_0$  et est indépendante du module E du massif .

\*\* Si  $\sigma$  (adm) est très petite par rapport à la pression  $q_0$ , on est conduit à adopter de très fortes épaisseurs de chaussée.

b) L'épaisseur H étant assimilée à l'épaisseur de chaussée. Si le corps de la chaussée est différent du terrain naturel, ceci revient à correspondre à H une épaisseur de chaussée  $H' < H$  par une règle simple tenant compte du module  $E_1$  du corps de la chaussée et du module noté  $E_2$  du terrain naturel (ASSIMILER H A  $H'$  REVIENT A ASSIMILER  $E_1$  A  $E_2$  ). Généralement le corps de la chaussée est granulaire . En effet le module  $E_1$  est supérieur au module  $E_2$  .

L'épaisseur  $H'$  qu'il conviendrait de donner à la chaussée est :

$$H' = H * f(E_1/E_2) \quad \text{ou} \quad f((E_1/E_2) < 1.$$

La détermination de la fonction f suppose que l'on dispose de modèles BICOUCHES

## 2-2 : LES MODELES BICOUCHE:

Lorsque la contrainte admissible du sol support est très faible, il revient coûteux de réaliser la répartition des contraintes par l'intermédiaire d'un corps granulaire (l'épaisseur  $H$  est très forte). Pour réduire cette épaisseur, il suffit d'augmenter le rapport  $E_1/E_2$ . Par conséquent, ce résultat peut-être atteint à l'aide d'un liant (HYDRAULIQUE ou HYDROCARBONE). En effet, on peut obtenir une faible contrainte sur le sol support sans que l'épaisseur de la chaussée soit importante. Cette épaisseur ne pourra néanmoins jamais être très faible (le fonctionnement mécanique de la chaussée est totalement modifié en augmentant le module du corps de chaussée  $E_1$ ). La couche de chaussée est sollicitée par des contraintes de tractions par flexion à sa base engendrées par son fléchissement (*voir figure 2*). Le dimensionnement de la chaussée consiste alors à vérifier deux critères qui conditionnent son comportement dans le temps :

\* la contrainte verticale sur le sol support doit-être inférieure à une valeur limite ( $\sigma$ ) adm fonction de la nature et du nombre de chargements envisagés .

\* la contrainte de traction par flexion à la base de la couche de chaussée doit-etre également inférieure à une valeur limite fonction de sa nature et du nombre de chargement envisagés . Ce qui se traduit par une limitation de la déformation (fissuration) à la base .

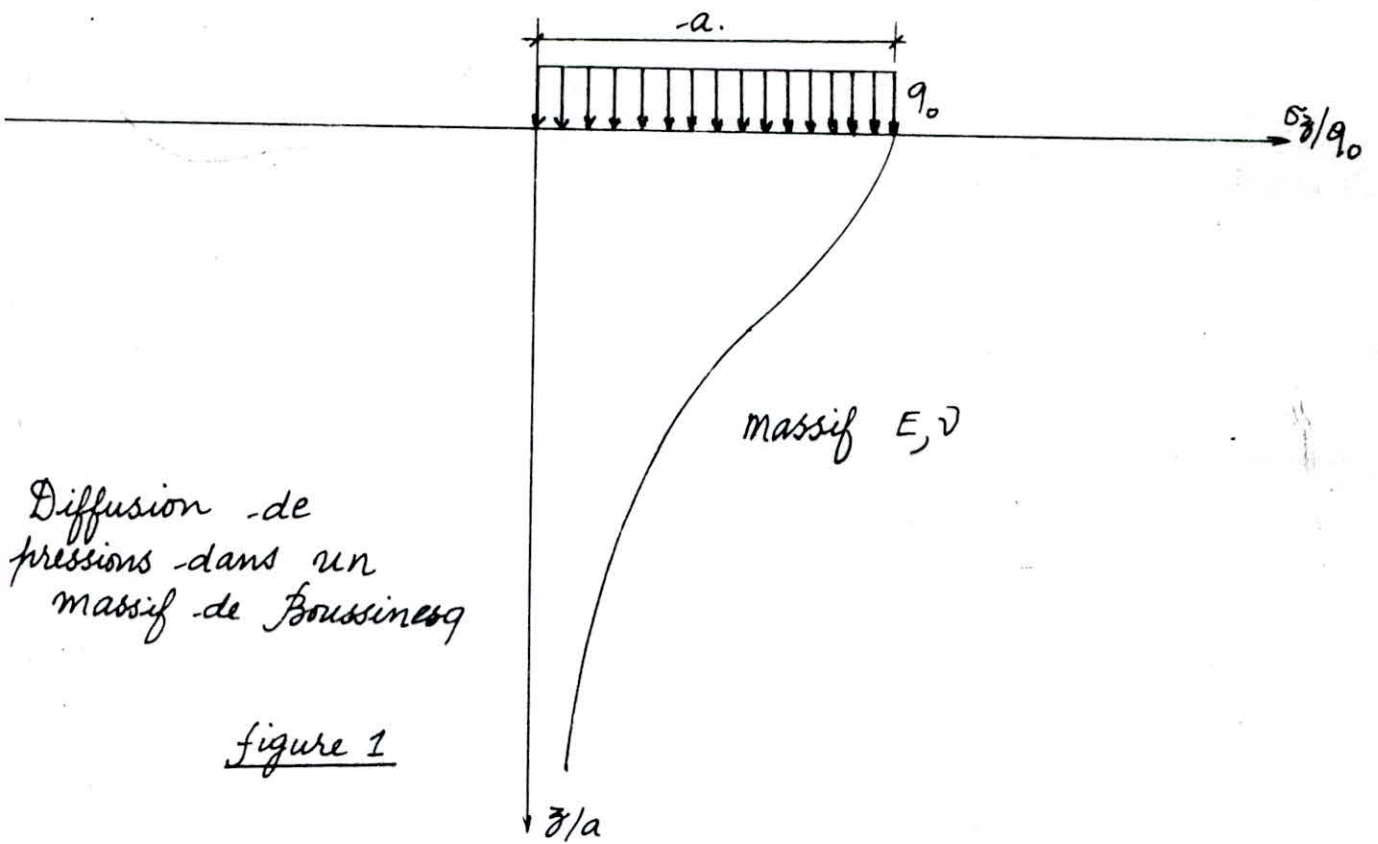
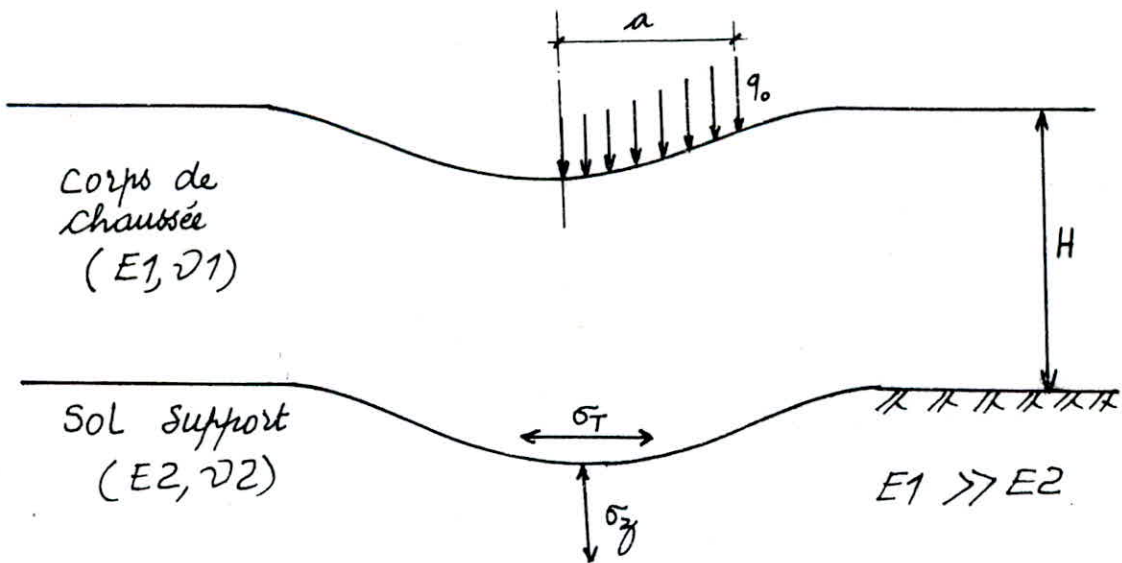


figure 2 : Le modèle bicouche.



### 2-3 LE MODELE DE HOGG :

Le problème du bicouche a été simplifié vu sa difficulté à la résolution. On sait que, si la résolution des équations de l'élasticité peut être difficile dans le cas général, les problèmes de flexion se prêtent à un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (Hypothèses de Navier pour les plaques minces): ceci conduit à considérer que dans la couche de chaussée :

- \* - Le plan moyen est confondu avec la fibre neutre .
- \* - Les sections planes transversales restent planes pendant la déformation .
- \* - Les contraintes normales suivant une direction transversale peuvent-être négligées.

Les déplacements verticaux  $w$  de la fibre neutre de la plaque satisfont alors à l'équation de Lagrange pour les plaques minces:

$$D \cdot \Delta^2 w = p \quad \text{avec} \quad D = \frac{E1 * H^3}{12 * (1 - \nu_1^2)}$$

$D$  = rigidité de la plaque ,

$w$  = déplacement vertical de la fibre neutre ,

$p$  = somme des contraintes verticales .

$\Delta = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}$  double Laplacien en coordonnées polaires

$\left\{ \begin{array}{l} p = \sigma_z - q_0 \\ p = \sigma_z \end{array} \right.$  à l'aplomb du cercle de charge  
à l'extérieur de ce cercle .

Hogg a considéré que la chaussée, représentée par une plaque de Navier, est posée sur un massif infini de type Boussinesq ( $E_2, \nu_2$ ). Le problème comporte deux inconnues qui sont le déplacement vertical  $w$  et la contrainte verticale sur le massif. L'équation de Lagrange fournit une première relation entre ces deux inconnues. La deuxième relation est donnée en assimilant les déplacements verticaux du massif et de la plaque. Ces déplacements sont justement reliés à la contrainte sur le massif par <sup>les</sup> formules de Boussinesq. (Voir fig 3).

Les contraintes de traction dans la plaque sont données à partir des déplacements  $w$  en utilisant les formules usuelles des plaques.

En supposant que la chaussée glisse parfaitement sur son support, on trouve pour expression de la contrainte à la base de la plaque (pour  $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ )

$$\sigma_T = \frac{1+\nu}{2} * q_0 * H/a * E_1/E_2 \int_0^{\infty} \frac{x J_1(x) dx}{1 + \frac{1}{6} \frac{H^3}{a^3} * \frac{E_1}{E_2} * x^3}$$

où  $J_1(x)$  désigne la fonction de Bessel de première espèce.

La contrainte de traction  $\sigma_T$  peut-être écrite

$$\sigma_T = \frac{1}{H^2} * \frac{1+\nu}{2} * q_0 * a^2 * F \left( \frac{E_1}{E_2} * \frac{H^3}{a^3} \right).$$

On introduisant la charge  $P = \pi q_0 a^2$

$$\text{ce qui donne : } \sigma_T = \frac{P}{H^2} * \frac{1+\nu}{2\pi} * F \left( \frac{E_1}{E_2} * \frac{H^3}{a^3} \right).$$

$F$  = fonction de la rigidité de la chaussée qui varie lentement

avec  $(E_1/E_2) * (H^3/a^3)$



## 2 - 4 : LE MODELE DE WESTERGAARD :

L'approche de WESTERGAARD consiste à :

\_ Considerer la chaussée comme une dalle appuyée sur le sol support .

\_ Assimiler ce dernier (sol support) à un assemblage de ressort dont le déplacement vertical  $W$  en un point est proportionnel à la pression verticale en ce point , soit  $V = K*W$ .

( $K$  étant le module de réaction du sol support). *(voir fig 4)*  
Cela revient à assimiler, également, le sol à un liquide très dense sur lequel flotterait la dalle.

Le problème étant à symétrie de révolution . L'équation de Lagrange, en coordonnées polaires, pour les plaques minces s'écrira :

$$D * \Delta^2 W = p(r) .$$

on pose  $p(r) = v(r) - q(r)$ ,

$$q(r) = q_0 \quad \text{Si } r < a$$

$$q(r) = 0 \quad \text{Si } r > a$$

$p(r)$  est une surcharge surfacique à symétrie de révolution.

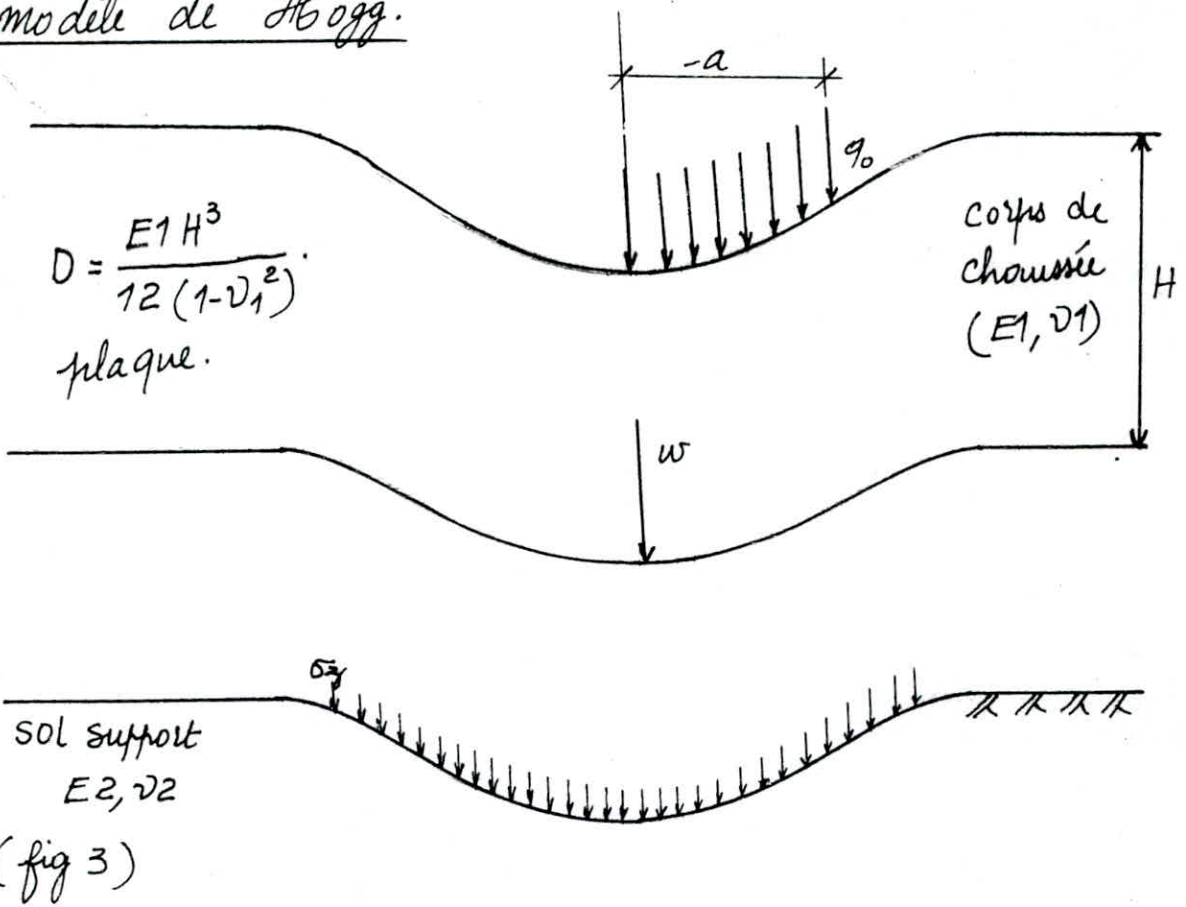
- La résolution de l'équation de Lagrange donne :

$$M_r = - D \left( \frac{d^2 W}{dr^2} + \nu \frac{1}{r} * \frac{dW}{dr} \right)$$

$$M_t = - D \left( \frac{1}{r} * \frac{dW}{dr} + \nu \frac{d^2 W}{dr^2} \right)$$

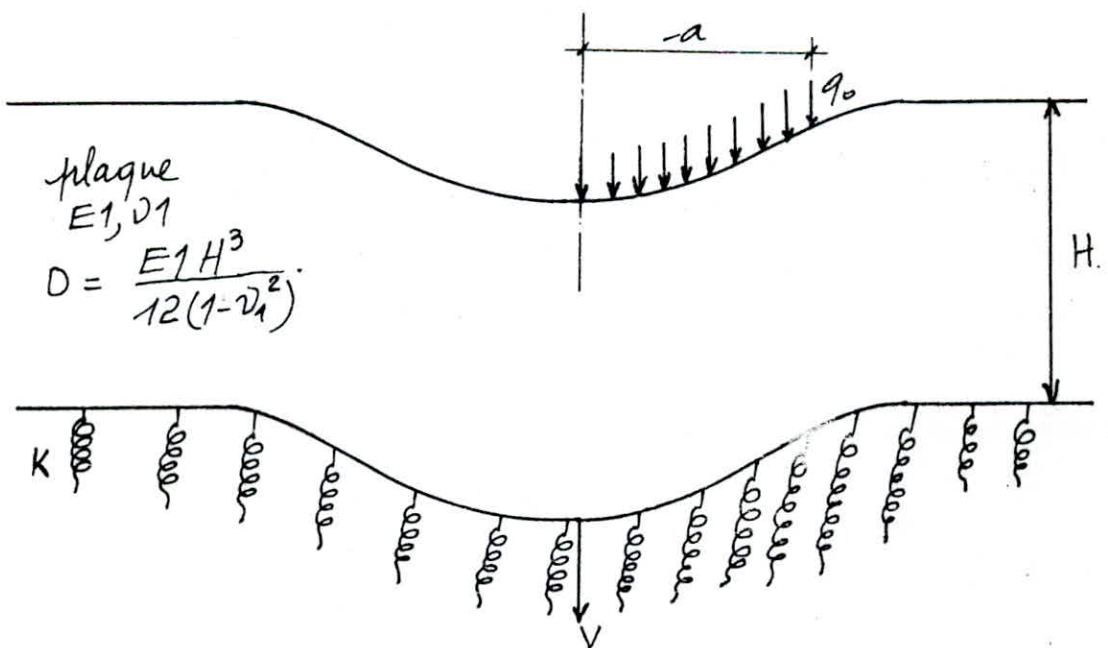
Ces moments, ce sont des moments de flexion, correspondant respectivement, aux directions radiales et tangentielles aux cercles concentriques à l'axe de charge (ce sont des moments principaux).

Le modèle de Hogg.



Le modèle de Westergaard.

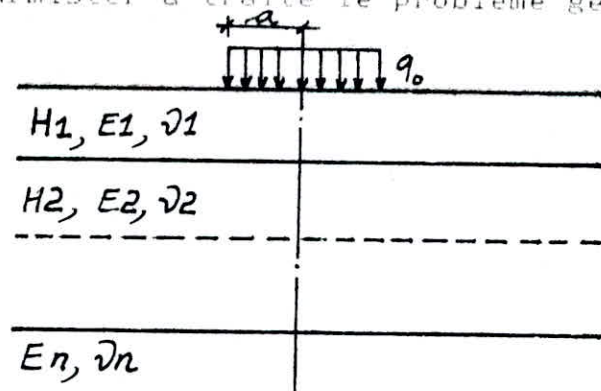
(figure 4)



## 2 - 5 : LE MODELE DE BURMISTER :

Le modèle bi-couche a ouvert la voie aux modèles multicouches qui facilitent grandement la schématisation des structures traditionnelles ( en général tri-couche : sol , corps de chaussée et enrobé ).

Burmister a traité le problème général à  $n$  couches .



*figure 5*  
*modèle de*  
*Burmister*

### \*\* Hypothèses de Burmister:

— Les couches sont traitées comme solides élastiques (on évite l'hypothèse des plaques).

— Les interfaces entre couches peuvent être au choix (soit collées soit décollées) et une même structure peut comporter des collées et des couches décollées .

Le problème est résolu en élasticité , avec symétrie de révolution (les couches sont infinies en plan ) en coordonnées cylindriques .

La résolution du problème conduit à la recherche de  $n$  fonctions d'airy  $\Phi_i$  , qui sont des fonctions biharmoniques (double Laplacien nul) ne dépendant que du couple  $(r,z)$  ,et par les conditions à la limite (interfaces supérieures et inférieures de la couche).

$$\Delta^2 \Phi_i(r, z) = 0$$

La recherche des fonctions d'Airy est facilitée lorsqu'on utilise la transformée de Henkel définie par :

$$f(x) \longrightarrow f(m) = \int_0^{+\infty} x J_0(mx) f(x) dx$$

ou  $J_0$  est la fonction de Bessel d'ordre 0 définie par :

$$J_0(x) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{(n!)^2} \left(\frac{x}{2}\right)^{2n}$$

La transformée inverse s'écrit :

$$f(x) = \int_0^{+\infty} m J_0(mx) f(m) dm.$$

La transformée de Henkel possède la propriété suivante:

$$\begin{aligned} (\Delta f)(m) &= -m^2 f(m) \\ \text{- ainsi } (\Delta^2 f)(m) &= m^4 f(m) \end{aligned}$$

C'est-à-dire que la transformée de Henkel du bi-Laplacien s'obtient en multipliant par  $m^4$  la transformée de Henkel de la fonction . Par conséquent, les fonctions d'Airy  $\Phi_i$  des différentes couches ont des transformées de Henkel qui sont solutions des équations aux dérivées partielles suivantes :

$$\left(\frac{d^2}{dz^2} - m^2\right)^2 \Phi_i(m, z) = 0$$

Ce sont des équations différentielles d'ordre 4 à coefficients constants par rapport à la variable  $z$ .

La solution générale s'écrit :

$$\Phi_i(m, z) = y_i(m) \left[ \Delta_i(m) + z C_i(m) e^{mz} - (B_i(m) + z D_i(m) e^{-mz}) \right]$$

\* Conditions aux limites aux interfaces entre couches :

\_ Continuité des déplacements et des vecteurs contraintes agissant sur les facettes horizontales , si l'interface est supposée collée.

\_ Continuité des contraintes normales  $\sigma_{zz}$  à l'interface , nullité des cisaillements  $\tau_{rz}$  et continuité de la composante verticale du déplacement si le glissement est permis à l'interface .

\_ Sur la surface de la chaussée ( $z = 0$ ): contrainte nulle en dehors de l'impact du pneumatique. Contrainte verticale  $\sigma_{zz} = -q$  sous le pneumatique .

\_ A l'infini ( $r \rightarrow +\infty$  ou  $z \rightarrow +\infty$ ) les contraintes et les déplacements sont nuls .

Ce modèle n'est exploitable que sur ordinateur : On peut citer comme programmes (logiciels) basés sur ce modèle :

ALIZE 3 du LCPC .

BISTRO de la SCHELL

### 3 - CRITERES DE CHOIX D'UN MODELE :

Le choix doit se faire , pour une conception donnée d'une chaussée , en fonction des hypothèses propres de chaque modèle.

#### 3-1 Le modèle de boussinesq :

En dehors des structures de chaussées construites avec des matériaux sans cohésions , le modèle de Boussinesq n'a pratiquement pas d'application intéressante. Tels les chaussées à faible trafic , à couche de base non traitée et à couche de roulement en eenduit superficiel.

#### 3-2 Le modèle bicouche élastique :

Ce modèle convient pour les chaussées souples, à couche de base non traitée et couverture bitumineuse mince. Veiller toutefois à ce que le rapport des modules d'Young entre chaussée et sol de fondation reste compris entre 2 et 4 ( s'il dépasse 4, l'effet de la dalle est prépondérant).

#### 3-3 LE MODELE DE WESTERGAARD :

Ce modèle ne convient que pour les chaussées rigides (en béton de ciment). Il peut également s'appliquer à certaines structures mixtes (couche de base en grave de ciment et revêtement hydrocarboné par exemple).

#### 3-4 Le modele multicouche :

Ce modèle convient aux chussées souples classique lorsque les rigidités comparées des différentes couches (en particulier la couche supérieure) ne sont pas très écartées.

#### 4 - REMARQUES GENERALES ET CONCLUSION :

Tous les modèles théoriques évoqués plus haut ont le défaut de traiter le problème de la mécanique de la chaussée sous l'hypothèse de l'élasticité. Ils ne permettent donc pas de résoudre le problème de déformations permanentes créées par les charges appliquées, et qui sont dues à la plasticité. Même en phase élastique, ces modèles considèrent que l'élasticité de la chaussée est linéaire, alors qu'elle ne l'est pas en réalité.

Ils considèrent de plus que la chaussée est semi-infinie en plan, ce qui ne permet pas d'aborder des chargements appliqués en bord de chaussée .

Les charges d'origine thermique (variations saisonnières) ne peuvent être traitées par ces modèles. Il est par conséquent clair que pour réduire le fossé séparant actuellement l'approche théorique de la réalité des faits ,il est nécessaire d'introduire des lois de comportements plus complexes (de type incrémentale en élasticité non linéaire, ou élastoplastique)et que seuls les moyens numériques (méthode des éléments finis) permettent d'aborder.

Deuxieme Partie

ETUDE D' un cas au Sahara



## CHAPITRE 1 :

### INTRODUCTION

La région de OUARGLA est l'une des vastes zones désertiques de notre pays. En effet, cette région est totalement dépourvue de matériaux traditionnels (matériaux grenus) utilisés dans la technique routière.

Pour la construction routière, l'apport de matériaux classiques conduirait à des coûts de transports très prohibitifs.

En effet, les matériaux locaux s'imposent à l'ingénieur routier. Parmi ces derniers, les sables gypseux sont les plus répandus dans la région de OUARGLA.

Dans le cadre de notre PROJET DE FIN D'ETUDE, L'Organisme National de Control Technique des Travaux Publics (C.T.T.P.), a proposé un sujet de recherche sur une éventuelle approfondissement d'utilisation de ces matériaux dans le domaine routier.

Pour ce faire, on s'est déplacé sur les lieux pour les prélèvements des échantillons à étudier. Notre choix s'est porté sur les carrières de la commune de HDJIRA, province de la Wilaya de OUARGLA sur la route de TOUGGOURT.

## Chapitre 2

### PARTICULARITES DES ROUTES SAHARIENNES:

#### 1 - HISTORIQUE :

En 1955, le Sahara était pratiquement dépourvu de routes. Deux pistes seulement avaient-été bitumées sommairement:

- \_ La section de LAGHOUAT à GHARDAIA (225 Km)
- \_ La section de TOUGGOURT à OUARGLA (160 Km)

Dans le cadre de la politique générale de développement de l'ALGERIE et en vue de la prospection pétrolière, la transformation, de pénétration, en routes des trois axes nord-sud traditionnels a été engagé à cette époque :

\_ A l'ouest, la route nationale n°6 D'ORAN à BECHAR (140 Km au sahar) achevée en 1959.

\_ Au centre, la route nationale n°1 D'ALGER à EL-GOLEA (250Km construits de 1957 à 1959 entre GHARDAIA et EL-GOLEA).

\_ A l'est, la route nationale n°3 de SKIKDA à TOUGGOURT (155 Km au sahara) et son antenne EL-OUED (145 km) achevées en 1959.

Ensuite, les découvertes pétrolières ont totalement modifié l'orientation :

\_ D'une part, l'intence augmentation du trafic qui a nécessité la reconstruction des deux sections ancienne.

- D'autre part, la pénétration a été poussée vers l'est, en direction des gisements par la construction de la route GHARDAIA - OUARGLA - HASSI-MESSAOUD - IN-AMENAS ( 1000 Km ).

## 2 - GENESE DE LA TECHNIQUE ROUTIERE SAHARIENNE :

La technique routière européenne avait-été utilisée en ALGERIE jusqu'en 1950 environ. A l'époque, les problèmes sahariens ne se posaient pas d'ailleurs, puisque les routes n'avaient pas dépassé le sud des hauts plateaux.

Les premières routes sahariennes commencées vers 1955, ont été étudiées en adoptant les bases de la technique routière européenne. Les matériaux utilisés avaient la granulométrie la plus étalée possible et contenaient peu ou pas d'argile.

Les différentes parties de chaussées étant à l'image d'Europe de bas en haut:

- Une couche de fondation dont l'épaisseur était fonction du sol sou-jacent,

- Une couche de base d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur,

- Une couche de roulement aussi épaisse que les crédits le permettaient.

Eventuellement, on ajoutait entre la couche de base et la couche de roulement un matériau enrobé avec un faible dosage de liant hydrocarboné pour augmenter la rigidité de la couche de roulement et améliorer la répartition des charges sur la couche inférieure.

Du fait de la grande monotonie de la géologie et de la géographie sahariennes, les matériaux traditionnels utilisés en corps de chaussées ne sont pas disponibles. Les matériaux disponibles dans ces vastes zones sont de types restreints. En effet, certaines régions sont complètement dépourvues de cailloux et de graviers.

Cependant, l'utilisation des matériaux traditionnels conduirait à des distances de transports considérables et les prix d'acheminement sur chantier, aggravés par le coût des transports en tous terrains, seraient absolument prohibitifs.

Très vite, les ingénieurs ont cherché à tenir compte des différences importantes, climatologiques et autres, qui existent entre le nord et le sahara. Parmi les problèmes posés, celui qui retenait le plus l'attention était l'influence de la pluviométrie faible. Heureusement, ces conditions climatiques favorables (en général pas risque d'imbibition complète) permettent de sortir du cadre habituel de la technique routière et d'utiliser des matériaux non traditionnels, qui ne conviendraient pas dans les climats humides. On considérerait alors que comme sous un climat humide, un revêtement hydrocarboné n'est jamais parfaitement imperméable, et que s'il pleut, une certaine quantité d'eau arrive toujours à pénétrer dans le corps de la chaussée. Donc même s'il ne pleut qu'une fois par an, il ne faut qu'à cette occasion la chaussée soit dégradée.

La sécurité ne paraissait donnée que par des matériaux insensibles à l'eau ne contenant pas d'argile et très peu d'éléments fins. Ce ne pouvait pas être des matériaux cohérents, il fallait en contrepartie exiger un angle de frottement très grand.

Les périodes humides étant courtes, il semblait bien que l'imbibition totale n'était pas à craindre car trop improbable. La teneur en eau maximale qu'il paraissait raisonnable de considérer était pour certains celle que l'on appelle la teneur en eau optimum Proctor et pour d'autres la limite de plasticité.

Des chantiers se sont réalisés ainsi, puis assez vite, un matériau aux qualités tout-à-fait exceptionnelles a attiré l'attention, il s'agit du gypse.

La technique des chaussées en gypse débuta par la mise en oeuvre artisanale d'un matériau local, utilisé déjà pour la construction.

### 3 - DEFINITION DE LA TECHNIQUE ROUTIERE SAHARIENNE :

#### A - LES IDEES GENERALES :

##### 1 - LE TRAFIC :

Le trafic saharien est composé, essentiellement, de camions gros porteurs, souvent, en surcharge. Le nombre d'essieux circulant annuellement est faible, mais ceux-ci sont pour la plupart très lourds. En effet, ils imposent une chaussée qui accepte, sans désordre, des déformations élastiques très élevées. Les déflexions sous les pneus peuvent-être grandes mais

doivent-être entièrement réversibles et ne doivent pas laisser de trace de déformation permanente. Les phénomènes de **Fatigue** doivent apparaître lentement. La solution qui consiste à adopter des chaussées peu déformables est très onéreuse, étant donné l'importance des charges, et ne sera justifiée économiquement.

## 2 - LE CLIMAT :

Le climat saharien est caractérisé par des températures très variables et très élevées en été, par une extrême sécheresse atmosphérique et par la rareté et l'irrégularité des pluies.

Cette dernière permet de définir la pluviométrie par des moyennes sur 25 ans, dans les régions sahariennes, qui est moins de 50 mm et le plus souvent moins de 20 mm. Ces quelques pluies annuelles tombent presque toujours en précipitations relativement importantes pendant un temps très court.

En effet, l'imbibition n'est pas à craindre, à la seule condition que la forme de la surface permette l'écoulement de l'eau (avec le bombement même faible d'une route, il y'a très peu d'eau qui pénètre à travers un revêtement hydrocarboné habituel non fissuré évidemment).

On ne saurait appliquer les normes habituelles qui résultent d'essais pratiqués dans l'hypothèse d'une imbibition complète des sols. En effet non seulement les pluies sont très rares, mais encore les sols de surfaces sont presque toujours sableux ou caillouteux, ce qui exclut toute imbibition par capillarité; la seule exception concerne quelques bas-fonds qui sont collecteurs d'eaux superficielles ou souterraines.

En dehors de ces bas-fonds, les mesures antérieures ont montré que la teneur en eau des sols est normalement de 2 %; après les pluies, elle augmente jusqu'à 4 à 10 % suivant les cas.

## B - LES PRINCIPES DE LA TECHNIQUE :

Les conséquences pratiques des idées générales ci-dessus sont:

1 - La couche de roulement cohérente qui est placée en surface de la chaussée doit-être suffisamment souple pour se plier sans se rompre. Cette condition exclut les couches épaisses denses. En effet, considérant la couche comme une poutre fléchie lors d'une déformation, les contraintes sont proportionnelles à l'épaisseur. Cette couche est formée soit par des enrobés souples en couche la plus mince possible, soit par l'enduit superficiel.

En réalité, ces revêtements doivent-avoir l'épaisseur minimale suffisante pour résister aux efforts tangentiels importants appliqués par des essieux lourdement chargés.

2 - Le matériau de la couche de base doit pouvoir supporter des déformations élastiques sans dommages, qui peuvent-être relativement importantes à la seule condition qu'elles soient entièrement réversibles (comme dans toutes les techniques routières, aucune déformation permanente ne peut-être tolérée ). Cette condition, la seule imposée est beaucoup moins rigoureuse que la précédente et permet d'utiliser de nombreux types de matériaux.

3 - La secheresse ouvre beaucoup l'éventail des matériaux utilisables notamment en couche de base. Sous un climat humide, il n'est possible d'utiliser que les matériaux à angle de frottement important car, sauf cas tout-à-fait exceptionnel, les matériaux cohérents contiennent beaucoup d'éléments très fins qui font perdre frottement et cohésion en présence d'eau. La cohésion des sols est en général obtenue par la présence d'argile, mais dès que celle-ci est humide elle sert de support et maintient l'eau sur les points de contact entre les grains qu'elle lubrifie parfaitement. Par contre, lorsque les matériaux ne risquent pas d'être imbibés d'eau, leur résistance aux efforts appliqués peut-être obtenue soit par frottement entre grains, soit par cohésion, c'est-à-dire une liaison plus ou moins rigides entre grains. Ces liaisons peuvent-être obtenues par présence d'argiles ou d'éléments fins gypseux.

4 - L'épaisseur de la couche de base peut-être faible, il suffit qu'elle répartisse suffisamment les pressions sur le sol de fondation pour que celui-ci ne subisse pas de déformations permanentes. Le sol de fondation étant généralement sec, sa portance est en général bonne.

5 - La possibilité d'utiliser des matériaux cohérents plus ou moins argileux en couche de base impose de s'assurer du bon écoulement des eaux de pluies. La sécurité demande que le bombement de la route ne soit pas très faible, 2 à 3 % paraissent raisonnables pour ne pas avoir de flaques d'eau même après de petites déformations inévitables.



#### 4 - Aperçu théorique sur le gypse :

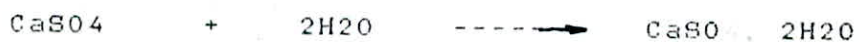
Les matériaux naturels, les plus employés au Sahara sont les matériaux à fines calcaires ou gypseuse, dont il est notoire qu'il constituent d'excellents matériaux d'assises bien que leur granulométries ne respectent pas les normes classiques (taux de fines important).

Les sables gypseux utilisés en corps de chaussée présentent la propriété de durcir sous l'effet du compactage par un phénomène qui a l'apparence d'une prise.

Le minéral gypse est obtenu par l'hydratation et la cristallisation dans le système monocyclique du sulfate de calcium. L'une des propriétés les plus caractéristiques de ce minéral est sa très faible dureté. En effet l'utilisation de granulats de gypse ne peut conduire qu'à des échecs, mais le sulfate de calcium possède d'autres propriétés qui permettent d'en faire un matériau de construction très apprécié:

##### \*\* première propriété:

C'est la propriété d'hydratation mise à profit dans le plâtre. En effet, en présence d'eau, le sulfate de calcium anhydre ( $\text{CaSO}_4, 0.5 \text{H}_2\text{O}$ ) réagit avec celle-ci, lentement, et recristallise en gypse.



Cette réaction peut aussi se dérouler de droite vers la gauche. En effet, lorsque l'on chauffe le gypse, il se déshydrate et pour des températures très élevées on obtient la forme hydratée intermédiaire, qui constitue le plâtre.

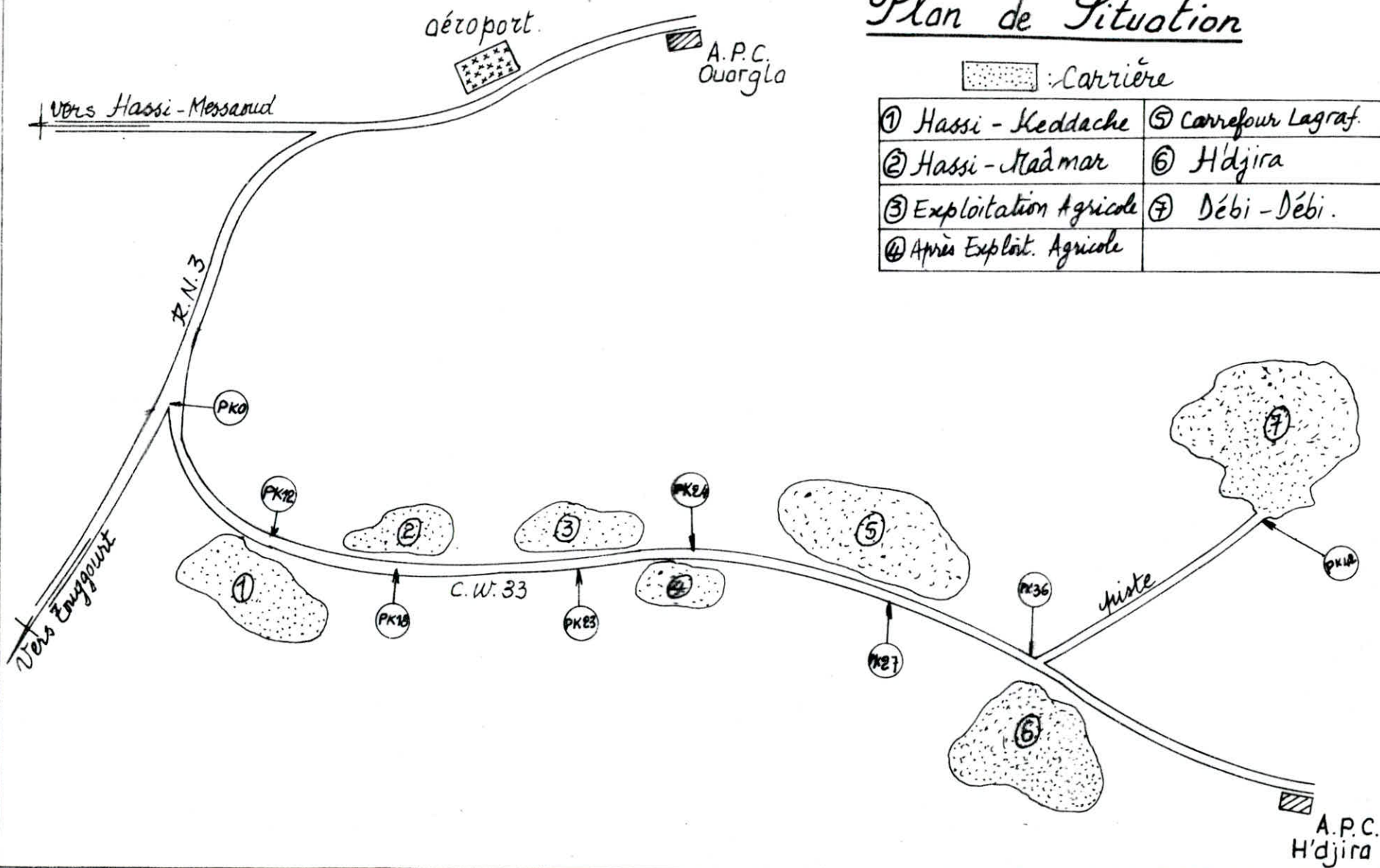
\*\* deuxième propriété:

C'est la propriété importante du gypse qui est sa solubilité dans l'eau. Quoique moins soluble que d'autres sels comme le chlorure de sodium (NaCl), le gypse possède une solubilité assez importante dans l'eau; de l'ordre de quelques grammes par litre.

# Plan de Situation

 : Carrière

① Hassi - Keddache	⑤ Carrefour Lagraf.
② Hassi - Madmar	⑥ H'djira
③ Exploitation Agricole	⑦ Débi - Débi.
④ Après Exploit. Agricole	



## CHAPITRE 3 :

### ETUDE EN LABORATOIRE

#### 1 - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS :

##### 1 - 1 Généralités :

L'étude a concerné 8 carrières de sable gypseux situées le long du CW 33 menant de la RN 3 à la commune de H'DJIRA dans la wilaya de OUARGLA.

Les échantillons ont été prélevés directement de ces carrières avec le maximum de soins afin qu'ils soient représentatifs du matériau en place. Pour cela, les prélèvements se font sur trois points d'un triangle, espacés généralement de 50 à 70 mètres. Ainsi pour chaque carrière, on a prélevé trois sacs de matériaux d'une cinquantaine de Kg chacun.

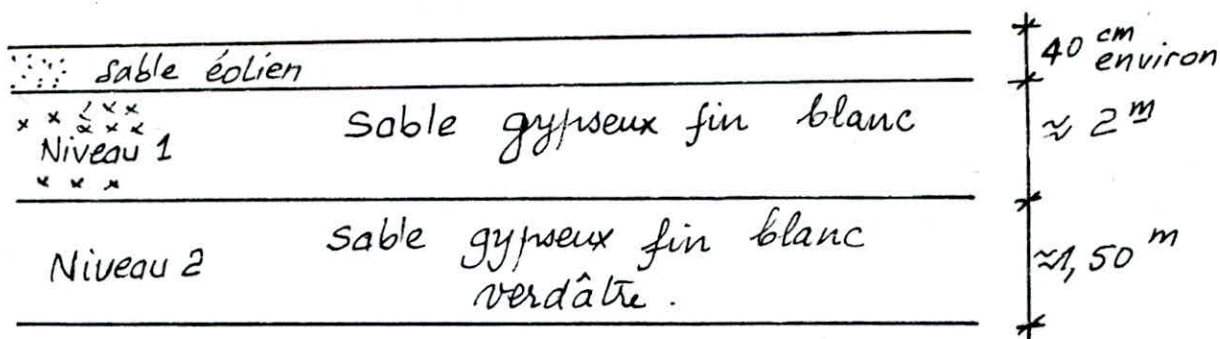
Ces derniers sont étiquetés en mentionnant le nom de la carrière, le Point Kilométrique (PK) et un numéro d'ordre.

##### 1 - 2 Localisation des carrières :

(voir plan de situation).

###### \* EMPRUNT N° 1 :

- \_ Lieu de prélèvement : Carrière Hassi-Keddache (Niveau 1)
- \_ P. K. : 12
- \_ Nature : Sable gypseux fin blanc
- \_ Etendue : Longueur : 600 m  
                          Largeur : 300 m
- \_ Composition de la croûte : \_ Composition de la croûte :

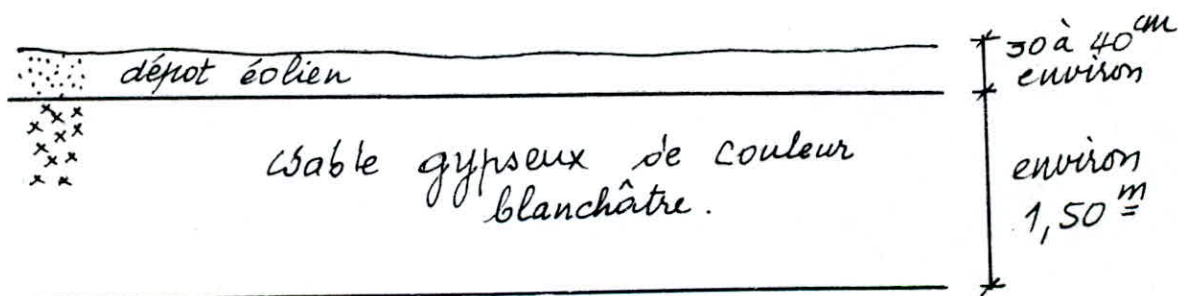


\* EMPRUNT N° 2 :

- \_ \_ Lieu de prélèvement : Carrière Hassi-Keddache (Niveau 2)
- \_ P. K. : 12
- \_ Nature : Sable gypseux fin blanc verdâtre

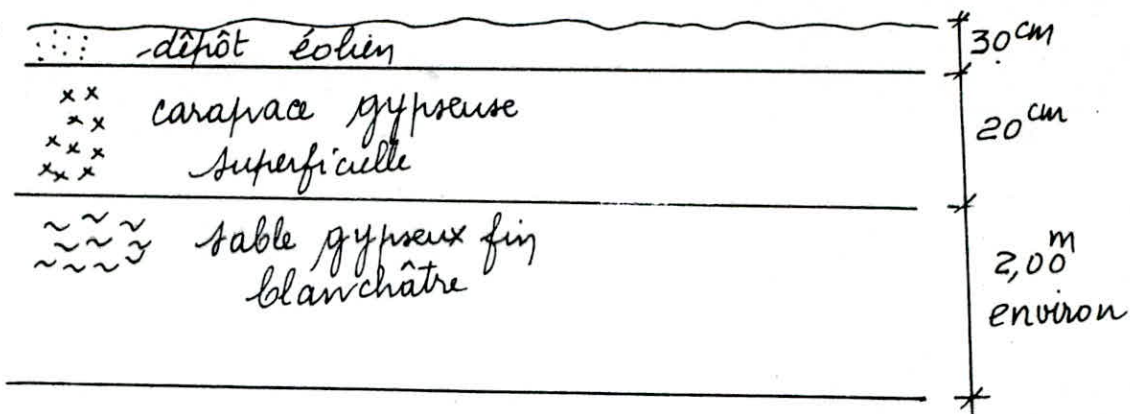
\* EMPRUNT N° 3 :

- \_ \_ Lieu de prélèvement : Carrière Hassi-Maamar
- \_ P. K. : 18
- \_ Nature : Sable gypseux nettement blanc
- \_ Etendue : Longueur : 300 m  
                  Largeur : 100 m
- \_ Composition de la croûte :



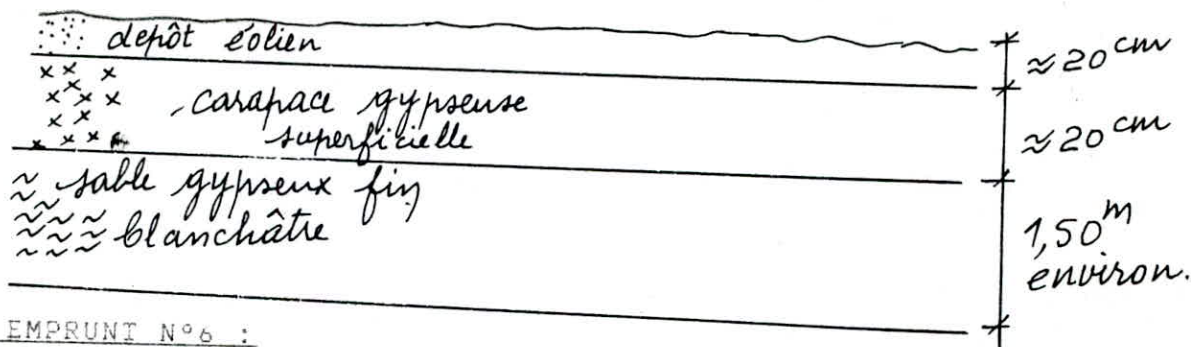
\* EMPRUNT N° 4 :

- \_ Lieu de prélèvement: Carrière dite Exploitation-Agricole
- \_ P. K. : 23
- \_ Nature : Sable gypseux fin blanchâtre
- \_ Etendue : Longueur : 400 m  
                  Largeur : 200 m
- \_ Composition de la croûte :



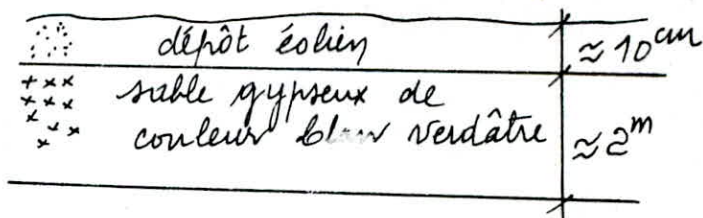
\* EMPRUNT N°5 :

- Lieu de prélèvement : Carrière dite après Exploitation-Agricole
- P. K. : 24
- Nature : Sable gypseux fin blanchâtre
- Etendue: Longueur : 700 m  
Largeur : 300 m
- Composition de la croûte :



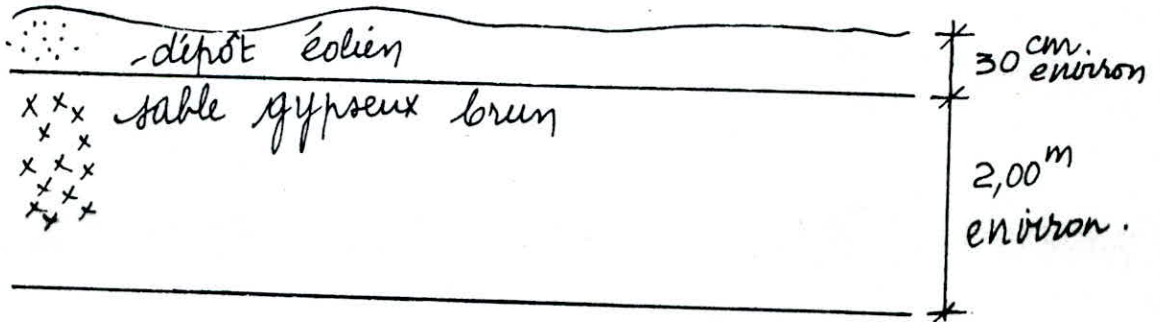
\* EMPRUNT N°6 :

- Lieu de prélèvement : Carrière dite carrefour LAGRAF.
- P. K. : 27
- Nature : Sable gypseux de couleur blanc verdâtre.
- Etendue : Longueur : 600 m  
Largeur : 400 m
- Composition de la croûte :



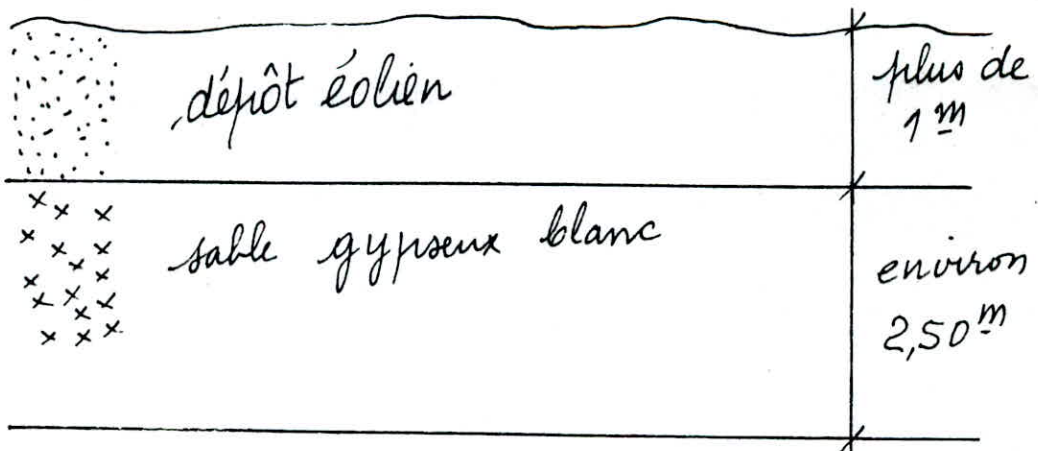
\* EMPRUNT N°7 :

- \_ Lieu de prélèvement : Carrière HAJIRA.
- \_ P. K. : 36
- \_ Nature : Sable gypseux de couleur brune.
- \_ Etendue : Longueur : 800 m  
                  Largeur : 450 m
- \_ Composition de la croûte :



\* EMPRUNT N°8 :

- \_ Lieu de prélèvement : Carrière DEBI-DEBI.
- \_ P. K. : 42
- \_ Nature : Sable gypseux de couleur blanche.
- \_ Etendue : Longueur : 300 m  
                  Largeur : 150 m
- \_ Composition de la croûte :



## 2 - ESSAIS DE LABORATOIRE

### 2 - 1 Essais d'identifications :

Tout projet de route doit-être étudié avec des données complètes, ce qui suppose une bonne connaissance du matériau utilisé. La reconnaissance de ce dernier est donc un des préliminaires indispensables; L'un des moyens les plus sûr est de prélever des échantillons autant que possible intacts. L'identification consiste à recueillir les renseignements nécessaires et les essais qu'il convient de faire pour assurer une bonne description de ces échantillon. Presque tous les pays du monde ont actuellement adopté les mêmes principes d'identification des sols. On admet qu'un sol est défini par sa courbe granulométrique et ses limites d'ATTERBERG : limite de liquidité, limite de plasticité et limite de retrait. L'essai sedimentometrique n'est <sup>pas</sup> nécessaire dans la géotechnique routière. En effet, dans cette dernière, il n'est pas nécessaire de donner la distribution des particules ,ayant un diametre inférieur à 0.08 mm ,suivant leur dimension ..Seulement ,on ne s'interesse qu'à la totalité de ces particules qui sont nuisibles dans les corps de chaussées.

Dans notre cas, les essais d'identifications effectués sont :

- \_ Analyse granulométrique
- \_ Limites d'atterberg
- \_ Essai équivalent de sable
- \_ Analyses chimiques



## A - ANALYSE GRANULOMETRIQUE

### 1 - BUT :

L'analyse granulométrique d'un sol a pour but de déterminer la proportion de ses différents constituants classés en fonction de leurs grosseurs.

Cet essai consiste à tamiser le sol à l'aide de tamis ou de passoires dont chacun retient les éléments ayant une certaine grosseur et à peser le reliquat du tamisage de chaque tamis ou passoire.

### 2 - PREPARATION DE L'ECHANTILLON :

On pèse 1000g du matériau qui constituera notre échantillon. Cet échantillon est remanié, mis dans des petits bacs contenant de l'eau pendant 24 heures. N'ayant pas trouvé de matières organiques, on fait un tamisage à l'aide d'un tamis de 0.08 mm. Pour le tamisage simple, on prend les particules ayant les dimensions supérieures à 0.08 mm et on les met dans l'étuve à 55°C pendant 24 heures.

**N.B.** : Le séchage du matériau dans l'étuve se fait à 55°C et non pas à 105°C comme le cas courant. Cette particularité est dans le but d'éviter la transformation du gypse en plâtre.

### 3 - MODE OPERATOIRE :

Le tamisage est effectué à sec (le tamisage se fait directement après étuvage). Dans nos essais, le matériau ne contient pas de gros éléments. On prend alors la série de tamis qu'on place l'un sur l'autre dans l'ordre décroissant de haut en bas (5 mm, 2 mm, 1 mm, 0.4 mm, 0.2 mm, 0.1 mm et 0.08 mm). Ces tamis sont emboîtés convenablement les uns sur les autres.

On imprime l'ensemble des tamis de brusques secousses horizontales pendant quelque minutes, puis on fait un tamisage tamis par tamis. On pèse le refus retenu pour chaque tamis et on note les poids sur la feuille d'essai. Ainsi les opérations terminées, on passe aux calculs.

#### 4 - CALCULS :

Ayant les poids des refus cummulés, on calcule les refus cummulés en pourcentage. Ceci se détermine en divisant le poids des refus cummulés sur le poids de l'échantillon, ce rapport est multiplié par 100.

Après ce calcul on détermine le tamisat cummulé en % (complément à 100 des refus cummulés). Ainsi ayant le tamisat cumulé (en %) et la série des tamis, on trace la courbe granulométrique.

**N.B.** : Avant de réaliser toutes ces opérations, on fait passer l'échantillon dans une étuve à 55°C jusqu'à ce que son poids soit constant.

#### 5 - RESULTATS DES ESSAIS ET CALCULS :

Voir feuilles d'essais. (*voir annexe*).

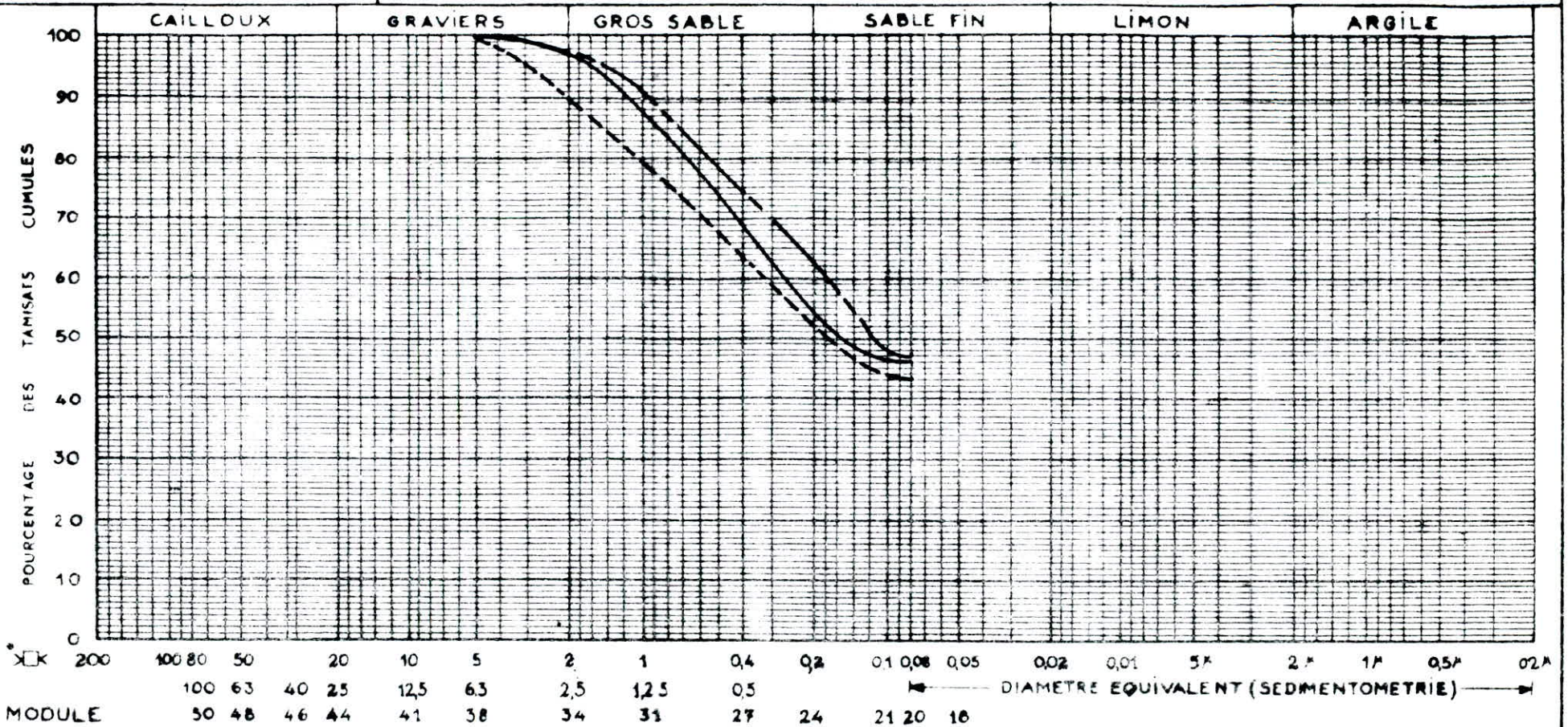
BA 206 KOUBA

DESIGNATION  
DES  
ECHANTILLONS

EMP 2 N° Carrière HASSI KEDDACHE NIV 2 OUARGLA  
EMP 3 N° Carrière HASSI MAAMAR OUARGLA

DOSSIER

S.6 et S.7 ANALYSE GRANULOMETRIQUE



	%	S.8 LIMITES D'ATTERBERG			S.20 E.S.
		W.L.	W.P.	W.R.	
Ech. /	46	/	/	/	/
Ech. /	47	/	/	/	/
Ech. /	43	/	/	/	/

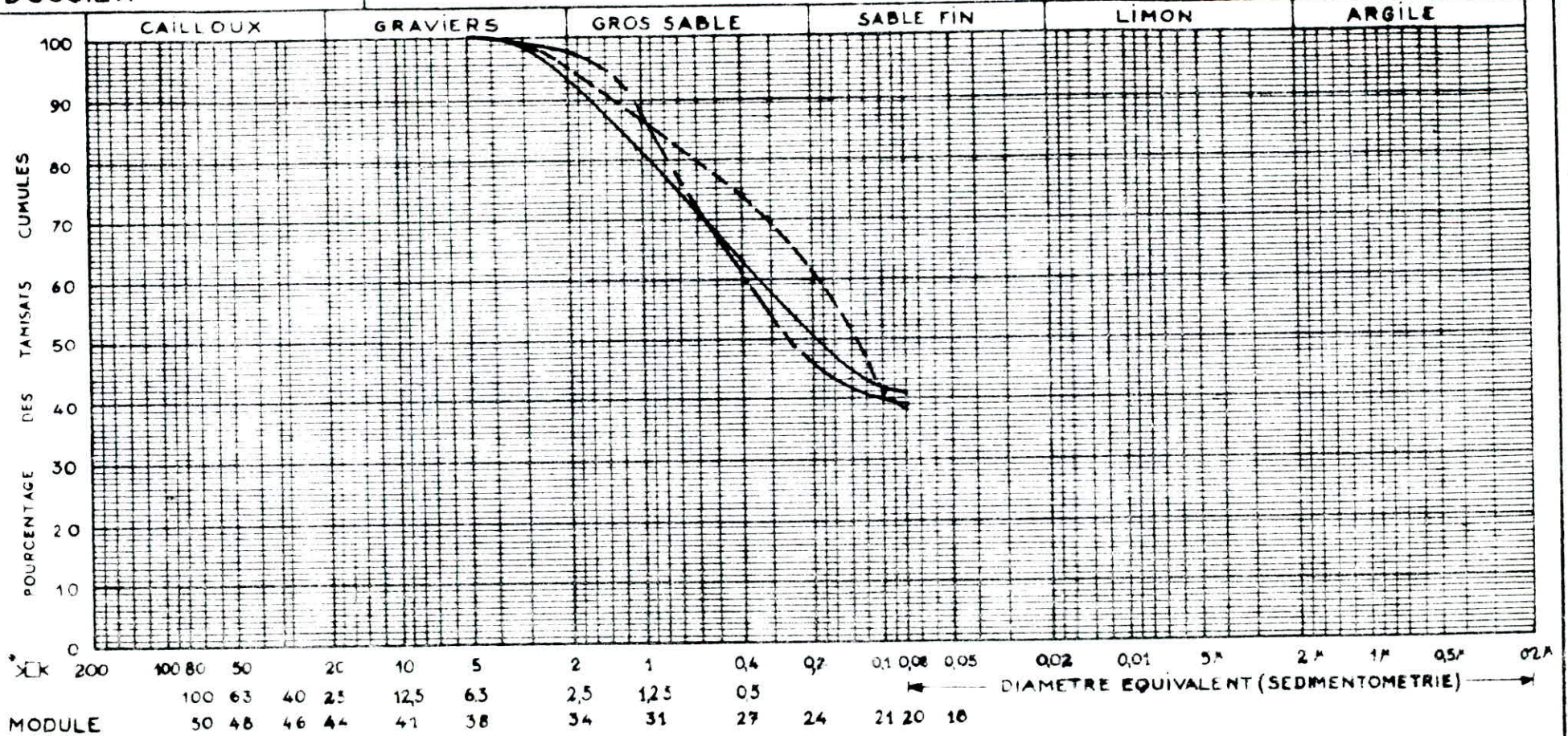
BA 206 KOUBA

DESIGNATION  
DES  
ECHANTILLONS

EMP 5 N° Apres exploitation agricole 04RGLA  
EMP 6 N° Apres Carrebur 1983 04RGLA

DOSSIER

S.6 et S.7 ANALYSE GRANULOMETRIQUE



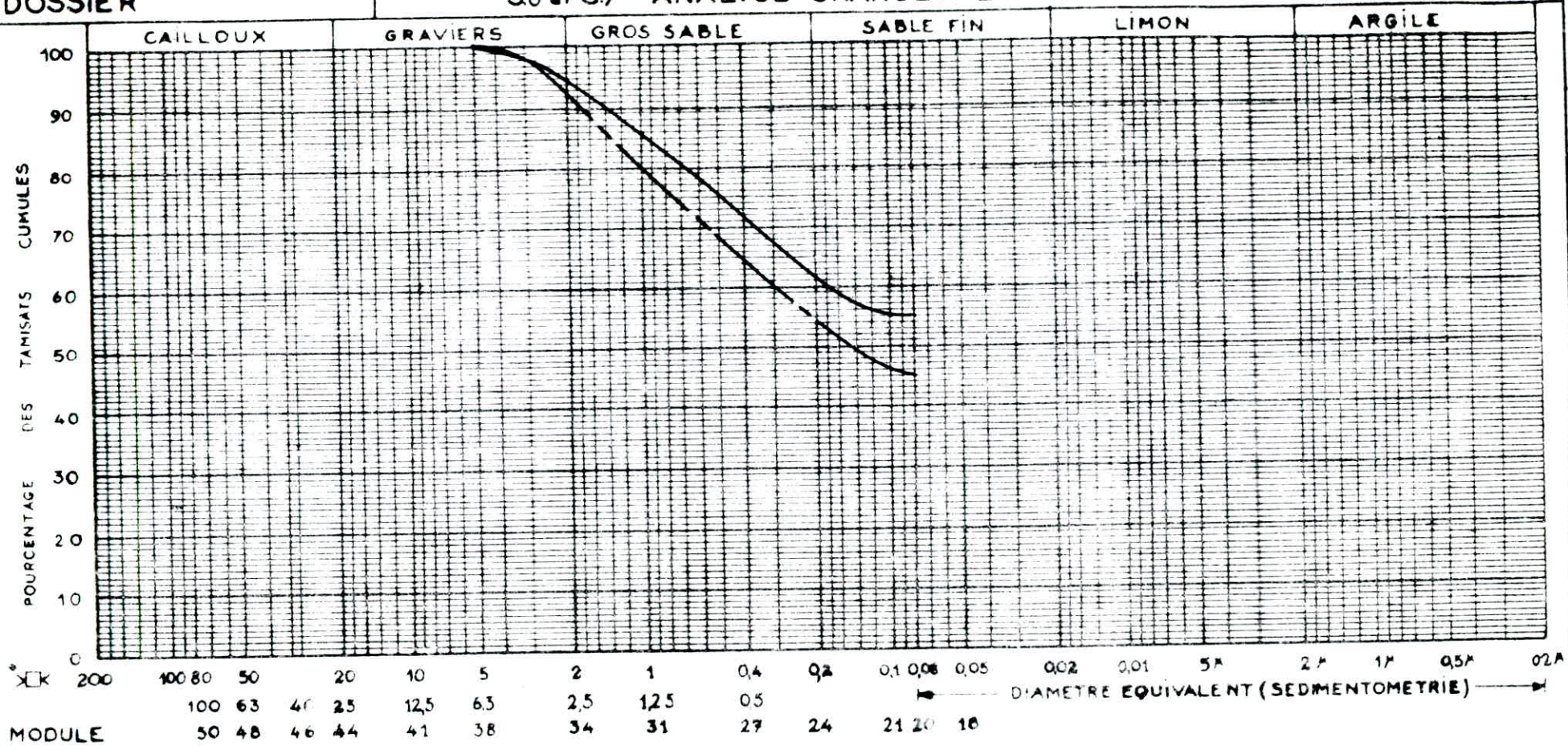
	%	S.8 LIMITES D'ATTERBERG			S.20 E.S.
		W.L.	W.P.	W.R.	
Ech. /	41%	/	/	/	/
Ech. - - -	39%	- - -	- - -	- - -	- - -
Ech. / - - -	39%	/ - - -	/ - - -	/ - - -	/ - - -

BA 206 KOUBA

DÉSIGNATION DES ECHANTILLONS  
 EMP N° 11111111  
 EMP 8 N° DEBT DEBT  
 N°

DOSSIER

S6 et S7 ANALYSE GRANULOMETRIQUE



	%	S.8 LIMITES D'ATTERBERG			S.20 E.S.
		W.L.	W.P.	W.R.	
Ech. /	45%	/	/	/	/
Ech. /	56%	/	/	/	/
Ech.					

1 INTRODUCTION :

Cet essai se réalise sur les sols cohérents. Les limites d'ATTERBERG déterminent la plasticité d'un sol. Cette plasticité dépend d'une grande partie de la teneur en eau du matériau.

Les sols peuvent se présenter sous trois états:  
l'état liquide, l'état plastique et l'état solide.

-A l'état liquide, les grains sont indépendants les uns des autres, leurs mouvements relatifs sont aisés .

-A l'état plastique, les grains se sont rapprochés et ont mis en commun les couches adsorbées. Lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres sans s'éloigner .

-A l'état solide les grains sont encore plus près les uns des autres. Les frottements internes sont importants.

la transition d'un état à un autre est très progressive. On utilise généralement les limites définies par ATTERBERG et précisées par CASAGRANDE :

- la limite de liquidité,
- la limite de plasticité,
- la limite de retrait.

2 PREPARATION DE L' ECHANTILLON :

Après avoir laissé l'échantillon imbibé dans un petit bac pendant 48 heures, on procède au lavage et tamisage de ce matériau.

Le tamisage se fait à l'aide d'un tamis 0.4 mm. le passant est recueilli dans un grand bac. Une fois qu'on a la quantité suffisante voulue, on arrête le lavage. Le refus au tamis 0,4 mm sera jeté. On laisse le matériau décanter dans le grand bac, une fois l'eau éclaircie, on l'enlève par un simple siphonage,

n'ayant que le matériau dans le grand bac, on le met à l'étuve à une température de 55 °C pendant 48 heures jusqu'à ce que le poids du matériau reste constant.

Après ce temps, et vu que le matériau est sec, on l'enlève du grand bac, on le met sur une plaque en marbre, on lui verse un peu d'eau, et on attend un moment. On commence à malaxer rigoureusement la pâte, à l'aide d'une spatule. Une fois la pâte est bien malaxée, on la met en un tas, on la couvre à l'aide d'une charlotte et on la laisse ainsi pendant 48 heures.

### 3. LIMITE DE LIQUIDITE :

La limite de liquidité sépare l'état liquide de l'état plastique.

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau (exprimée en pourcent %) qui correspond à une fermeture à 25 chocs.

#### **3-1 . MODE OPERATOIRE :**

Après ce temps on commence à malaxer la pâte à la spatule pendant un certain temps. On place dans la coupelle un peu de pâte qu'on répartit sur une épaisseur identique à l'aide de la spatule sur tout le fond de la coupelle. On place la coupelle sur l'appareil de Casagrande, puis on étale cette pâte sur la coupelle et on trace un sillon avec un outil spécial en forme de "V" (outil à rainure). On imprime à la coupelle une succession de chocs semblables à l'aide d'une canne de façon à provoquer la fermeture du sillon sur une longueur de 1 cm.

Sur ce premier essai, le nombre de coups doit-être compris entre 10 et 20. En ayant ce nombre de coups, on préleve à l'aide de la spatule de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elle se sont refermées, deux petits

échantillons qu'on met dans des godets. Ces petits échantillons vont servir pour la détermination de la teneur en eau qui correspond au nombre de coups de fermeture obtenu.

On passe au deuxième essai, on recommence les mêmes opérations décrites auparavant jusqu'à obtenir le nombre de coups compris entre 20 et 30 et on fait un prélèvement de deux petits échantillons pour la détermination de la teneur en eau qui correspond à ce nombre de coups de fermeture.

On passe au troisième essai, ainsi on a six (6) godets humides qu'on pèse à l'aide d'une balance électrique à haute précision. Une fois peser, on les met à l'étuve à 55 °C jusqu'à poids constant.

Après étuvage, on les pèse encore, et de là on a toutes les données pour déterminer la teneur en eau.

### 3 2. CALCULS :

Poids de l'eau = poids total humide - poids total sec

$$P_w = P_H - P_S$$

Poids du sol sec = poids total sec - poids de la tare

$$P_{SS} = P_S - P_T$$

Teneur en eau en(%) =  $( P_w / P_S ) * 100$

### 4 - LIMITE DE PLASTICITE :

La limite de plasticité sépare l'état plastique de l'état solide.

Par définition, la limite de plasticité est la teneur en eau (exprimée en %) du cylindre qui se brise en petits tronçons de 10 à 20 mm de long au moment où son diamètre atteint 3 mm.

### 4 - 1 PREPARATION DE L'ECHANTILLON

On prend une quantité suffisante de l'échantillon précédent et on commence à la dessécher en la malaxant longuement à l'aide d'une spatule.



#### 4 - 2. MODE OPERATOIRE :

Une fois la pâte est devenue plastique, on lui donne une forme rectangulaire qu'on partage en plusieurs morceaux.

On prend un des morceaux et on le roule entre la paume de la main et le marbre. On continue cette opération jusqu'à l'obtention d'un fuseau de 3 mm de diamètre.

La limite de plasticité est atteinte lorsque le fuseau formé se sépare en petits tronçons de 10 à 20 mm de long pour un diamètre de 3 mm.

Le tronçon est séparé en petits morceaux de 20 mm de long, ces derniers sont placés dans des godets tarés et pesés immédiatement, puis on les met à l'étuve à 55 °C jusqu'à poids constant (48 heures). Le lendemain, ils sont pesés secs.

#### 4 3. CALCULS :

On inscrit le numéro de la tare, le poids total humides, le poids total sec et le poids de la tare.

Poids de l'eau = Poids total humide - Poids total sec

$$P_w = P_h - P_s$$

Poids du sol sec = Poids total sec - Poids de la tare

$$P_{SS} = P_s - P_t$$

Teneur en eau en % =  $( P_w / P_{SS} ) * 100$

$$W_p = W_i / n$$

où  $W_i$  = somme des teneurs en eau

$n$  = nombre d'essai

#### 5 - LIMITE DE RETRAIT :

##### 5 - 1. DEFINITION:

La limite de retrait est mesurée en suivant la variation de volume d'un échantillon de sol en fonction de sa teneur en eau.

Quand la teneur en eau diminue, le volume de l'échantillon décroît linéairement. Puis brusquement à partir d'une certaine teneur en eau, au moment où les grains entrent en contact, le volume cesse de décroître quand la dessiccation se poursuit. Réciproquement quand on part de l'échantillon sec qu'on humidifie progressivement, son volume reste d'abord constant puis brusquement à partir de la même teneur en eau l'échantillon commence à gonfler.

La limite de retrait est la teneur en eau à partir de laquelle le volume de l'échantillon cesse de diminuer quand sa teneur en eau décroît, ou commence à augmenter quand sa teneur en eau croît.

#### 5 - 2. PRINCIPE DE LA MESURE :

On part d'un échantillon de mortier porté au voisinage de sa limite de liquidité, dont on mesure son volume  $V_i$  et son poids  $P_i$ . Après dessiccation complète, on mesure à nouveau son volume  $V_f$  et son poids  $P_f$ . Le poids d'eau contenue dans l'échantillon à son état initial est :

$$E_i = P_i - P_f .$$

Si l'on admet que l'échantillon initial est saturé c'est-à-dire ne contient plus d'air dans ses pores, la perte d'eau de l'échantillon, quand il passe de l'état initial à sa limite de retrait, est approximativement égale à la diminution correspondante de son volume,  $V_f$  étant le volume de l'échantillon à la limite de retrait, il vient :

$$\text{Eau perdue} : E_p = V_i - V_f$$

Ainsi la teneur en eau de l'échantillon déterminée par la formule :

$$(E_i - E_p) / P_f * 100$$

est sensiblement égale à la limite de retrait cherchée.

conventionnellement on admet, pour le calcul de la limite de retrait la formule suivante :

$$Lr = (Ei - Ep) / Pf * 100 = ((Pi - Pf) - (Vi - Vf)) / Pf * 100$$

5-RESULTATS DES ESSAIS : Voir feuilles d'essais (voir annexe).

## C - ESSAI EQUIVALENT DE SABLE

### 1 BUT DE L' ESSAI ET PRINCIPE :

Cet essai a pour but de servir d'essai rapide pour mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les agrégats fins.

Cet essai est purement empirique. Il s'effectue sur la fraction des sels passant au tamis de 5 mm.




Cette fraction de sable est lavée énergiquement avec une solution lavante normalisée. L'équivalent de sable est exprimé par un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins. (par exemple l'argile)

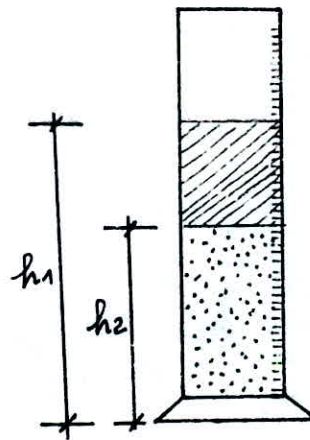
$$E.S = h_2 / h_1 * 100 \quad (\%).$$

ou  $h_1$  : lecture du niveau supérieur du *floculat*

$h_2$  : lecture du niveau supérieur du *sable*

Légende :

-  Sable
-  Floculat
-  Eau claire.



### 2 - MODE OPERATOIRE :

Après avoir séché, l'échantillon à l'étuve, on partage cet échantillon en trois parts. De chaque part, on prend 120g de sable. On verse de l'eau distillée contenant du chlorure de calcium ( $CaCl_2$ ) jusqu'à la première graduation (10 Cm<sup>3</sup>) dans chaque éprouvette. On prend trois éprouvettes identiques pour faire trois essais, pour amoindrir les erreurs, on prend un

résultat moyen). A trois minutes d'intervalle, on verse 120g de sable dans chaque éprouvette. On laisse reposer 10 minutes pour que la solution désintègre les impuretés et l'argile qui s'y trouvent. On bouche l'éprouvette cylindrique à l'aide d'un bouchon de caoutchouc. On fixe cette éprouvette sur la machine d'agitation et on fait subir à l'éprouvette 90 cycles en 30 secondes (mouvement horizontal). On remplit ensuite les éprouvettes avec la solution lavante jusqu'à la hauteur de 38cm puis on laisse le mélange se reposer pendant 20 minutes. après ce temps, on observe alors 3 étapes : le sable en bas, le flocculat au milieu et l'eau claire en haut .

### 3 - CALCULS :

On relève la colonne du sable (H2) et celle du flocculat avec le sable (H1) . Après on détermine l'équivalent de sable noté E.S. .

### 4 - RESULTATS DES ESSAIS : voir tableaux (*annexe*).

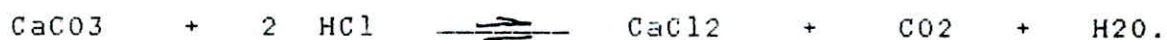
## D - ANALYSES CHIMIQUES DU MATERIAU

**OBJET:** Cet essai consiste à déterminer les taux de carbonates et de sulfates contenus dans le matériau.

Cette détermination est systématiquement réalisée sur les matériaux sahariens et est généralement un bon indicateur pour le choix des gisements. Un pourcentage assez fort en carbonates et de sulfates ( $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$ ) dans la fraction fine dénote d'un matériau qui recelera peu d'argile, donc qui sera peu plastique.

### \*\*\*\* Taux de Carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ):

On utilise le calcimètre **DIETRICH-FRUHLING**. L'essai consiste en une attaque d'une prise d'essai du matériaux par  $\text{HCl}$  concentré (6N) :



**Principe :** L'échantillon est versé dans un flacon à réaction et où l'on dépose avec précaution un tube contenant de l'acide chlorhydrique pur en solution. On fait basculer le tube d'acide et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé .

### \*\*\*\* Taux de Gypse ( $\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$ ):

On précipite dans une prise d'essai de 1 g du matériau , les sulfates par le chlorure de Baryum ( $\text{BaCl}_2$ ) selon l'équation suivante :



Ce pourcentage d'anhydrite est déduit par calcul après perte totale d'eau de la prise d'essai après chauffage. Ce pourcentage d'anhydrite est donc théorique puisqu'on ne tient pas compte des molécules d'eau des hémihydrate  $\text{CaSO}_4, n\text{H}_2\text{O}$  ( $0 < n < 2$ ).

Résultats des essais chimiques.

Emprunt	1	2	3	4	5	6	7	8
Taux de Carbonates (%)	1,63	3,27	2,45	2,45	9,83	12,29	2,45	2,45
Taux de sulfates (%)	55,9	40,13	37,12	32,87	34,54	38,36	83,13	82,13

## 2 - 2 CLASSIFICATION DES MATERIAUX :

### 2 - 2 - 1 Introductions :

A partir des résultats fournis par les essais d'identifications, il est possible de classer les matériaux en différentes catégories. Pour cela, plusieurs approches ont été mises au point . A ce propos on citera :

- La classification selon H.R.B. (Highway research Board)
- La classification selon U.S.C.S. (The United Soil Classification System)
- La classification selon R.T.R. (Recommandation Terrassements Routiers)

### A - CLASSIFICATION SELON H.R.B. :

Cette classification est basée à la fois sur la granulométrie , la plasticité et l'indice de groupe .Elle est la plus utilisée dans la géotechnique routière .

Cette classification utilise une analyse granulométrique simplifiée (tamis de 2mm, 0.4mm et 0.08mm) ainsi que la limite de liquidité et l'indice de plasticité . Le tamisage au tamis de 0.08mm permet de distinguer les sols fins (catégories A4 à A7) des sols grenus (catégories A1, A2 et A3) suivant que le tamisat est supérieur ou inférieur à 35% .

Pour les sols fins, la valeur de l'indice de plasticité permet de distinguer les sols limoneux ( $I_p < 10$  , groupe A4 et A5) des sols argileux ( $I_p > 11$ , groupe A6 et A7). La limite de liquidité permet de séparer le groupe A4 du groupe A5 et le groupe A6 du groupe A7 .

Dans les sols grenus , on distingue les groupes A1 (cailloux , gravier et sable ) et A3 (sable fin) , qui sont dépourvus de plasticité , ou presque , du groupe A2 qui comprend des mélanges



CLASSIFICATION AMERICAINE DES SOLS - HIGHWAY RESEARCH BOARD - H R B -

Classification générale	Sols grenus (35% au maximum passant au tamis 80 $\mu$ )							Sols fins (35% au minimum passant au tamis 80 $\mu$ )				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-6	A-6	A-7	
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Analyse granulométrique: % passant au tamis: 2 mm 0,5 mm 0,08 mm	max 50 max 30 max 15	max 50 max 25	min 50 max 10	max 35	max 35	max 35	max 35	min 35	min 35	min 35	min 35	min 35
Caractéristiques du mortier: Limite de liquidité Indice de Plasticité				$\leq 40$	$\geq 40$	$\leq 40$	$\geq 40$	$\leq 40$	$\leq 40$	$\leq 40$	$\geq 40$	$\geq 40$
Indice de Groupe	$\leq 6$	$\leq 6$		$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$
Type de matériaux habituels significatifs	pierres, graviers et sable		Sable fin	Graviers et Sable limoneux ou argileux				Sols limoneux		Sols argileux		
Estimation en corps de chaussées	Excellent à bon							Passable à mauvais				

-55-

de graviers et sables limoneux ou argileux. Le groupe A2 est d'ailleurs divisé en quatre sous- groupes (de A2-4 à A2-7) suivant les memes critères que les sols fins .

\*\* Calcul de l'indice de groupe :

L'indice de groupe noté Ig est un des éléments qui intervient dans la classification des sols routiers , notamment la classification selon H.R.B. .

L'indice de groupe est donné par la formule suivante :

$$I_g = 0.2 * a + 0.005 * a * c + 0.01 * b * d .$$

Les paramètres a,b,c et d ont les valeurs ci-après :

soit n le pourcentage en poids sec des éléments passant au tamis de 0.08mm , Wl la limite de liquidité du sol et Ip son indice de plasticité.

\* Valeurs de a et de b :

SI	0 < n < 15	a = 0
		b = 0
SI	15 < n < 35	a = 0
		b = n-15
SI	35 < n < 55	a = n-35
		b = n-15
SI	55 < n < 75	a = n-35
		b = 40
SI	n > 75	a = b = 40

\* Valeurs de c

SI	Wl < 40	c = 0
SI	40 < Wl < 60	c = Wl-40
SI	Wl > 60	c = 20

\* Valeurs de d

SI	Ip < 10	d = 0
SI	10 < Ip < 30	d = Ip - 10

Classification selon U.S.C.S.

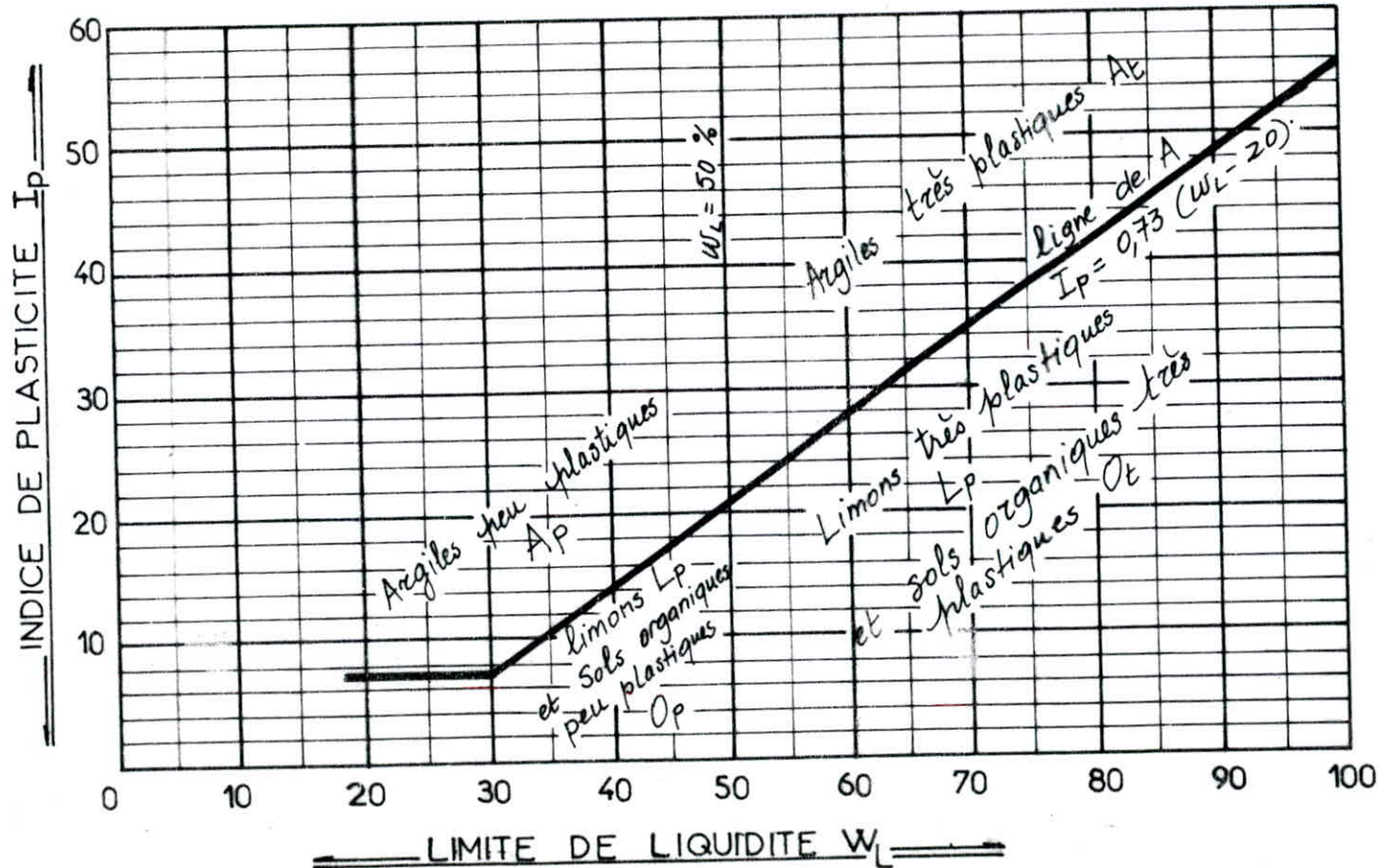
Classification des sols grenus

Plus de 50% des éléments > 0,08 mm

Définitions		Symbol.	Conditions	Appella.
Graves	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm Ont un diamètre > 2 mm	Gb (GW)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave bien propre graduee
		Gm (GP)	Une des conditions de (Gb) non satisfaite	grave propre mal graduee
	Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	GL (GM)	Limite d'Atterberg au-dessous de A	grave limoneuse
	Plus de 5% d'éléments < 0,08 mm	GA (GC)	Limite d'Atterberg au-dessus de A	grave argileuse
Sables	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm Ont un diamètre < 2 mm	Sb (SW)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	Sable bien propre gradue
		Sm (SP)	Une des conditions de (Sb) non satisfaite	Sable propre mal gradue
	Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Ss (SM)	limite d'Atterberg au-dessous de A.	Sable limoneux
	Plus de 5% d'éléments < 0,08 mm	SA (SC)	Limite d'Atterberg au-dessus de A.	Sable argileux

# CLASSIFICATION DE LABORATOIRE DES SOLS FINS

## DIAGRAMME DE PLASTICITE



**B - CLASSIFICATION SELON U.S.C.S. :**

Cette classification est basée à la fois sur la granulométrie et les limites d'ATTERBERG. Elle est fréquemment utilisée, dans la géotechnique routière.

Cette classification utilise également une analyse granulométrique simplifiée (tamis de 2 mm et 0.08 mm). Elle est utilisée pour les sols grenus (sols ayant plus de 50 % d'éléments dont le diamètre est supérieur à 80  $\mu$ m).

Le tamisage au tamis de 2 mm des éléments ayant les diamètres supérieurs à 80  $\mu$ m, permet de distinguer les sables des graves, ainsi que les sables et les graves entre eux. Cette distinction se fait en calculant les coefficients d'uniformité et de courbure ( $C_u = D_{60} / D_{10}$  et  $C_c = (D_{30}) / (D_{10} * D_{60})$ ) et en utilisant l'abaque de plasticité de CASAGRANDE (rappelant que  $D_x$  est l'ouverture du tamis au travers duquel passe x % du poids des grains).

**C - CLASSIFICATION SELON R.T.R. : (L.C.P.C. Paris).**

Dans cette classification, les sols sont réparties en six (6) classes, définies en fonction des caractéristiques intrinsèques. Ces classes sont notées de A à F et se différencient entre elles par le pourcentage d'éléments passant au tamis de 80  $\mu$ m, la comparaison du plus gros élément à 50 mm et la nature du matériaux.

Chaque classe est divisée en sous classes en fonction des caractéristiques intrinsèque.

-Pour la classe A qui distingue les sols fins, les sous classes (notée de A1 à A4) sont données en fonction de la valeur de l'indice de plasticité.

# Classification selon K.T.K.

## DEFINITION DES CLASSES : CARACTERES GENERAUX

CLASSE	DÉNOMINATION	CRITÈRES CARACTÉRISTIQUES	EXEMPLES	COMMENTAIRES
<b>A</b>	Sols fins.	Diamètre des plus gros éléments < 50 mm. Tamisat à 80 µm > 35 %.	Silts, limons, argiles, etc.	Tous les sols des classes A, B et C, même non plastiques (silts, sables très fins) sont sensibles à l'eau, cette sensibilité étant considérée dans l'optique de l'exécution des terrassements (traficabilité, compactage) et du comportement des plates-formes.
<b>B</b>	Sols sableux ou graveleux avec fines.	Diamètre des plus gros éléments < 50 mm. Tamisat à 80 µm entre 5 et 35 %.	Sables et graves argileux, etc.	La différence entre les classes A et B est dans le pourcentage de fines, d'où des différences de sensibilité à l'eau (plus ou moins long temps de réponse aux variations des conditions météorologiques) et de comportement mécanique (frottement, cohésion).
<b>C</b>	Sols comportant des fines et des gros éléments.	Diamètre des plus gros éléments > 50 mm. Tamisat à 80 µm > 5 %.	Argiles à silex, alluvions grossières, etc.	La différence principale entre les classes B et C concerne les gros éléments : présence de cailloux et de blocs dans les sols de la classe C, d'où : — emploi possible ou non selon la classe de certains outils de terrassement, — difficulté, pour les sols C, de réglage des plates-formes, d'exécution des tranchées...
<b>D</b>	Sols et roches insensibles à l'eau.	Tamisat à 80 µm < 5 %.	Sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc.	L'insensibilité à l'eau est considérée dans l'optique de l'exécution des terrassements : effet négligeable des conditions météorologiques sur la qualité des ouvrages réalisés.
<b>E</b>	Roches évolutives.	Fragilité et altérabilité définies par des essais dépendant de la nature des matériaux.	Craies, schistes, etc.	Matériaux évoluant pendant les travaux ou par la suite vers un sol sensible à l'eau ou vers une structure différente pouvant entraîner des tassements.
<b>F</b>	Matériaux putrescibles, combustibles, solubles ou polluants.	Critères caractéristiques dépendant de la nature des matériaux.	Tourbe, schistes houillers, gypse, résidus industriels polluants, etc.	Lorsqu'ils sont utilisables, ces matériaux doivent l'être dans les conditions applicables à la classe A, B, C, D ou E à laquelle ils se rattachent d'après leurs caractéristiques granulométriques ou éventuellement leur caractère de roche évolutive.

# Classification selon K. T. R.

Sols fins.	D < 50 mm Tamisat à 80 µm > 35 %	I <sub>p</sub> < 10		A <sub>1</sub>	
		10 < I <sub>p</sub> < 20		A <sub>2</sub>	
		20 < I <sub>p</sub> < 50		A <sub>3</sub>	
		I <sub>p</sub> > 50		A <sub>4</sub>	
Sols sableux et graveleux avec fines.	D < 50 mm Tamisat à 80 µm entre 5 et 35 %	Tamisat à 80 µm de 5 à 12 %	Refus à 2 mm inférieur à 30 %	ES > 35	B <sub>1</sub>
				ES < 35	B <sub>2</sub>
		Refus à 2 mm supérieur à 30%	ES > 25	B <sub>3</sub>	
			ES < 25	B <sub>4</sub>	
		Tamisat à 80 µm de 12 à 35 %	I <sub>p</sub> < 10		B <sub>5</sub>
			I <sub>p</sub> > 10		B <sub>6</sub>
Sols comportant des fines et des gros éléments.	D > 50 mm Tamisat à 80 µm > 5 %	Tamisat à 80 µm élevé		C <sub>1</sub>	
		Tamisat à 80 µm faible	D < 250 mm	C <sub>2</sub>	
			D > 250 mm	C <sub>3</sub>	
Sols et roches insensibles à l'eau.	Tamisat à 80 µm < 5 %	D < 50 mm	Refus à 2 mm inférieur à 30 %	D <sub>1</sub>	
			Refus à 2 mm supérieur à 30 %	D <sub>2</sub>	
		50 mm < D < 250 mm		D <sub>3</sub>	
		D > 250 mm		D <sub>4</sub>	
Roches évolutives.	Matériaux à structure fine, fragile avec peu ou pas d'argile.			E <sub>1</sub>	
	Matériaux à structure grossière, fragile avec peu ou pas d'argile.			E <sub>2</sub>	
	Matériaux évolutifs argileux.			E <sub>3</sub>	
Matériaux putrescibles, combustibles, solubles ou polluants.				F	

-Pour la classe B qui distingue les sols sableux et graveleux avec fines les sous classes (notées de B1 à B6) sont données en fonction du tamisat au tamis de 80 um. du refus au tamis de 2 mm, l'équivalent de sable et l'indice de plasticité.

-Pour la classe C qui distingue des sols comportant des fines et des gros éléments, les sous classes (notées de C1 à C3) sont données en fonction du tamisat au tamis de 80 um et le diamètre du plus gros élément.

-Pour la classe D qui distingue des sols et les roches insensibles à l'eau, les sous classes (notées de D1 à D4) se différencient par la grosseur du plus gros élément et le pourcentage du refus au tamis de 2 mm.

-Pour la classe E et F les sous classes (notées de E1, E2, E3 et F) sont données en fonction de la nature du matériau.

## 2 - 2 - 2 - Classification :

### A - CLASSIFICATION SELON H.R.B

Pour tous les emprunts étudiés, les tamisats au tamis de 0.08 mm dépassant 35 %. Donc ces matériaux sont des sol fins.

La limite de liquidité WL de ces matériaux varie entre 21 et 26 % et l'indice de plasticité Wp est de l'ordre de 5 à 8 %. D'autre part l'indice de groupe est inférieur à 8 % (variant de 0.8 à 4.2 %). En se basant sur ces fourchettes de paramètres, on conclue que ces matériaux sont de la Classe A4 (Sables Limoneux).

### B - CLASSIFICATION SELON U.S.C.S :

D'après l'analyse granulométrique de ces emprunts, on constate que les refus au tamis de 0.08 mm forment plus de 50 % (entre 50 et 61 %), donc le matériau en question est un sol grenus. Les tamisats au tamis de 2 mm représentent plus de la moitié du refus à celui de 0.08 mm pour tous les emprunts, ainsi ces matériaux sont des Sables.



De plus, les tamisats de 0.08 mm forment une grande proportion (de l'ordre de 39 à 50 %) et que les limites d'ATTERBERG forment un nuage se trouvant au dessous du digramme de plasticité de CASAGRANDE. Ainsi ces matériaux s'identifient comme des Sables limoneux (Catégorie SL).

#### C - CLASSIFICATION SELON R.T.R. :

Les matériaux étudiés ont des diamètres inférieurs à 5 mm et que les tamisats à 80 um sont plus de 35 %. Donc ces matériaux sont des sols fins (Classe A).

De plus l'indice de plasticité de ces matériaux varie entre 5 et 8 % ( < 10 %), ainsi ces matériaux sont de la **Sous Classe A1**.

#### D - CLASSIFICATION SELON LES ANALYSES CHIMIQUES :

D'après les approches de classifications ci-dessus (H.R.B, U.S.C.S et R.T.R ), on constate que les matériaux sont tous de la même catégorie (Sable limoneux d'après H.R.B et U.S.C.S et A1 d'après R.T.R), donc on ne peut pas constituer plus d'une famille de ces matériaux ).

Mais vu les taux de sulfates que renferme chaque emprunt et qui conditionnent la prise après compactage, on est aboutit à constituer 4 familles :

- \* Famille A =Emprunt 1
- \* Famille B =Emprunts 2, 3 et 6
- \* Famille C =Emprunts 4 et 5
- \* Famille D =Emprunts 7 et 8

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'IDENTIFICATION

<i>Emprunt</i> №	1	2	3	4	5	6	7	8
GRANULOMETRIE % TAMISAT AU TAMIS								
* 20 mm (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
* 5 mm (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
* 2 mm (%)	97	97	89	93	88	95	95	93
* 0,08 (%)	46	47	43	41	39	39	50	45
LIMITES D'ATTERBERG								
LIMITE DE LIQUIDITE	24,00	23,00	16,00	23,00	21,00	25,00	26,00	23,00
LIMITE DE PLASTICITE	17,00	16,00	23,00	17,00	15,00	17,00	20,00	18,00
INDICE DE PLASTICITE	07,00	07,00	07,00	06,00	06,00	08,00	06,00	05,00
EQUIVALENT DE SABLE (%)	23	20	29	31	27	30	29	30
LIMITES DE RETRAIT (%)	39	44	54	46	38	36	36	29
ANALYSE CHIMIQUES	1,63	3,27	2,45	2,45	9,83	12,29	2,45	2,45
CARBONATES (%) (CaCO <sub>3</sub> )								
SULFATES (%) (CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O)	55,9	40,13	37,12	32,87	34,54	38,36	83,13	82,13

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'IDENTIFICATION (Suite)

<u>Emprunt N°</u>	1	2	3	4	5	6	7	8
<u>INDICE DE GROUPE</u>	2,2	2,4	1,6	1,2	0,8	0,8	4,2	2,0
<u>CLASSIFICATION SELON H.R.B.</u>	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4	Sable limoneux A4
<u>CLASSIFICATION SELON U.S.C.S.</u>	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux	Sable limoneux
<u>CLASSIFICATION SELON R.T.R.</u>	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1

- 65 -

<u>FAMILLE</u>	<u>EMPRUNTS RENFERMES</u>
A	1
B	2, 3 et 6
C	4 et 5
D	7 et 8

\*\*\* Toutes ces approches de classifications sont données dans le tableau récapitulatif

## 2 - 3 ESSAIS MECANIQUES :

### INTRODUCTION :

Après classification de ses matériaux, on procède aux essais mécaniques pour chaque famille. Ces essais consistent en :

- L'essai Proctor Modifié.
- L'essai de portance C.B.R.
- L'essai de compression simple.

### A - ESSAI PROCTOR :

#### A - 1 But de l'essai:

Définissons tout d'abord la teneur en eau et la densité sèche d'un sol.

La teneur en eau d'un sol, notée  $w$ , est le poids d'eau qu'il contient, rapporté au poids de ce sol après dessiccation:

$$w = M_w / M_s$$

où  $M_w$  est le poids d'eau

$M_s$  est le poids du sol sec.

La densité sèche notée,  $\rho_d$ , est le poids du sol sec par unité de volume apparent du sol.

$$\rho_d = M_s / V_t$$

où  $V_t$  est le volume apparent du sol.

Lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d'un même sol à des teneurs en eau différentes, on constate que les densités sèches obtenues varient avec les teneurs en eau des

échantillons au moment du compactage. La densité sèche croît d'abord avec la teneur en eau, puis à partir d'une certaine teneur en eau, elle décroît quand la teneur en eau augmente. Elle passe donc par un maximum qui est obtenu pour une teneur en eau bien déterminée, dénommée teneur en eau optimum notée **Wopt**.

L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage de densité donnée, la teneur en eau à laquelle doit-être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximum. La teneur en eau ainsi déterminée est appelée **teneur en eau Optimum Proctor**

#### A - 2 - Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter dans un moule standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer la teneur en eau du sol et sa densité sèche après le compactage. L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes. On détermine ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau. On trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Elles présentent un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau Proctor et l'ordonnée la densité sèche maximum Proctor (voir figure 1).

La partie de la courbe  $\rho_d = f(w)$  pour laquelle la teneur en eau est inférieure à l'optimum est dite branche sèche, l'autre partie est dite branche humide.

On a également représenté sur la figure 1 l'hyperbole de saturation :

$$W_{sat} = 100 * (1/\rho_d - 1/\rho_s)$$

qui donne la teneur en eau de saturation ( $\rho_s$  est la densité des grains).

Toutes les courbes  $\rho_d = f(w)$  qui pourraient-être tracées à différentes énergies de compactage sont en dessous de la couche de saturation.

En note enfin que la teneur en eau optimale décroît quant on fait croître l'énergie de compactage.

#### A - 3 - Energie de compactage :

L'essai Proctor s'effectue généralement pour deux compactages d'intensités différentes.

\*\* Dans l'essai Proctor Normal, le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études des remblais en terre (barrages...).

\*\* Dans l'essai Proctor Modifié, le compactage est beaucoup plus intense, il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier. C'est ordinairement par l'essai Proctor Modifié, que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optimale, densité sèche maximale) des matériaux destinés à constituer le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes.

#### A - 4 - Moule Proctor et moule C.B.R. :

L'essai proctor (aussi bien le Proctor normal que le Proctor modifié) s'effectue dans l'un ou l'autre des deux moules standards suivants :

a) Dans un moule à faible section dit "Moule Proctor" ce moule est utilisé dans notre cas pour la détermination des caractéristiques de compactage utilisées dans l'essai de compression simple.

b) Dans un moule à large section dit "Moule C.B.R.". Ce moule est utilisé dans notre cas pour la détermination des caractéristiques de compactage utilisées dans l'essai C.B.R. .

#### A - 5 - ESSAIS :

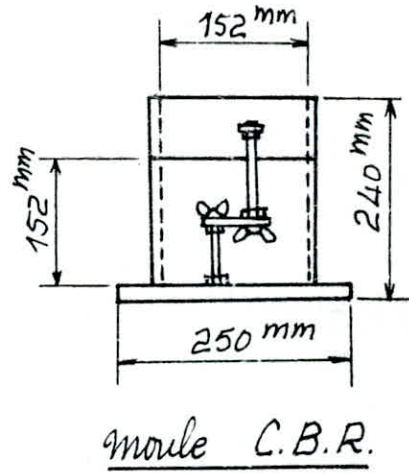
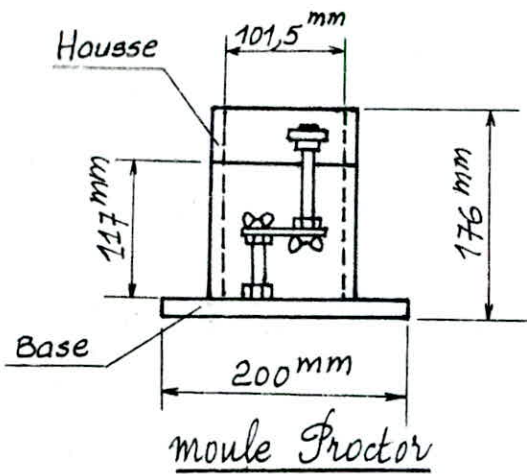
Le matériau est séché à l'étuve à 55°C pendant 48h .Après séchage, le matériau est ensuite pulvérisé.

Les essais effectués sont :

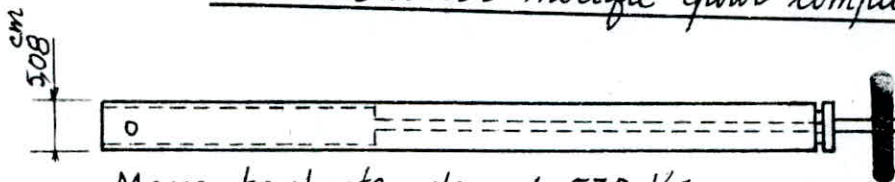
a) Essai Proctor Modifié sur grand moule (MOULE C.B.R.) :  
Le compactage se fait en 5 couches successives d'environ 2.5cm d'épaisseur et s'effectue avec la dame "Proctor Modifié" à raison de 55 coups par couche.

b) Essai Proctor Modifié sur petit moule (MOULE PROCTOR):  
Le compactage se fait en 5 couches également avec la dame "proctor modifié" à raison de 25 coups par couche.

A - 6 - RESULTATS DES ESSAIS : Voir feuille d'essais.  
(annexe).



Dame Proctor modifié pour compactage.



Masse tombante de : 4,530 Kg.  
Hauteur - de chute : 45,7cm.

## B - ESSAI C.B.R. (California Bearing Ratio) :

### B - 1 - DEFINITION ET SIGNIFICATION :

C'est un essai de poinçonnement empirique imaginé par Porter ( California Division of Highway ) en 1938 pour évaluer la portance des supports de chaussées . Cette portance est donnée par un indice dit " INDICE PORTANT CALIFORNIA ou CBR " qui est un nombre sans dimensions exprimant, en pourcentage, le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part, et dans un matériau type d'autre part. Les modalités de cet-essai sont arbitraires et elles ne peuvent donc en aucun cas traduire les propriétés fondamentales des sols du point de vue de leur résistance ; c'est néanmoins un moyen d'apprécier indirectement la résistance au cisaillement du sol , ainsi que sa rigidité (en général à la rupture ), comparée à celle d'un sol de référence.

### B - 2 - PRINCIPE DE L'ESSAI :

Dans cet essai, on mesure la charge nécessaire pour obtenir à une vitesse fixée ( dans notre cas  $v = 1,30 \text{ mm/mn}$  ), l'enfoncement d'un poinçon normalisé dans le sol, avant ou après que le sol ait été immergé pendant 4 jours (fig 1-a).

L'imbibition totale du corps de chaussée, dans les régions sahariennes, est improbable. Pour cela le poinçonnement se fait sans que le moule ne soit immergé dans l'eau. Donc, on procède directement à un poinçonnement immédiat ( juste après compactage ) Par contre dans les régions du nord, vue la pluviométrie importante, il ya lieu de de poinçonner le sol, après que celui-ci ait été immergé pendant quatre jours ( cas le plus défavorable ).



L'essai C.B.R. est effectuée avec un appareillage normalisé et dans les bien déterminées. La portance du sol déterminée par cet essai est exprimée par l'indice C.B.R. rapport de la pression mesurée à celle produisant le même enfoncement dans une grave de référence (fig 1-b).

En cours d'essai, on mesure les pressions qui conduisent à des enfoncements de 2.5mm et de 5mm et on définit l'indice C.B.R. comme étant la plus forte valeur du rapport :

$$\text{Pression(enfoncement 2.5mm)} / 0.7$$

ou  $\text{Pression(enfoncement 5mm)} / 1.05$

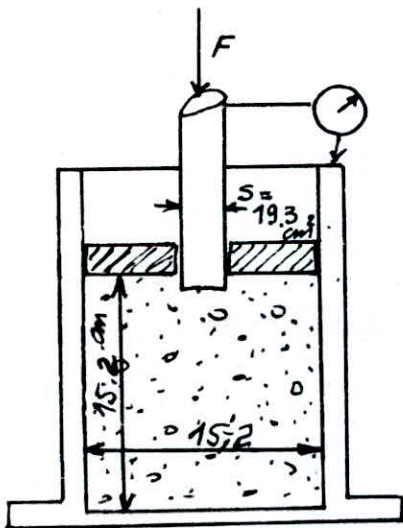


fig 1-a : moule C.B.R.

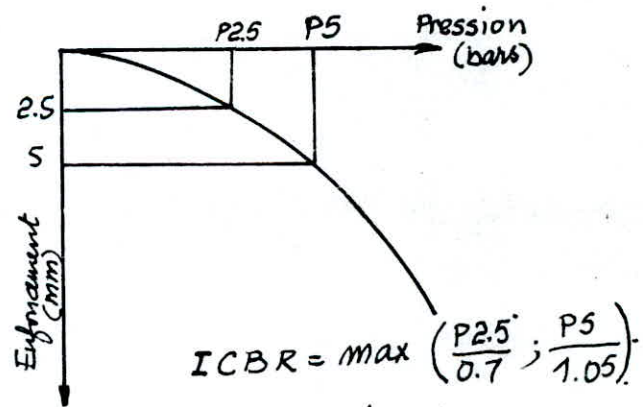


fig 1-b. Courbe de poinçonnement.

### B - 3 - COMPACTAGE :

Le terrain naturel et les assises successives sont compactés à l'aide des différents engins bien connus de tous à l'heure actuelle : rouleaux à pneus, rouleaux lisses ....

Il convient de reproduire en laboratoire de mêmes intensités pour mesurer les C.B.R. des matériaux retenus pour l'exécution de la chaussée. Ces matériaux sont donc placés dans un moule, non pas d'une manière quelconque, mais dans toute la mesure du possible, à leur future densité in situ et à leur future teneur en eau d'équilibre.

### B - 4 - METHODE RECOMMANDEE POUR L'EXECUTION EN LABORATOIRE DES ESSAI C.B.R. :

Pour déterminer le C.B.R. correspondant à la densité fixée au cahier des charges, on opère de la manière suivante :

L'essai Proctor modifié exécuté donne la teneur en eau optimale  $W_{opt}$  et la densité correspondante. On fait alors trois moulages de ce matériau dans le moule C.B.R., à la teneur en eau  $W_{opt}$ , mais chacun à une énergie de compactage différente :

- \* Le premier à 55 coups pour chacune des cinq couches .
- \* Le deuxième à 25 coups par couche
- \* Le troisième à 10 coups par couche

On obtient ainsi après compactages trois densités sèches que l'on mesure.

Après le compactage, le moule sera placé directement sur le plateau de la presse par le poinçonnement ( poinçonnement immédiat).

### B - 5 - RESULTAIS DES ESSAIS :

voir feuilles d'essais .(annexe).

## C ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE :

### C - 1 - BUT DE L'ESSAI :

Le but de cet essai est de déterminer, à la fois, le module d'élasticité ( module d'Young E ) du matériau et sa résistance ultime à la compression simple.

### C - 2 - PRINCIPE DE L'ESSAI :

L'essai consiste à soumettre des éprouvettes cylindriques, confectionnées à la teneur optimale et étuvées jusqu'à poids constant, à un chargement axial à vitesse uniforme.

Sur la feuille d'essai , on porte les charges appliquées en fonction d'un gradient de déplacement, jusqu'à rupture.

En traçant la courbe contraintes-déformations, la tangente à la courbe ( palier d'élasticité) donne le module d'élasticité E, et la contrainte maximale correspond à la résistance à la compression simple .

### C - 3 - CONFECTION DES EPROUVETTES :

Le module utilisé est un cylindre de diamètre intérieur 50mm et de hauteur de confection 100mm. Deux en-têtes permettent le compactage du matériau jusqu'à volume voulu ( $V = 196 \text{ cm}^3$ ).

On envisage de préparer des éprouvettes à différents pourcentages de la densité maximale Proctor. Pour cela, on se réfère aux calculs des quantités du matériau nécessaire.

La quantité de matériau retenue pour la fabrication de l'éprouvette est choisie en fonction de la compacité à obtenir .

Soit  $M_s$ , la masse sèche du matériau (étuvé à  $55^\circ\text{C}$  pendant 4 jours) à introduire dans le moule pour une densité voulue ( $d = x * \gamma_d(\text{OPM})$  où  $x$  prendra les proportions respectives 1.000 0.975 et 0.950).

A cette masse  $M_s$ , on ajoute la quantité d'eau  $M_w$  nécessaire correspondant à l'optimum.

$$\text{On a : } M_s = \tau_d * V$$

$$\text{d'autre part : } W(\text{OPM}) = M_w / M_s$$

$$\text{ainsi } M_w = M_s * W(\text{OPM}).$$

La masse du matériau humide notée  $M_h$  à introduire sera :

$$M_h = M_s + M_w$$

$$M_h = M_s + W(\text{OPM}) * M_s$$

$$M_h = M_s * (1 + W(\text{OPM})).$$

$$M_h = \tau_d * V * (1 + W(\text{OPM})).$$

$$M_h = x * \tau_d(\text{OPM}) * V (1 + W(\text{OPM}))$$

Pour chaque famille, on se propose de faire deux essais pour chaque pourcentage de compacité afin de prendre la moyenne respective (amoindrir les erreurs). Une fois la quantité du matériau humide est obtenue, elle sera introduite dans le moule et compactée à l'aide d'une presse hydraulique avec beaucoup de soins. De même pour le démoulage, il exige un soin similaire, afin de ne pas endommager l'éprouvette. Une fois démouler on prélève pour chacune ses dimensions (hauteur et diamètre) et son poids, on passe à l'étuvage à 55°C jusqu'à poids constant. Après étuvage, on prélève le poids sec. Il faut signaler que ces prélèvements de dimensions et de poids sont juste à titre de vérification.

#### C - 4 - Ecrasement des éprouvettes :

L'écrasement se fait sec sur le dispositif de l'appareil triaxial. A l'aide de deux comparateurs dont l'un est fixé sur l'anneau et l'autre sur le niveau initial de la face de l'éprouvette, mesurant respectivement les efforts et les

déformations correspondants. Sur une famille d'essai on porte les lectures sur le comparateur de l'anneau à raison de déplacement de 0.10 mm, jusqu'à rupture.

C - 5 - Résultats des essais :

Voir feuilles d'essais. (annexe).

2 - 4 ANALYSE DES RESULTATS MECANIQUES :

2 - 4 - 1 Essais C.B.R. :

Les résultats des essais C.B.R. montrent que les matériaux étudiés présentent des portances relativement très élevées, même pour des faibles compacités. Pour chaque famille, l'indice portant croit considérablement avec l'énergie de compactage et la compacité.

les résultats obtenus se présentent comme suit :

Compacité (%)	Indice C.B.R.			
	Famille A	Famille B	Famille C	Famille D
95	86	92	108.3	79.3
97.5	116	106	121.2	76

2 - 4 - 2 Résistance à la compression simple :

Les diagrammes contraintes-déformations donnés par les essais de compression simple présentent trois phases :

1 ère phase : phase de consolidation due probablement à un réarrangement des grains pendant le chargement.

2 ème phase : la consolidation précède une étape particulière caractérisée par une pente plus au moins constante, traduisant un comportement pseudo-linéaire du matériau. C'est cette pente qui donne le module de déformation E.

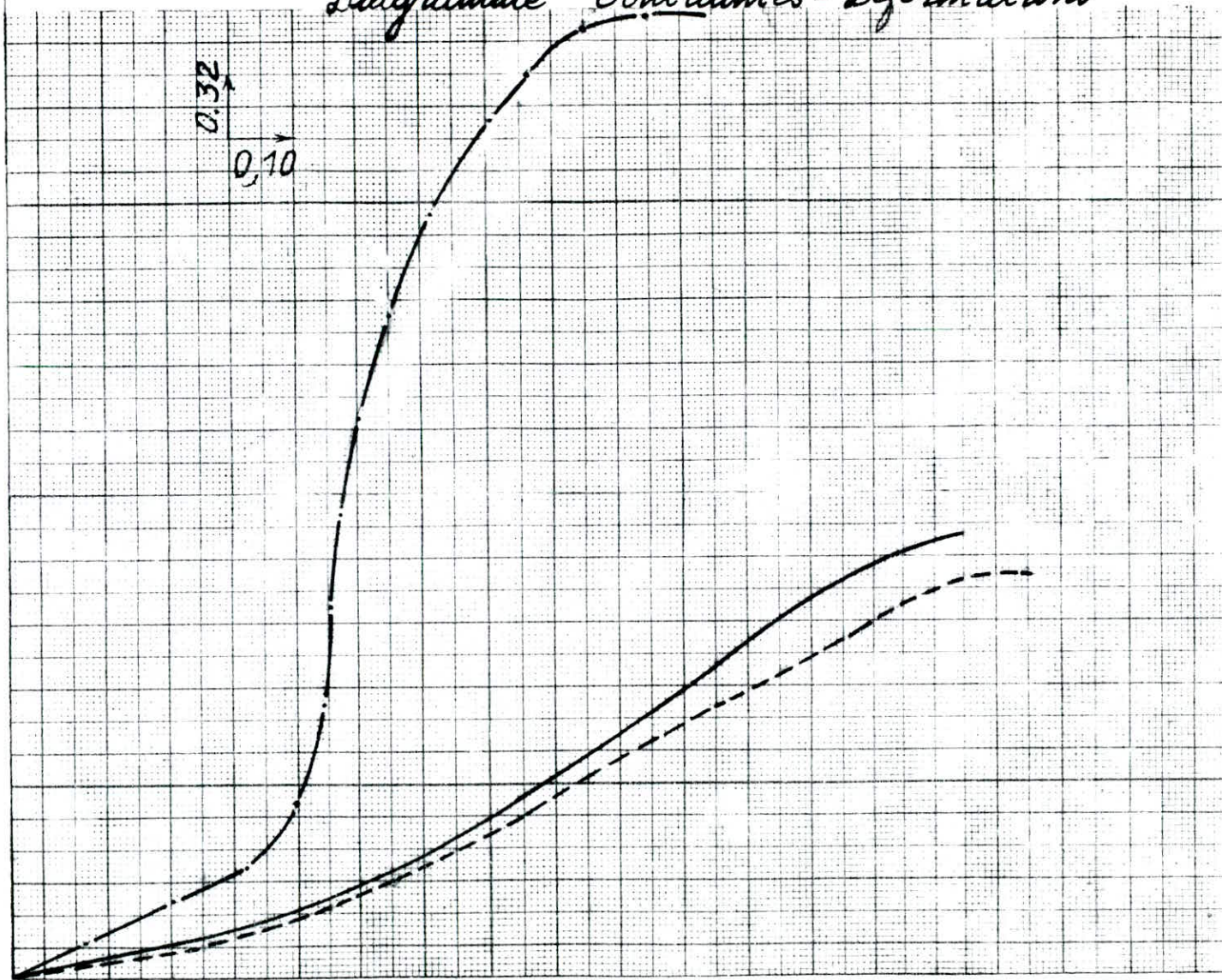
3<sup>ème</sup> phase : Elle se distingue par une marge aplatie traduisant le comportement plastique, suivi de la rupture.

Les diagrammes de la famille A présentent une anomalie sur le premier essai, ceci est probablement dû au changement d'anneau (en passant au deuxième essai, nous avons changé l'anneau sans prélever le coefficient du premier). Ce que nous avons constaté pendant les essais est que les éprouvettes à sec sont très fragiles; d'ailleurs la rupture est toujours brusque.

Les courbes des familles C et D présentent des chevauchements similaires sur les deux courbes consécutives (compacités 95 % et 97.5 %)

Par ailleurs, nous avons fait une tentative de mettre en évidence l'influence des taux de sulfates et la compacité sur la résistance à la compression malheureusement les points obtenus sont très dispersés, ceci est dû également au nombre très restreint d'essais effectués.

# Diagramme Contraintes - Déformations



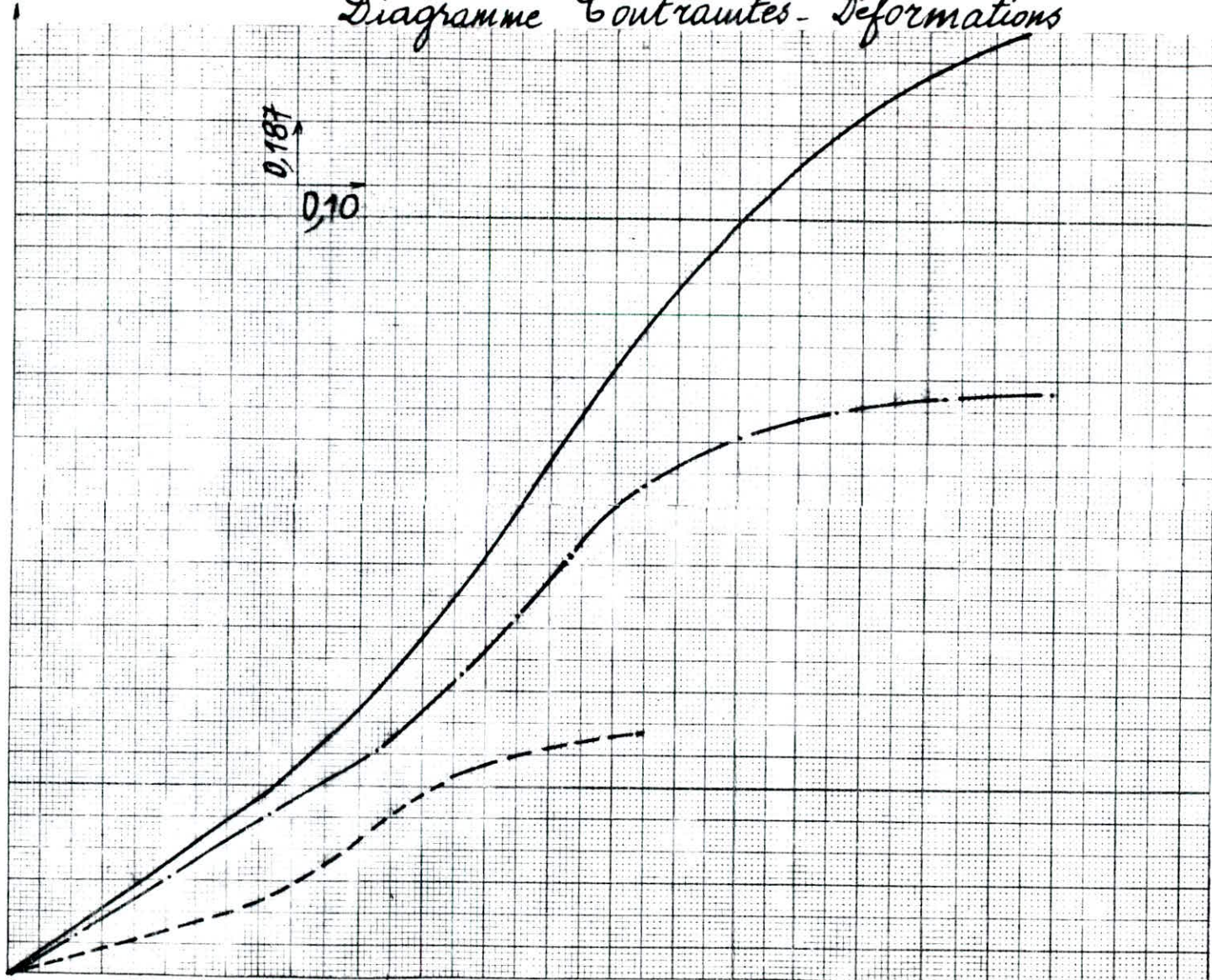
Famille A.

- $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt.}$
- - -  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt.}$
- · ·  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt.}$

$\Delta H$   
(mm)

$\sigma$  (MPa).

# Diagramme Contraintes-Deformations



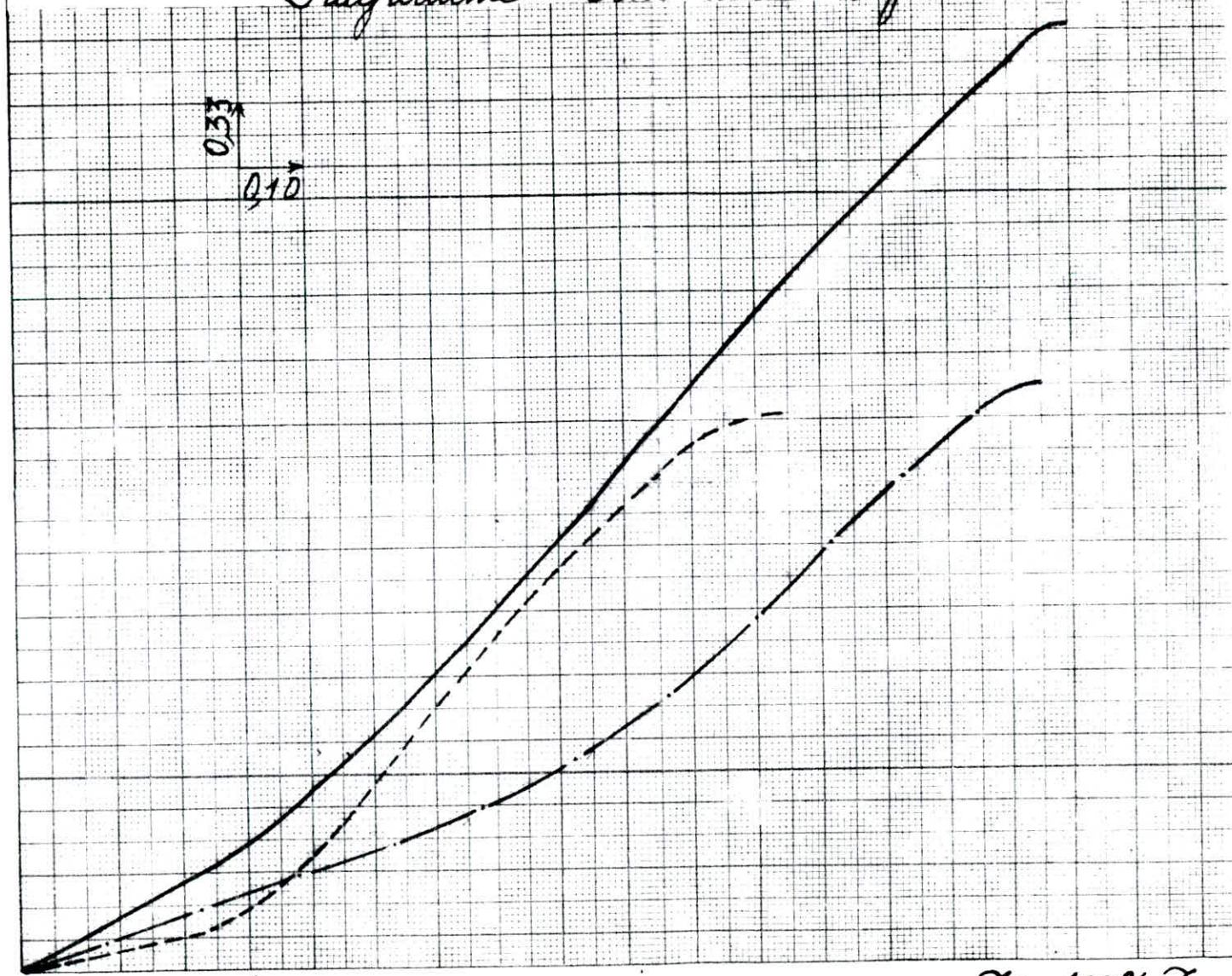
Famille B

- $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt.}$
- · — · —  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt.}$
- - - -  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt.}$

$\Delta H$   
(mm)



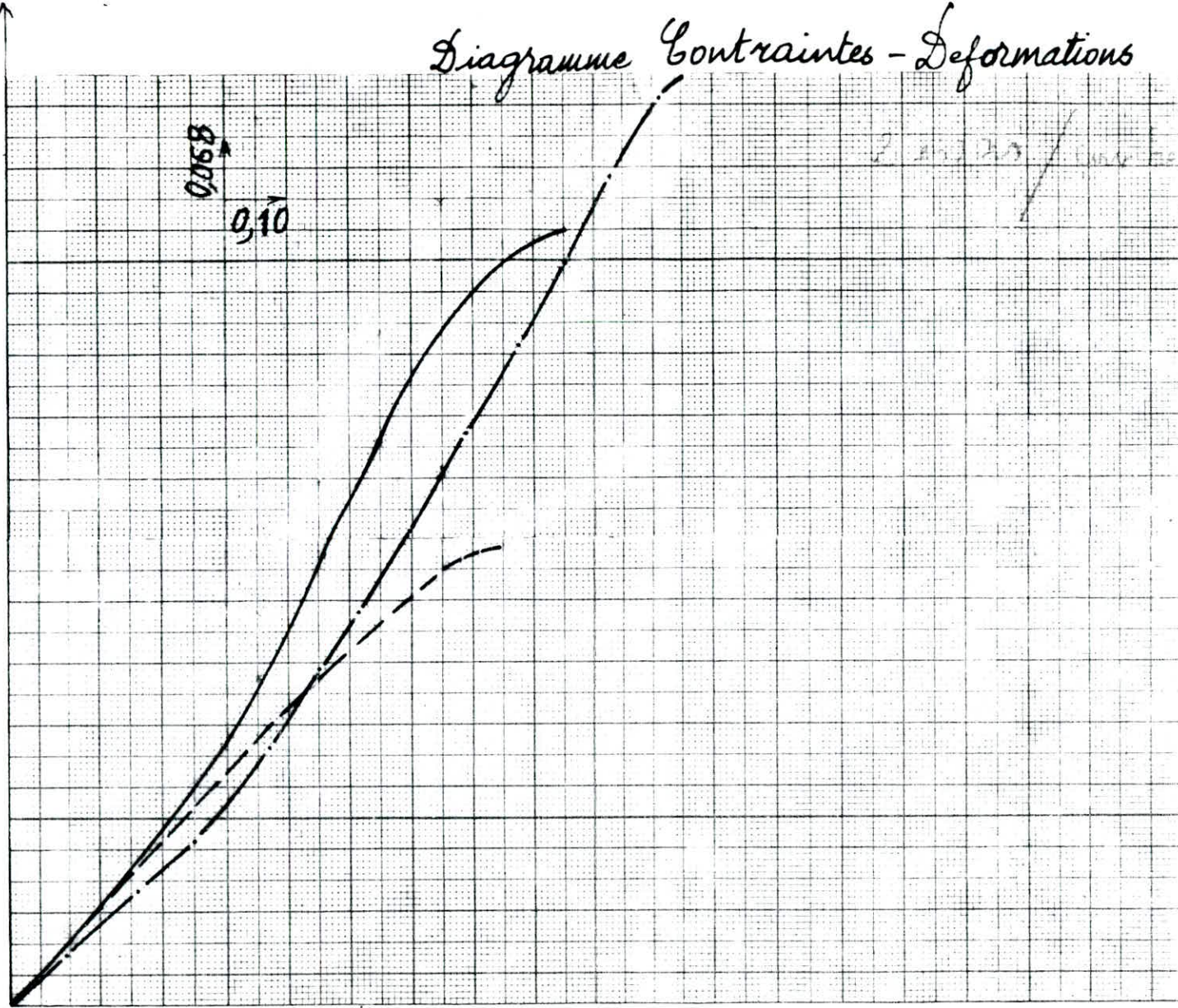
# Diagramme Contraintes - Déformations



Famille C

- $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt.}$
  - · -  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt.}$
  - - -  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt.}$
- $\Delta H$  (mm)

# Diagramme Contraintes - Deformations



Famille D

- $\sigma_d = 100\% \sigma_{dopt}$  (mm)
- · -  $\sigma_d = 97,5\% \sigma_{dopt}$
- - -  $\sigma_d = 95\% \sigma_{dopt}$

		Famille A Wopm = 7.90 %			Famille B Wopm = 7.80 %			Famille C Wopm = 10.40 %			Famille D Wopm = 7.90 %		
Oprouettes		$\gamma_d = x \gamma_{opm}$			$\gamma_d = x \gamma_{opm}$			$\gamma_d = x \gamma_{opm}$			$\gamma_d = x \gamma_{opm}$		
		$x=1,00$	$x=0,975$	$x=0,95$	$x=1$	$x=0,975$	$x=0,95$	$x=1$	$x=0,975$	$x=0,95$	$x=1$	$x=0,975$	$x=0,95$
I	H(mm)	95.20	96.18	93,0	99,1	98,7	99,6	110.3	100.9	101.3	100.5	100.3	100.4
	$\phi$ (mm)	50.4	50.50	50,50	50,2	50,4	50	50	50.3	50.2	50.4	50.0	50.1
	W <sub>R</sub> (g)	342,3	335,8	326,5	326,3	317,7	310,1	347,2	344,2	328,7	312,3	304,3	294,9
	W <sub>S</sub> (g)	317,23	312,08	302,87	302,7	294,98	287,66	314,57	311,9	297,87	289,43	282,8	274,07
	$\gamma_{d\text{reelles}}$	1,67	1,62	1,62	1,54	1,49	1,33	1,45	1,55	1,48	1,44	1,43	1,38
	W <sub>reelle</sub>	7,9	7,6	7,8	7,8	7,7	7,8	10,37	10,35	10,35	7,9	7,6	7,6
II	H(mm)	101.08	100,8	101,00	100,6	98,6	99,4	98	99,1	97	101,0	95,0	100.2
	$\phi$ (mm)	50.2	50.2	50.2	50	50,2	50,3	50	50.6	50.9	50	50,3	50.0
	W <sub>R</sub> (g)	339,8	330,17	326,1	325,8	316,3	309,8	346,8	340,5	331,3	311,5	306,2	299,6
	W <sub>S</sub> (g)	315,2	307,42	302,22	303,63	293,96	288,18	314,24	308,53	300,3	289,23	283,78	278,18
	$\gamma_{d\text{reelles}}$	1,57	1,54	1,51	1,53	1,5	1,46	1,63	1,54	1,52	1,46	1,49	1,41
	W <sub>reelle</sub>	7,8	7,4	7,9	7,3	7,6	7,5	10,36	10,36	10,32	7,7	7,9	7,7

# Essais Compression Simple

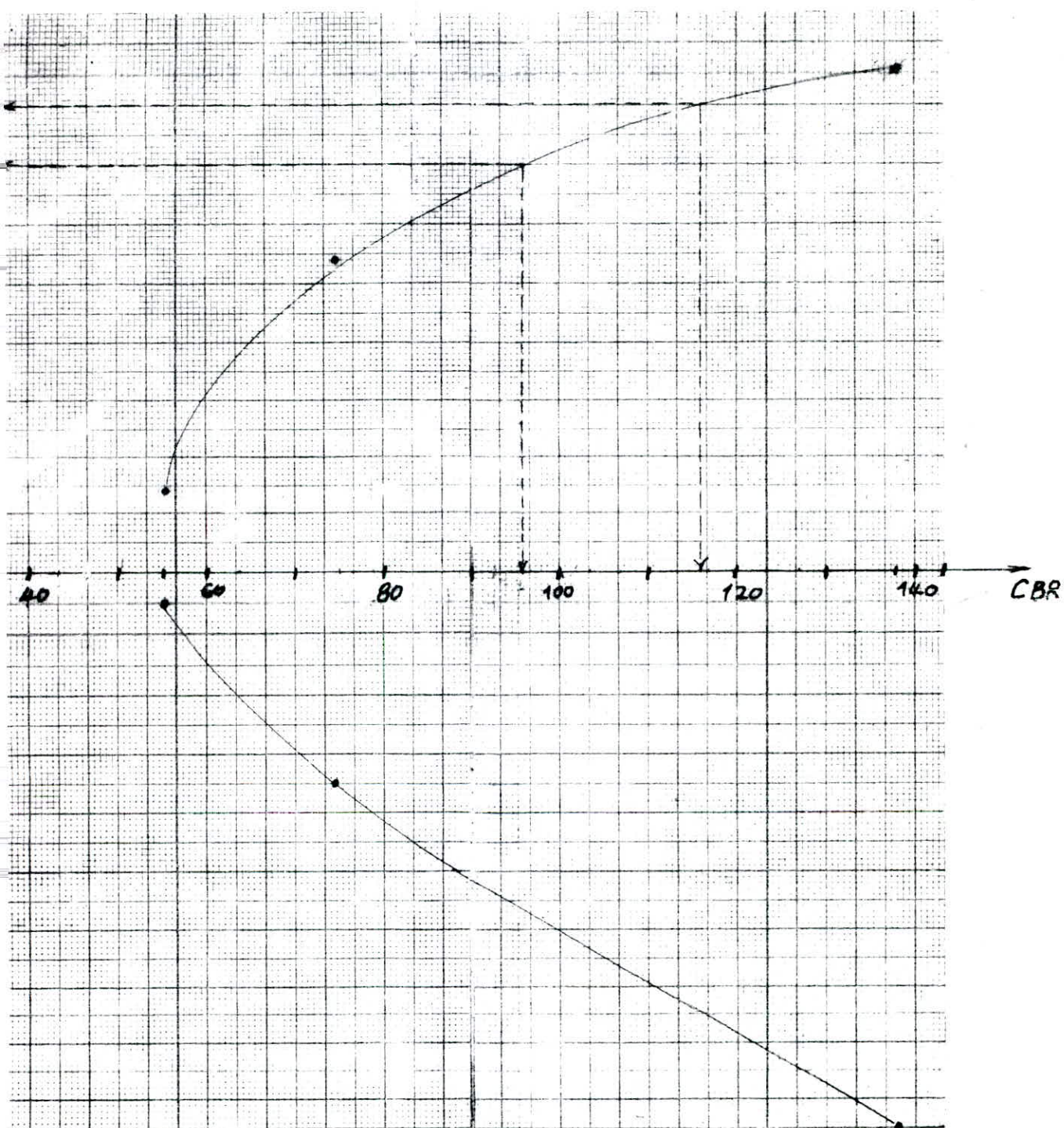
resistances compression simple  $R_c$  et modules de déformations  $E$

		Famille A	Famille B	Famille C	Famille D
$\sigma_d = 100\% \sigma_{dopm}$	$R_c$	48	28	48,2	8,4
	$E$	9072,5	2696	3437	1370,2
$\sigma_d = 0,975 \sigma_{dopm}$	$R_c$	22	17,4	29,8	10,1
	$E$	2068,3	1973	2640	1084
$\sigma_d = 0,95 \sigma_{dopm}$	$R_c$	20	7,3	28,3	5
	$E$	1702	1303,4	3470,2	1040,1

$[R_c] = [E] = \text{bars.}$

compacité (%)

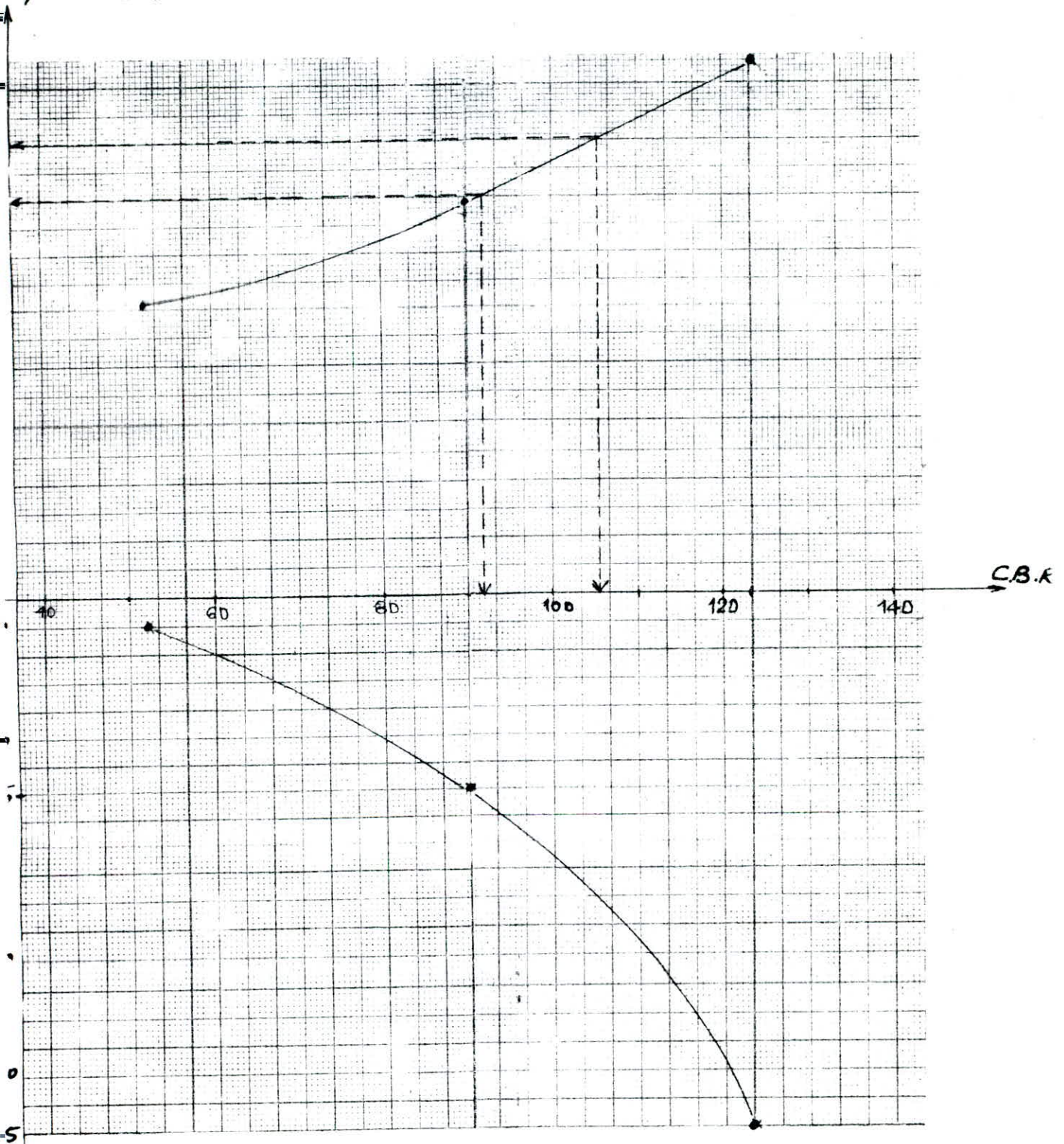
Famille A.



CBR	55,5	74	138
Compaction E	10 %	25 %	55 %
compacité (%)	81,5	91,3	98,8

Compacité (%)

Famille B

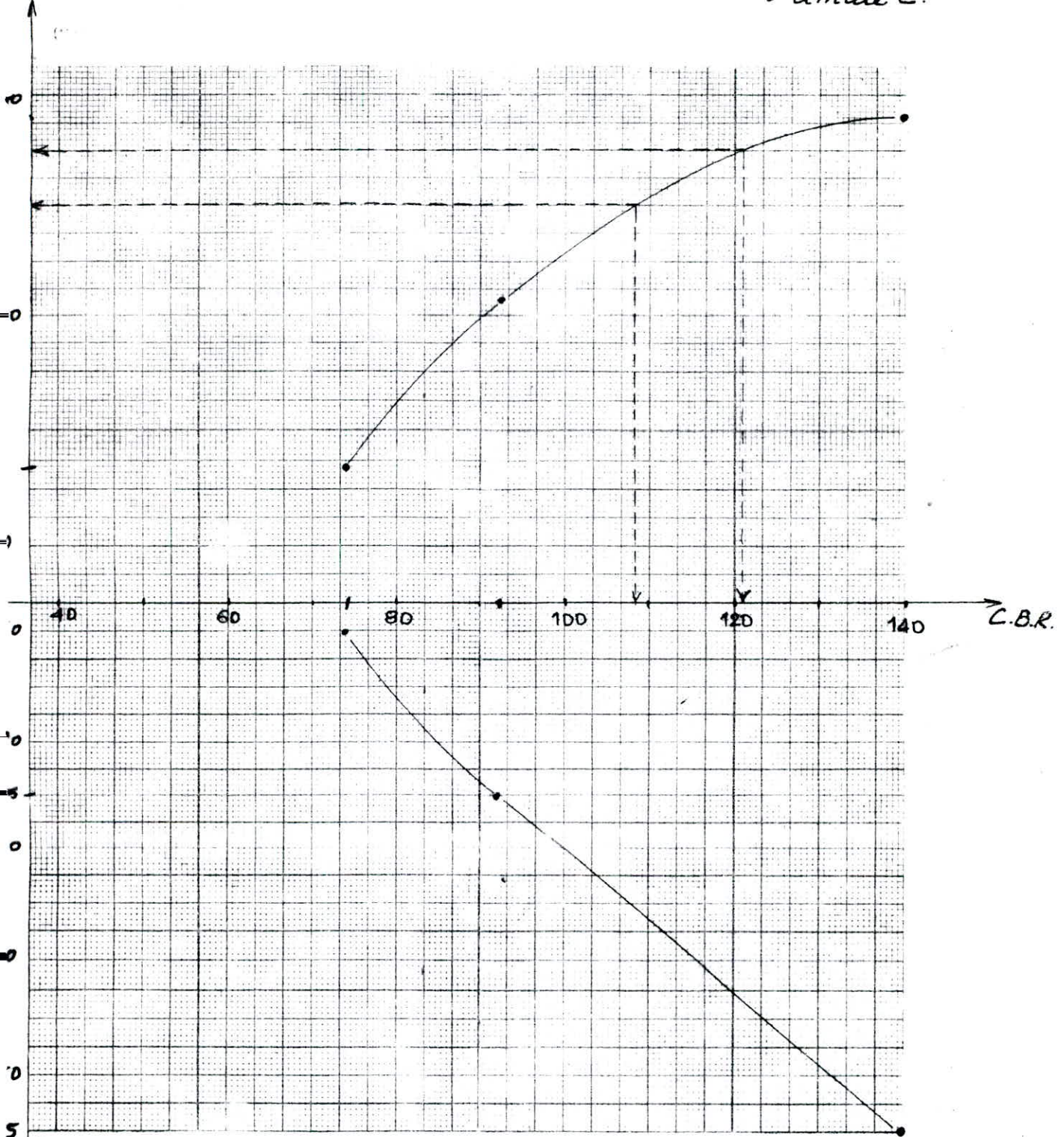


ind de  
adage

C.B.R	52.3	90	123.3
Compactage <sup>E</sup>	10 %	25 %	55 %
Compacité (%)	90.2	94.8	99.3

Hamille C.

Compacité (%)

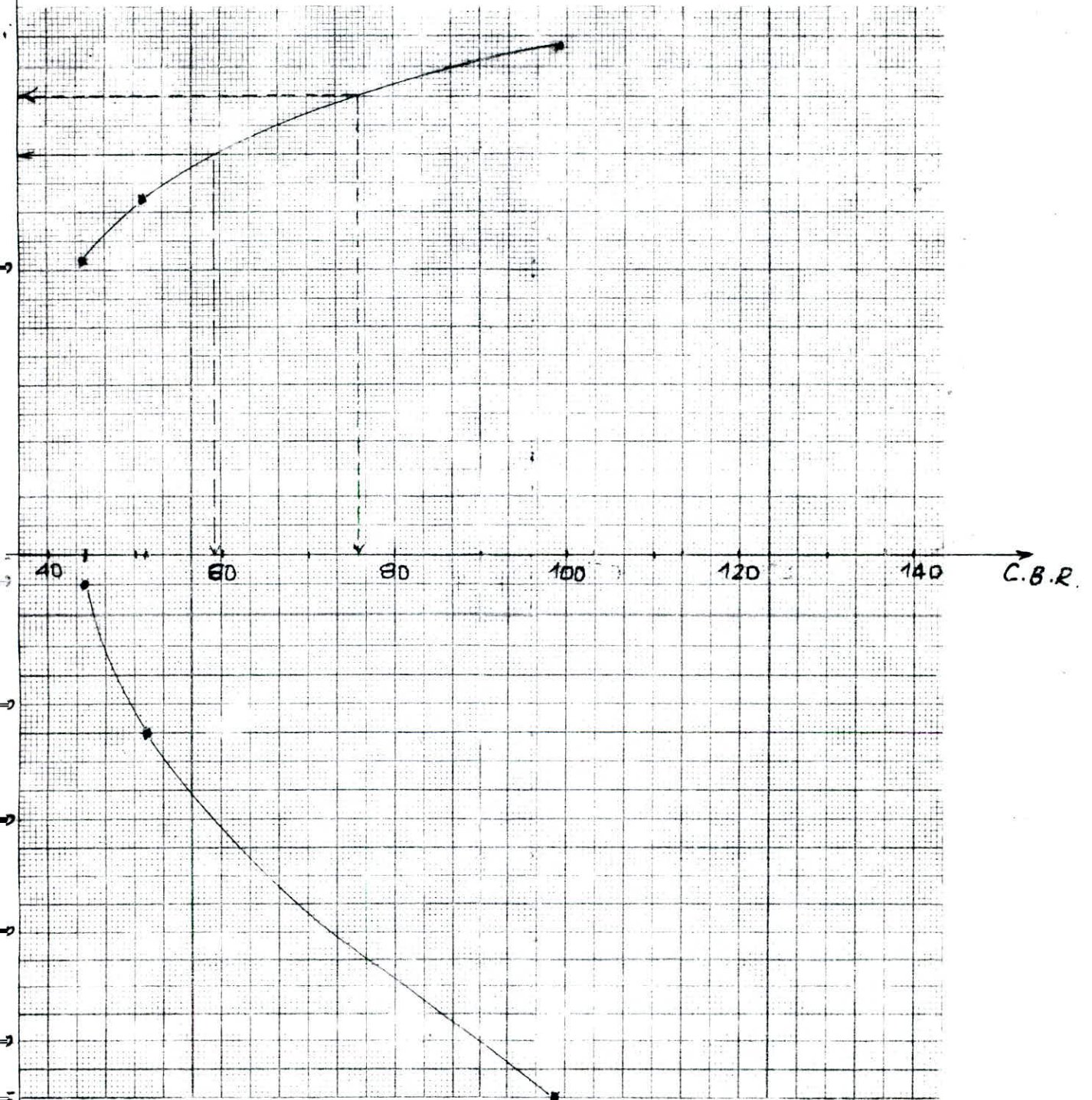


logie de  
Sactage

C.B.R.	74	92.4	140
Compactage	10 %	25 %	55 %
Compacité (%)	87.2	91.4	99.4.

Famille O.

Compacité (%)



C.B.R.	44.4	51.8	98.9
Compaction	10%	25%	55%
Compacité (%)	90.6	93.3	99.3



DIMENSIONNEMENT

1 - Introduction :

Une fois le niveau de sollicitation de la structure est évalué, ainsi que le matériau du corps de chaussée est choisi, l'étape qui suit consiste au dimensionnement de la chaussée.

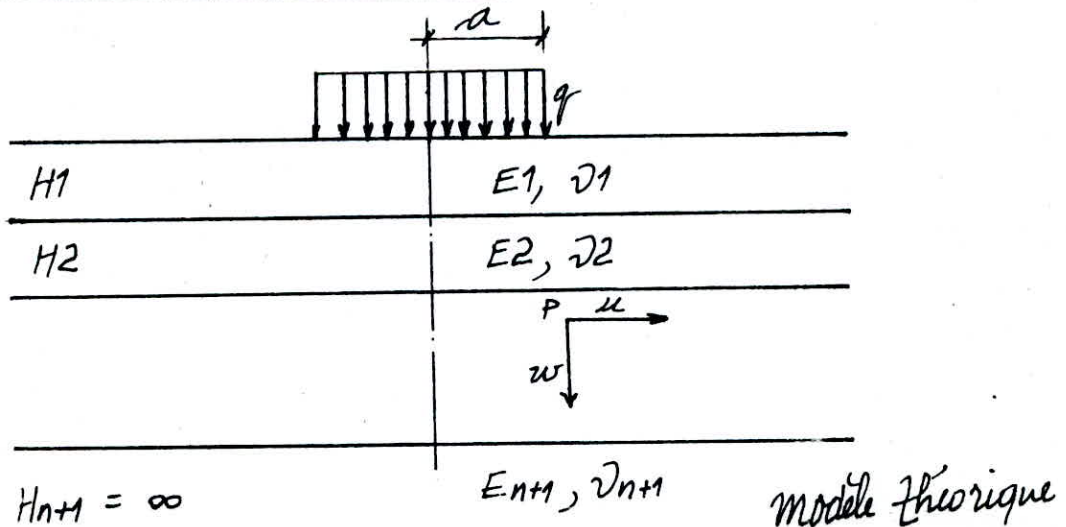
Différentes approches ont été mises au point pour la détermination des différentes épaisseurs de la chaussée, notamment les approches empiriques telles que la méthode C.B.R. et les approches semi-empiriques telle que le produit informatique ALIZE-3 du L.C.P.C.

2 - PROGRAMME ALIZE 3 :

Le programme ALIZE 3 est un modèle analytique permettant de calculer les contraintes et les déplacements dans un massif multicouche semi-infini, chargé en surface.

Le programme est fondé sur le Modèle Mécanique de BURMISTER, qui permet de calculer sous une charge circulaire, les contraintes, les déformations et les déplacements en différents points d'un massif semi-infini multicouche.

2.1 DESCRIPTION DU PROBLEME :



n couches horizontales d'épaisseur  $h_i$  de module de déformation élastique  $E_i$  et de coefficient de Poisson  $\nu_i$ , surmontent un massif semi-infini. Cette structure stratifiée peut-être soumise à divers types de charge de révolution (rayon a).  
 $u$  et  $w$  sont les déplacements en 1 point P.

2 - 2 - PRINCIPE DE RESOLUTION - METHODE DE BURMISTER :

Le problème est résolu en élasticité, avec symétrie de révolution (les couches sont infinies en plan en coordonnées cylindriques). La résolution du problème passe par la recherche de n fonctions d'Airy  $\phi_i$ , qui sont des fonctions biharmoniques (c'est-à-dire dont le double Laplacien est nul) ne dépendant que le couple  $(r, z)$ .

Pour la recherche des fonctions  $\phi_i$ , nous utilisons les fonction de HANKEL :

$$H_n : f(r, z) \longrightarrow H_n [f(r, z)] = F(m, z) = \int_0^{+\infty} r \cdot J_n(m \cdot r) \cdot f(r, z) \cdot dr.$$

L'intégration correspondant à la transformation inverse :

$$H_n^{-1} : F(m, z) \longrightarrow H_n^{-1} [F(m, z)] = f(r, z) = \int_0^{+\infty} m \cdot J_n(m \cdot r) \cdot F(m, z) \cdot dm.$$

se fait numériquement par la règle de GAUSS.

Après la recherche des fonctions bi-harmoniques  $\phi_i$ , on déduit les expressions des déplacements et des contraintes :

$$\Delta \cdot \phi(r, z) = 0.$$

$$\sigma_z = \delta / \delta z [(2 - \nu) \Delta \phi - \delta^2 \phi / \delta z^2].$$

$$\sigma_r = \delta / \delta z [\nu \Delta \phi - \delta^2 \phi / \delta r^2].$$

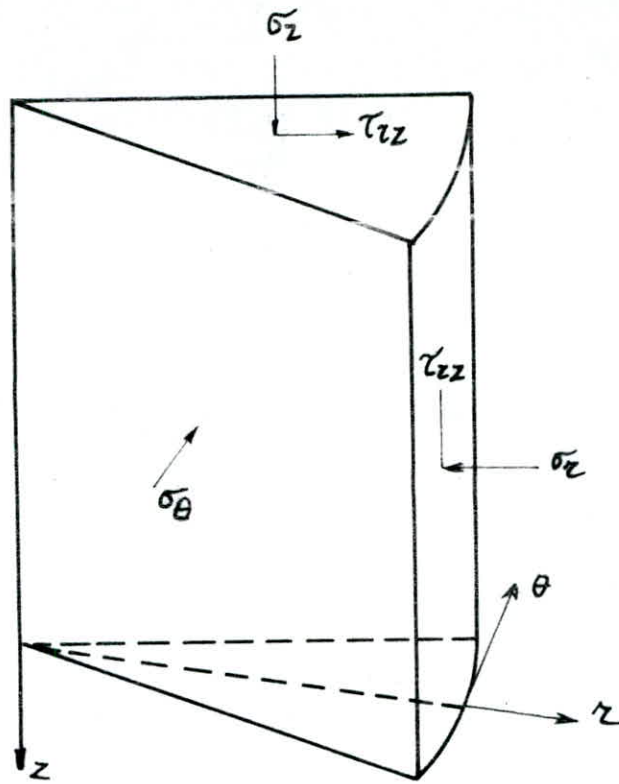
$$\sigma_\theta = \delta / \delta z [\nu \Delta \phi - 1/r \cdot \delta \phi / \delta r].$$

$$\tau_{rz} = \delta / \delta r [(1 - \nu) \Delta \phi - \delta^2 \phi / \delta z^2].$$

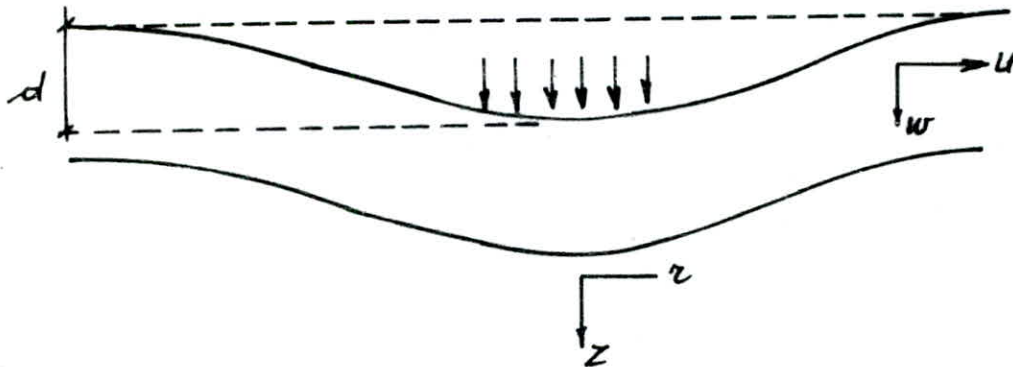
\* Déplacements

$$\text{radial} : u = -(1 - \nu) / E \cdot \delta^2 \phi / \delta r \delta z.$$

$$\text{vertical} : w = -(1 - \nu) / E \cdot [ (1 - 2 \cdot \nu) \Delta \phi + \delta^2 \phi / \delta r^2 + 1/r \cdot \delta \phi / \delta r ]$$



Repère local en coordonnées cylindriques



- $u$  : déplacement radial
  - $w$  : déplacement vertical
  - $\sigma_r$  : contrainte radiale
  - $\sigma_\theta$  : contrainte tangentielle
  - $\sigma_z$  : contrainte verticale
  - $\tau_{rz}$  : cisaillement horizontal
- positive : compression.  
négative : traction.

Orientation et signe des paramètres de sortie.

Les conditions aux limites choisies sont :

$$* \text{ en surface : } \sigma_z = P(r) = \begin{cases} P_0 & \text{si } r \leq a, \\ 0 & \text{si } r > a. \end{cases}$$

$$\tau_{r\theta} = 0 .$$

\* Aux interfaces :

-continuité des déplacements et des contraintes si les couches sont collées.

-continuité des déplacements verticaux si les couches sont décollées.

Les paramètres d'entrée :

- \* Caractéristiques géométriques et mécaniques des différentes couches composant la structure,
- \* Conditions d'interface à chaque interface, une même structure peut comporter des couches collées ou des couches décollées,
- \* La charge, caractérisée par son rayon d'application, son intensité et son type.

TYPE 1: Pression normale uniforme  $p$  sur un cercle de rayon  $a$ ,

TYPE 2: Charge normale uniforme  $p$  sur le pourtour d'un cercle de rayon  $a$ .

\* Les coordonnées des points à traiter.

Les paramètres de sortie :

En chaque point, on détermine:

- \* Les deux déplacements (suivant  $r$  et  $z$ ),
- \* Les quatre contraintes de l'axisymétrie  $(\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{rz})$ .
- \* Les quatre déformations correspondantes,
- \* Le rayon de courbure de la déformée dans le plan  $(r, z)$ ,
- \* Le rayon de courbure dans le plan  $(r, z)$  sous un jumelage symbolisé par deux cercles chargés.

Le principe d'utilisation de la méthode est donc le suivant:

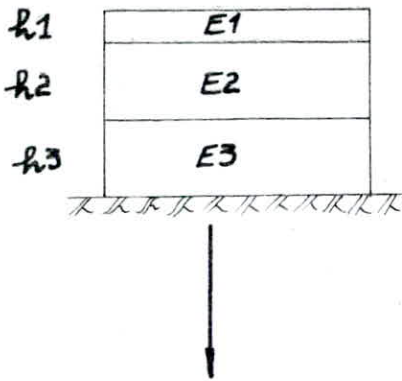
\*- Modélisation d'une structure, c'est-à-dire : choix du nombre de couches, de leurs épaisseurs, de leur liaison entre elles, des caractéristiques des matériaux constitutifs (modules E et coefficients  $\nu$ ),

\*- Recherche de la contrainte maximale susceptible d'engendrer la dégradation d'une couche, pour la charge type,

\*- Comparaison de cette contrainte à la valeur limite admissible découlant de la loi de fatigue du matériau considéré, pour l'intensité d'application de la charge type déterminé à partir du trafic supportable souhaité.

Un calcul de chaussée effectué à partir d'ALIZE fait donc appel à la fois à des données théoriques (calcul de contraintes) et à des données expérimentales (caractéristiques des matériaux). Ceci peut-être schématisé de la manière suivante:

## modélisation de la structure ①

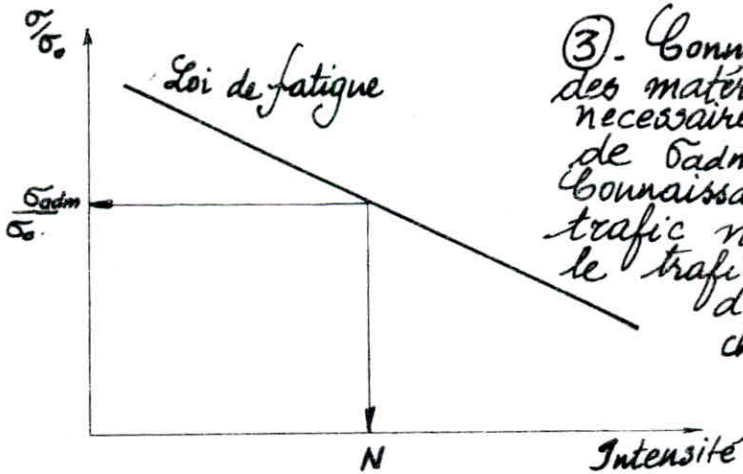


① Nécessite une bonne connaissance expérimentale des matériaux

## Calcul de $\sigma$ ②

② - Calcul théorique des contraintes. Connaissance expérimentale de la charge type engendrant  $\sigma$  cependant nécessaire.

## Comparaison de $\sigma$ à $\sigma_{adm}$ ③



③. Connaissance expérimentale des matériaux en laboratoire nécessaire pour la détermination de  $\sigma_{adm}$   
 Connaissance expérimentale du trafic nécessaire pour convertir le trafic en  $N$  équivalent d'application de la charge unitaire.

## 2 - 3 - APERÇU SUR L'ESSAI DE FATIGUE:

Un matériau peut se rompre si on lui applique de façon répétée un grand nombre de sollicitations, dont l'amplitude est inférieure à la résistance instantanée. C'est ce phénomène que l'on désigne sous le nom de fatigue. Ces phénomènes de fatigue sont d'une très grande importance dans les diverses constructions. Il y'a, en effet, de nombreux cas où les matériaux doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois: par exemple, la sollicitation des matériaux routiers dans une chaussée due au passage répété des véhicules lourds.

Il est donc nécessaire dans les calculs des structures de chaussées de tenir compte de ce que les matériaux ne résistent pas aussi bien aux efforts répétés qu'à une sollicitation unique.

On appelle endommagement, une diminution progressive de la résistance. Par la suite, la fatigue est un endommagement engendré par la répétition des sollicitations. C'est un cas particulier de rupture différé; c'est la rupture qui se produit dans un matériau un certain temps après le début d'une sollicitation dont l'amplitude reste constamment inférieure à celle entraînant la rupture instantanée.

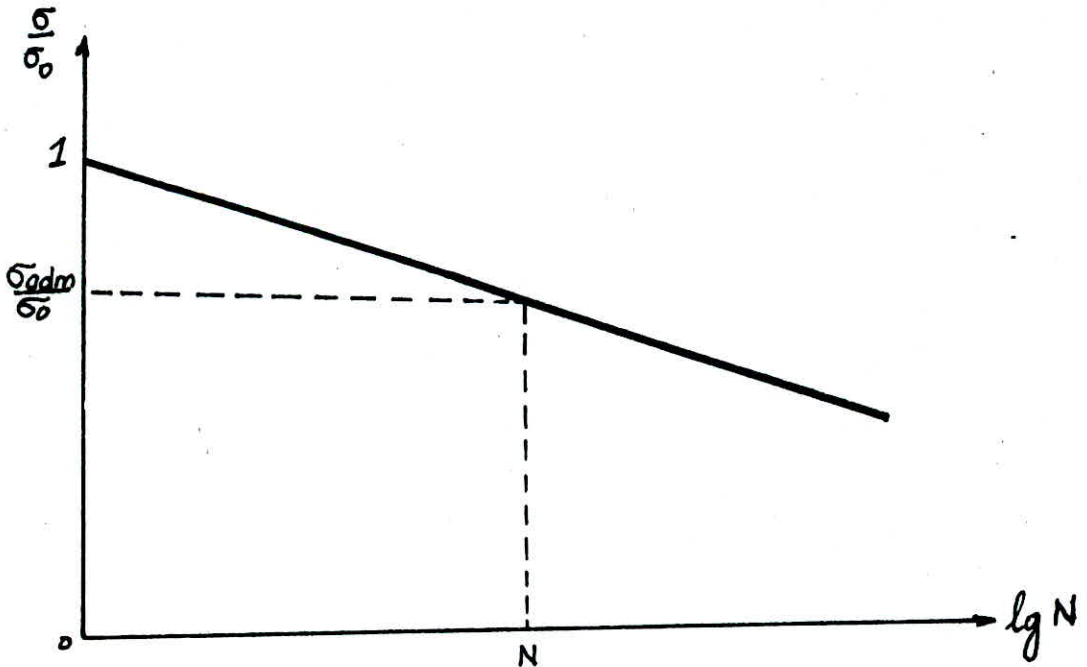
L'expérience de base, permettant de mettre en évidence le comportement à la fatigue du matériau, consiste à soumettre une éprouvette du matériau à des sollicitations répétées, toutes identiques, et à déterminer le nombre de répétitions entraînant la rupture.

Les essais de fatigue sont effectués en flexion sur des éprouvettes prismatiques trapézoïdales, en répétant pour chacune d'elles, l'application d'un niveau de contrainte préalablement choisi jusqu'à rupture des éprouvettes.

L'essai se fait sur l'appareil triaxial à chargement répété. Ainsi, l'essai de fatigue est dit, essai triaxial à chargement répété. L'essai consiste à soumettre différentes éprouvettes, confectionnées dans les mêmes conditions, à des sollicitations sinusoidales d'amplitudes différentes et à déterminer pour chacune de ces dernières le nombre de sollicitations entraînant la rupture. On **en** déduit, alors, la courbe de fatigue dite "courbe de WOHLER", qui relie le nombre de répétitions  $N$  à la rupture en fonction de l'amplitude de la contrainte (ou déformation) appliquée, de la forme suivante :

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1 - a \cdot \lg(N)$$

Malheureusement, l'appareil triaxial à chargement répété n'est pas disponible EN ALGERIE. Pour cela, le dimensionnement se limite à la méthode C.B.A...





### 3 - LA METHODE C.B.R. :

La méthode C.B.R. est créée par la "CALIFORNIA DIVISION OF HIGHWAYS". Elle est basée sur la méthode C.B.R. "CALIFORNIA BEARING RATIO". Des abaques qui résument l'expérience acquise fournissent l'épaisseur du matériau d'apport au dessus d'un sol de C.B.R. donné, en fonction des charges mobiles (Abaques des figures I et II). L'Abaque de la première figure concerne les charges maximales sur roue, tandis que celui de la deuxième figure concerne le trafic que doit assurer la chaussée.

#### Voici comment utiliser ces abaques :

a) abaque de la figure I : (abaque du Corps Of Engineers U.S.Army)  
Cet abaque se base sur la charge maximale sur roue. Supposons que le sol naturel de fondation ait un C.B.R. noté  $I_1$ , que le matériau choisi comme fondation ait un C.B.R. noté  $I_2$ , enfin la couche de base dont le matériau choisi ait un C.B.R. noté  $I_3$ .

La figure I montre que pour une roue de  $x$  tonnes, l'épaisseur totale de la chaussée (revêtement + couche de base + couche de fondation) doit-être de  $H_1$  cm (Par exemple si  $I_1=8$ ,  $x=6t$ ,  $H_1$  sera de 36 cm).

On pourrait déterminer par le même procédé les épaisseurs respectives de la couche de fondation, de la couche de base et celle du revêtement.

En effet, pour un C.B.R.  $I_2$ , l'épaisseur totale des matériaux sus-jacent (revêtement+couche de base) serait  $H_2$ . On en déduirait pour la couche de fondation une épaisseur  $H_f = H_1 - H_2$ .

Avec un C.B.R. I3, on trouverait une épaisseur Hr pour la couche de roulement (revêtement) et par suite la hauteur de la couche de base sera  $Hb = H2 - Hr$ .

En définitive, la structure de la chaussée serait la suivante:

_ revêtement	Hr
_ couche de base	Hb
<u>_ couche de fondation</u>	<u>Hf</u>
Total _____	H1

En réalité de ce qui précède, seule l'épaisseur globale est à retenir : soit H1. Car celle de l'ensemble (couche de base + revêtement) doit rester au dessus d'un certain minimum que fournit d'ailleurs l'abaque de la même figure. On l'obtient en recherchant le point d'intersection de la courbe relative à la charge sur roue considérée avec la droite AB (figure I). Par exemple pour la roue de 6 tonnes, l'épaisseur (revêtement + couche de base) doit-être au minimum de 18 cm.

b) Abaque de la figure 11: ( Abaque de Road Research Laboratory )

Cet abaque se base sur le trafic journalier des véhicules de plus de 3 tonnes. Supposons que le sol naturel de fondation ait un C.B.R. noté I1, que le matériau choisi comme fondation ait un C.B.R. noté I2, enfin la couche de base dont le matériau choisi ait un C.B.R. noté I3.

La figure II montre que pour un Trafic de N véhicules , l'épaisseur totale de la chaussée (revêtement + couche de base + couche de fondation) doit-être de H1 cm .

On pourrait déterminer par le même procédé les épaisseurs respectives de la couche de fondation, de la couche de base et celle du revêtement.

En effet, pour un C.B.R. I2, l'épaisseur totale des matériaux sus-jacent (revêtement+couche de base) serait H2. On en déduirait pour la couche de fondation une épaisseur  $H_f = H_1 - H_2$ .

Avec un C.B.R. I3, on trouverait une épaisseur  $H_r$  pour la couche de roulement (revêtement) et par suite la hauteur de la couche de base sera  $H_b = H_2 - H_r$ .

En définitive, la structure de la chaussée serait la suivante:

_ revêtement	Hr
_ couche de base	Hb
_ couche de fondation	Hf
Total _____	H1

En réalité de ce qui précède, seule l'épaisseur globale est à retenir : soit H1. Car celle de l'ensemble (couche de base + revêtement) doit rester au dessus d'un certain minimum que fournit d'ailleurs l'abaque de la même figure. On l'obtient en recherchant le point d'intersection de la courbe relative à la charge sur roue considérée avec la droite AB (figure II).

On note que les abaques de dimensionnement utilisés traduisent les formules empiriques suivantes :

- Abaque fig I :  $e = (100 + 150 * \sqrt{P}) / (I + 5)$ .

Où : e : épaisseur de chaussée en cm.

P : charge maximale par roue en tonnes.

I : indice portant C.B.R.

- Abaque fig II :  $e = (100 + 150 * \sqrt{P} * \sqrt[10]{I/T_0}) / (I + 5)$ .

Où :  $T_0$  : le trafic de référence évalué par an et par mètre de largeur de chaussée

I : le trafic réel par an et par mètre de chaussée exprimé en tonnes comme  $T_0$ .

EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE C.B.R.

les résultats C.B.R. obtenus sont rappelés ci-dessous :

<u>Compacité (%)</u>	<u>Indice C.B.R.</u>			
	<u>Famille A</u>	<u>Famille B</u>	<u>Famille C</u>	<u>Famille D</u>
95	86	92	108.3	79.3
97.5	116	106	121.2	76

Ayant les indices portant pour les différentes familles très proches, on propose de donner un exemple d'application pour le dimensionnement d'une chaussée avec les matériaux de la famille A.

I - ABAQUE DE LA Figure I :  $x = 6.5$  Tonnes .

C.B.R. Sol Portant ----- I1 = 10  
 C.B.R. couche de fondation ----- I2 = 86  
 C.B.R. couche de base ----- I3 = 116

H1 = 31 cm

H2 = 09 cm                    ainsi Hf = H1-H2 = 22 cm

Hr = 06 cm                    ainsi Hb = H2-Hr = 03cm

- En définitive, la structure de la chaussée serait la suivante:

\* revêtement ----- 06 cm  
 \* couche de base ----- 03 cm  
 \* couche de fondation ----- 22 cm

- conditions minimales:

min ( Hr + Hb ) = 18 cm

ainsi, on pourra adopter la structure suivante:

\* revêtement ----- 05 cm

- \* couche de base \_\_\_\_\_ 15 cm,
- \* couche de fondation \_\_\_\_\_ 10 cm.

**II - ABAQUE DE LA FIGURE II :**

(N = 45 à 150 Véhicules de plus de 3 tonnes par jour : Courbe C)

C.B.R. Sol Portant \_\_\_\_\_ I1 = 10

C.B.R. couche de fondation \_\_\_\_\_ I2 = 86

C.B.R. couche de base \_\_\_\_\_ I3 = 116

H1 = 22.5 cm

H2 = 07.5 cm      ainsi Hf = H1 - H2 = 15 cm

Hr = 06.5 cm      ainsi Hb = H2 - Hr = 01 cm

- En définitive, la structure de la chaussée serait la suivante:

- \* revêtement \_\_\_\_\_ 06.5 cm
- \* couche de base \_\_\_\_\_ 01 cm
- \* couche de fondation \_\_\_\_\_ 15 cm

- conditions minimales:

min ( Hr + Hb ) = 18 cm

ainsi, on pourra adapter la structure suivante:

- \* revêtement \_\_\_\_\_ 05 cm
- \* couche de base \_\_\_\_\_ 15 cm
- \* couche de fondation \_\_\_\_\_ 10 cm

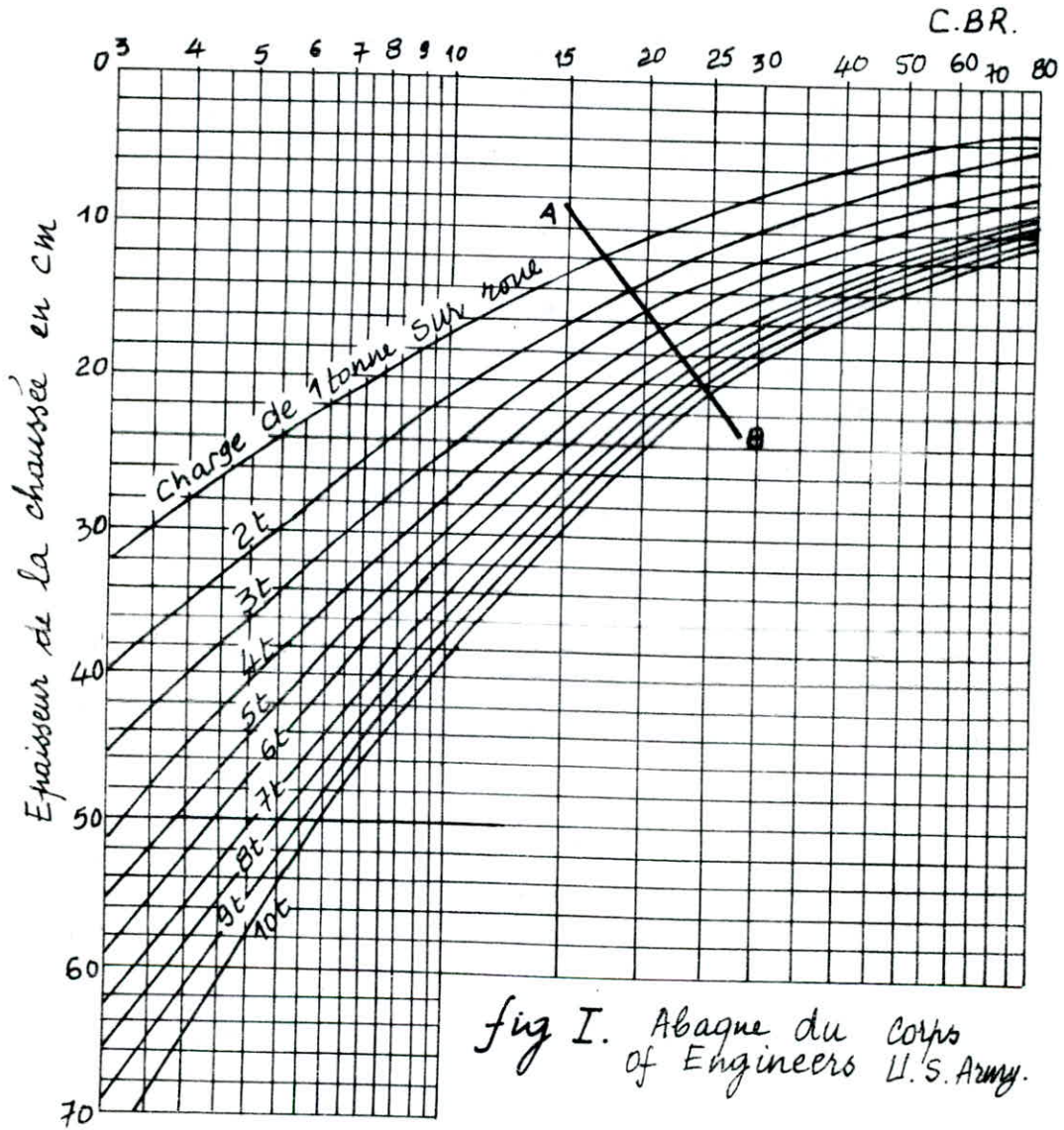
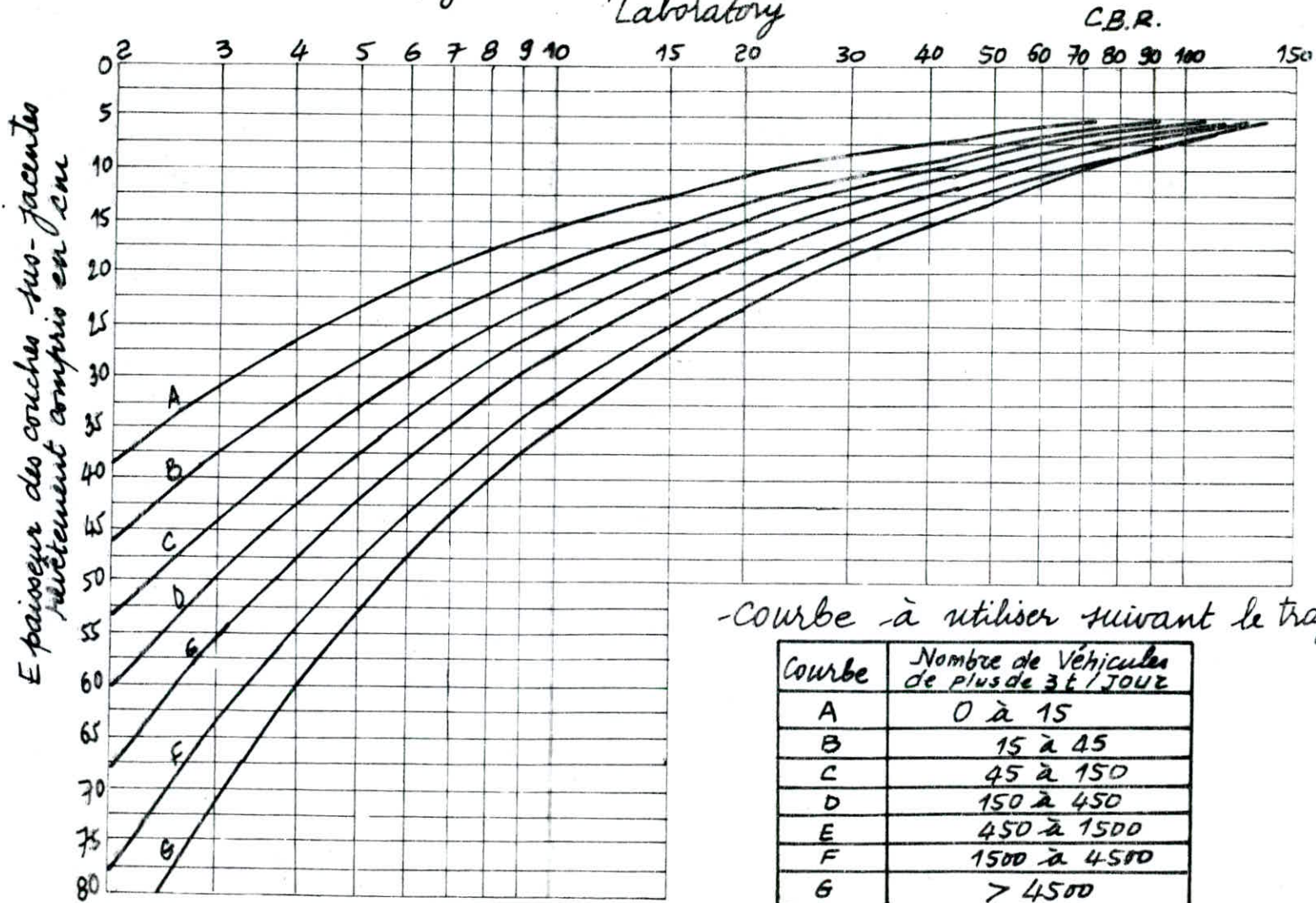


fig II - Abaque du Road Research Laboratory



-courbe à utiliser suivant le trafic

Courbe	Nombre de Véhicules de plus de 3t / JOUR
A	0 à 15
B	15 à 45
C	45 à 150
D	150 à 450
E	450 à 1500
F	1500 à 4500
G	> 4500

Troisieme Partie

Conclusions Generales



## CONCLUSIONS GENERALES

### 1 - Synthèse des résultats obtenus en Laboratoire :

Les essais d'identifications effectués en laboratoire, ont montré que les matériaux étudiés sont de la même catégorie : Sable Limoneux avec :

- une granulométrie étalée,
- l'indice de plasticité ne dépassant pas 08 %,
- l'équivalent de sable de l'ordre de 25 %, témoins d'un matériau propre et peu plastique.

La composition chimique montre toujours la présence du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) en grande proportion, *de carbonates* ( $\text{CaCO}_3$ ) et de sable siliceux en proportions variables. Le gypse se présente en grains de dimensions comprises entre 0.1 et 2 mm.

Les matériaux gypseux acquièrent une cohésion importante après compactage humide et séchage. Le durcissement au séchage a l'apparence d'une prise. Mais ce n'en est pas une au sens où on l'entend en général pour le ciment ou le plâtre dans lequel se constituent des liaisons rigides et définitives qui ne se reproduisent pas après rupture. Le durcissement se produit toujours même après pulvérisation de la couche déjà compactée et séchée. D'autre part, la cohésion peut-être appréciée par l'essai de compression simple sur éprouvettes de 50 mm de diamètre.

Le matériau, en place, n'étant pas soumis exactement à des compressions simples sans poussée ou buttée latérale lors du passage des pneus. Cet essai n'est pas parfaitement représentatif de la tenue du matériau. Néanmoins, il est assez près de la

réalité et peut donner une valeur approximative mais très significative de la résistance du matériau. Pour palier à cet inconvénient, nous conseillons vivement, l'utilisation de l'essai triaxial, afin de bien représenter l'état de contrainte réel in-situ.

Notons que l'intérêt de l'essai de compression simple est d'être très facile à réaliser. Les valeurs moyennes des résistances à la compression simple obtenues dans nos essais sont de l'ordre de 15 bars pour une compacité de 95% de l'OPM et de 37 bars pour une compacité de 100% de l'OPM pour des éprouvettes séchées à une température de 55°C.

Il est préférable, d'après la littérature, pour avoir la sécurité d'exiger des résistances à la compression simple supérieures à 25 bars pour une compacité de **98%** de l'OPM.

D'autre part, l'expérience a montré que pour ces valeurs de résistances, la somme des pourcentages du gypse et de calcaire, contenus dans les éléments inférieurs à 0.08 mm, est supérieure à 70%, correspondance qu'on n'a pas pu mettre en relief en raison des résultats très dispersés et du nombre restreint d'éprouvettes.

Il faut noter par ailleurs que les résistances à la compression simple varient très rapidement avec la densité sèche. En effet, les résistances d'éprouvette, par exemple à 95 et 100% de l'OPM, varient souvent du simple au double.

Il est donc indispensable d'exiger un bon compactage avec des tolérances très limitées. La tendance est en conséquence d'exiger des densités sèches de plus en plus élevées. Les essais C.B.R. effectués sur ces matériaux donnent des portances très élevées même pour des faibles compacités.

## 2 - APPROCHE POUR UN DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES AU SAHARA :

Parmi les méthodes les plus récentes, pour le dimensionnement des chaussées, le programme ALIZE 3 du LCPC de Paris est le plus utilisé. Malheureusement, on n'a pas pu couronner notre travail par une application de ce programme, faute de la non disponibilité de l'appareil triaxial à chargement répété utilisé pour la détermination des contraintes en fatigue des matériaux étudiés. Pour cela, on s'est limité à l'application de la méthode C.B.R, exigeant des paramètres mécaniques qu'on a pu déterminer et aboutissant à la structure de chaussée suivante:

- Revêtement (enrobé à froid) \_\_\_\_\_ 4 cm,
- Couche de base en sable gypseux \_\_\_\_\_ 20 cm,
- Couche de fondation en sable gypseux \_\_\_\_\_ 20 cm.

## 3 - MISE EN OEUVRE (recommandations générales) :

### 3 - 1 Exploitation des carrières :

Les gisements de carrières présentent une couche superficielle de sable éolien (sable de dune). A l'exploitation, on procède à l'élimination de cette croûte par une nivelleuse. Par suite, l'extraction du matériau se fait à l'aide d'une pelle mécanique sur une profondeur de l'ordre de 1 m.

### 3 - 2 Répandage :

Le répannage des matériaux sur la chaussée se fait à l'aide d'une nivelleuse après les avoir préalablement fracturés. Cette dernière opération pourra se faire à l'aide d'une pelle mécanique en soulevant et en laissant tomber le godet sur les blocs de sable gypseux.

### 3 - 3 Humidification :

Après répannage des matériaux, il est nécessaire d'humidifier à l'aide d'un camion citerne muni d'une rampe d'arrosage. Le débit sera calculé préalablement en fonction du volume mis en oeuvre de façon à respecter la teneur en eau Proctor modifié.

### 3 - 4 Malaxage :

Le malaxage se fera à la nivelleuse en mettant le matériau en cordeau et en l'étalant de nouveau, jusqu'à humidification homogène.

### 3 - 5 Compactage :

Pour définir les conditions de compactage en tenant compte des conditions locales (météo particulièrement) et du matériel disponible, il est recommandé de réaliser une ou plusieurs planches d'essais avant le démarrage des travaux. Ceci afin de fixer les paramètres suivants :

- pression de gonflage des pneumatiques,
- nombre de passes des compacteurs.

Il est à noter que pour les matériaux à cohésion de type sable gypseux, les compacteurs à pneus sont les plus utilisés. Cependant les compacteurs à cylindre lisses vibrant peuvent être aussi utilisés.

### 3 - 6 Contrôle de laboratoire :

A noter qu'il est nécessaire de faire des contrôles de laboratoire pendant l'exécution des travaux.

- Contrôle des caractéristiques géotechniques des matériaux mis en oeuvre (contrôle de l'homogénéité du matériau).

- Contrôle de compactage : mesure de la teneur en eau et de la densité sèche in-situ qui peuvent être faites par un Gamma-densitomètre troxler à rayon gamma ou bien à l'aide d'un densitomètre à membrane dans le cas échéant.

#### 4 - Conclusion :

L'emploi des matériaux non traditionnels dans les chaussées ne cesse de progresser un peu partout dans le monde. Les études et les recherches en laboratoire et en vraie grandeur ont permis d'aboutir à des résultats souvent encourageants.

Les critères sur lesquels se fonde l'emploi de ces matériaux, sont souvent des critères économiques ou écologiques.

D'une manière globale, entrent dans cette catégorie, les matériaux trouvés à leur état naturels, dont les caractéristiques ne répondent pas aux normes et spécifications généralement utilisées en construction routière.

La valorisation de ces matériaux, quelque soit leur degré d'emploi dans d'autres contrées ne peut échapper à la loi de l'expérience propre à chaque pays ; c'est ainsi que les études en laboratoire et les expérimentations en grandeur nature restent les moyens les plus objectifs pour l'évaluation et l'appréciation des matériaux à promouvoir.

Nous souhaitons que cette étude constitue une contribution bénéfique dans l'ordre de cette politique routière, que des futurs ingénieurs s'étaleront sur le sujet, notamment, sur la connaissance des lois de comportements des matériaux locaux tels les sables gypseux, et en contre partie, que les responsables routiers dans notre pays envisagent la mise en place des sections expérimentales sur plusieurs axes routiers de notre vaste pays L'ALGERIE.

## Bibliographie :

- \*\* Cours de route ..... JEUFFROY.  
Tome 1 : Les assises de chaussées.  
Tome 2 : Dimensionnement des chaussées.
- \*\* Manuel de laboratoire ..... J. PELTIER.
- \*\* Mécanique des sols et des chaussées ..... R. L'HERMINIER.
- \*\* Conception et construction des routes  
Tomes 1 et 2 ..... JEUFFROY.
- \*\* Routes ..... ROUQUET.
- \*\* Cours de mécanique des sols ..... SCHLOSSLER.
- \*\* Etude géologique et géotechnique  
des tufs calcaires et gypseux en  
technique routière ..... B. ALLOUL.
-





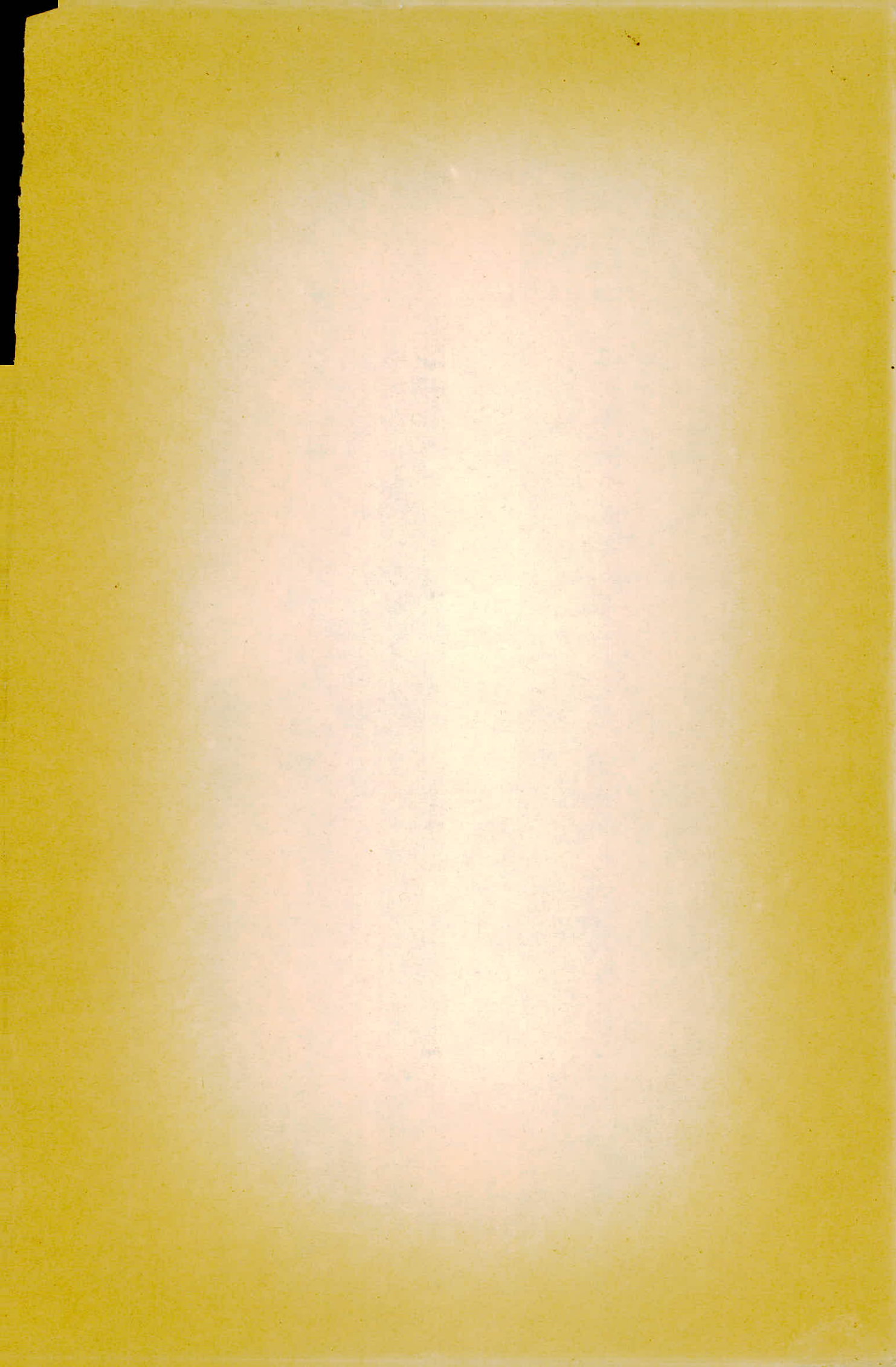
8/91

2EX

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

G-Civil

ANNEXE



# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

UTILISATION DES SABLES

GYPSEUX DANS LA TECHNIQUE

ROUTIERE SAHARIENNE

Proposé par :

C.T.T.P

Etudié par :

M. FAKED  
Z. DJEBBARI

Dirigé par :

M<sup>r</sup> OUZROUROU (C.T.T.P.)  
M<sup>r</sup> BALI (E.N.P.)

PROMOTION  
1991

A.A.A.E.E

- A - Analyse granulométrique .
- B - Limites d'Atterberg .
- C - Equivalent de sable .
- D - Essais Proctor .
- E - Essais C.B.R.
- F - Essais de compression simple .

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

EMPRUNT : 1 (Niv 1)

CARRIERE : Hassi-Keddache

Dimension (mm)		Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Complément à 100 des refus cumulés %	Tamisat %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	2	0,2	99,8	100
	2	30	3	97	97
	1	126	12,6	87,4	88
	0,4	310	31	69	69
	0,2	428	42,8	57,2	57
	0,1	534	53,4	46,6	47
	0,08	569	53,8	46,2	46

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

EMPRUNT: 2 (Niv 2)

CARRIERE: Hassi-Keddache

Dimensions mm		Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Complément à 100 des refus cumulés %	Tamisat %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	0	0	100	100
	2	34	3,4	96,6	97
	1	94	9,4	90,6	91
	0,4	262	26,2	73,8	74
	0,2	380	38	62	62
	0,1	528	52,8	47,2	47
	0,08	530	53	47	47

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

EMPRUNT : 3

CARRIERE : Hassi - Maamar

Dimensions (mm)		Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Complément à 100 des refus cumulés %	Tamisat %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	0	0	100	100
	2	112	11,2	88,8	89
	1	220	22	78	78
	0,4	372	37,2	62,8	63
	0,2	468	46,8	53,2	53
	0,1	570	57	43	43
	0,08	574	57,4	42,6	43

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

EMPRUNT : 4

CARRIERE : Exp. Agricole

Dimensions (mm)		Poids des refus cumulés	Réfús cumulés en %	Complément à 100 des refus cumulés	Tamisat en %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	2	0,2	99,8	100
	2	74	7,4	92,6	93
	1	198	19,8	80,2	80
	0,4	370	37	63	63
	0,2	466	46,6	53,4	53
	0,1	586	58,6	41,4	41
	0,08	594	59,4	40,6	41

-44-



# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Emprunt : 5

Carrière : Expl. - Agricole <sup>Après</sup>

Dimensions (mm)		Poids des refus cumulés	Réfús cumulés en %	Complément A 100 des refus cumulés (%)	Tamisat en %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	6	0,6	99,4	100
	2	118	11,8	88,2	88
	1	218	21,8	78,2	78
	0,4	388	38,8	61,2	61
	0,2	482	48,2	51,8	52
	0,1	596	59,6	40,4	40
	0,08	612	61,2	38,8	39

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

EMPRUNT : 6

CARRIERE : <sup>Après</sup> Carrefour Lagraf

Dimensions (mm)		Poids des refus cumulés	Refus cumulés en %	Complement A 100 des Refus cumulés (%)	Tamisat En %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	4	0,4	99,6	100
	2	48	4,8	95,2	95
	1	126	12,6	87,4	87
	0,4	264	26,4	73,6	74
	0,2	406	40,6	59,4	60
	0,1	596	59,6	40,4	40
	0,08	606	60,6	39,4	39

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Emprunt: 7

Carrière: HDJIRA

Dimensions (mm)		Poids des cumulés	Refus cumulés en %	Complement A 100 des refus cumulés (%)	Tamisat en %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	2	0,2	99,8	100
	2	54	5,4	94,6	95
	1	144	14,4	85,6	86
	0,4	278	27,8	72,2	72
	0,2	352	35,2	64,8	65
	0,1	438	43,8	56,2	56
	0,08	442	44,2	55,8	56

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Emprunt : 8

Carrière : Débi-Débi

Dimensions (mm)		Poids des refus cumulés	Refus cumulés en %	Complément A 100%	Tamisat en %
Passoires	Tamis				
12,5	10	0	0	100	100
	5	0	0	100	100
	2	74	7,4	92,6	93
	1	202	20,2	79,8	80
	0,4	362	36,2	63,8	64
	0,2	454	45,4	54,5	54
	0,1	540	54	46,0	46
	0,08	546	54,6	45,4	45

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 01

DATE : 08.04.91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Hassi - Keddache (Niveau 1)

RESULTATS

LL. = 24,00 %

L.P. = 17,00 %

I.P. = 07,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	67	26	1
Poids total Humide	8,631	8,634	9,758
Poids total Sec	7,997	7,945	8,886
Poids de la tare	4,157	3,841	3,689
Poids de l'eau	0,634	0,689	0,872
Poids du Sol Sec	3,840	4,104	5,197
Teneur en eau (%)	16,50	16,80	16,78
Moyenne	<del>                    </del>	16,69	<del>                    </del>

Nombre de Coups

Emprunt 01

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle      Rugueuse

$W_L = 24\%$

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de Coups	13		23		35	
N <sup>o</sup> de La tare	44	36	31	8	23	43
Poids total Humide	11,109	12,878	10,129	12,634	11,005	14,119
Poids total Sec	9,579	10,948	8,832	10,808	9,673	12,212
Poids de La tare	3,794	3,641	3,677	3,443	3,832	3,723
Poids de L'eau	1,530	1,929	1,297	1,826	1,332	1,907
Poids du Sol Sec	5,782	7,307	5,155	7,315	5,841	8,489
Teneur en eau %	26,47	26,41	25,16	24,79	22,80	22,46
Moyenne	26,44		24,98		22,63	

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 02

DATE : 08.04.91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Hassi - Keddache (Niveau 2)

RESULTATS

LL. = 23,00%

L.P. = 16,00%

I.P. = 07,00%

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	29	13	68
Poids total Humide	7,754	8,245	7,855
Poids total Sec	7,144	7,535	7,273
Poids de la tare	3,431	3,253	3,681
Poids de l'eau	0,610	0,710	0,582
Poids du Sol Sec	3,713	4,282	3,592
Teneur en eau (%)	16,40	16,59	16,19
Moyenne		16,39	

Nombre de Coups

Emprunt 02

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle      Rugueuse

W<sub>L</sub> = 23,00 %

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	14		24		34	
N <sup>o</sup> de La tare	37	46	21	69	30	22
Poids total Humide	11,683	11,796	10,985	12,739	12,410	12,212
Poids total sec	10,145	10,240	9,570	11,126	10,769	10,647
Poids de La tare	3,900	3,858	3,660	4,348	3,576	3,762
Poids de L'eau	1,538	1,556	1,415	1,614	1,641	1,565
Poids du Sol Sec	6,245	6,382	5,910	6,778	7,193	6,885
Teneur en eau %	24,63	24,38	23,95	23,81	22,82	22,73
Moyenne	24,51		23,88		22,78	



DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 03

DATE : 08 . 04 . 91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Hassi - Madmar

RESULTATS

LL. = 23,00 %

L.P. = 16,00 %

I.P. = 07,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	50	40	34
Poids total Humide	7,101	7,504	7,550
Poids total Sec	6,609	7,002	7,075
Poids de la tare	3,565	3,906	4,160
Poids de l'eau	0,492	0,502	0,475
Poids du Sol Sec	3,044	3,096	2,915
Teneur en eau (%)	16,17	16,24	16,31
Moyenne		16,24	

Nombre de Coups

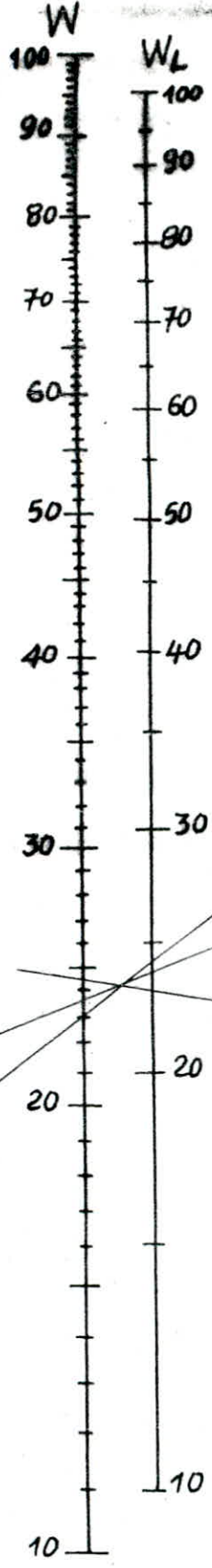
Emprunt 03

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle

Rugueuse

$W_L = 23,00\%$



	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	15		25		35	
N <sup>o</sup> de La tare	61	16	51	28	58	42
Poids total Humide	10,961	10,749	12,110	9,836	13,365	10,154
Poids total Sec	9,619	9,393	10,491	8,558	9,968	8,949
Poids de La tare	4,056	3,957	3,716	3,097	3,785	3,626
Poids de L'eau	1,342	1,357	1,619	1,278	1,407	1,205
Poids du Sol Sec	5,563	5,436	6,775	5,461	6,183	5,323
Teneur en eau %	24,13	24,96	23,96	23,40	22,76	22,64
Moyenne	24,53		23,68		22,70	

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 04

DATE : 08 . 04 . 91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Exploitation Agricole

RESULTATS

LL. = 23,00 %

L.P. = 17,00 %

I.P. = 6,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	2	35	38
Poids total Humide	8,880	8,543	7,800
Poids total Sec	8,149	7,848	7,273
Poids de la tare	3,689	3,657	4,088
Poids de l'eau	0,731	0,694	0,527
Poids du Sol Sec	4,460	4,191	3,185
Teneur en eau (%)	16,40	16,58	16,55
Moyenne		16,51	

Nombre de Coups

Emprunt 04

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle      Rugueuse

LL<sub>L</sub> = 23,00%

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	13		23		35	
N <sup>o</sup> de La tare	49	60	32	3	6	62
Poids total Humide	12,017	10,060	14,072	16,077	13,388	11,249
Poids total sec	10,475	8,795	12,165	13,737	11,659	9,821
Poids de La tare	4,336	3,710	4,034	3,859	3,829	3,357
Poids de L'eau	1,541	1,265	1,907	2,340	1,729	1,428
Poids du Sol sec	6,139	5,085	8,131	9,878	7,830	6,464
Teneur en eau %	25,11	24,87	23,45	23,69	22,08	22,09
Moyenne	24,99		23,57		22,09	

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 05

DATE : 08 . 04 . 91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Après Exploitation Agricole

RESULTATS

LL. = 21,00 %

L.P. = 15,00 %

I.P. = 06,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	52	65	4
Poids total Humide	7,745	8,778	7,409
Poids total Sec	7,216	8,119	6,859
Poids de la tare	3,796	3,813	3,266
Poids de l'eau	0,529	0,659	0,550
Poids du Sol Sec	3,420	4,306	3,593
Teneur en eau (%)	15,47	15,31	15,28
Moyenne	<del>                    </del>	15,35	<del>                    </del>

Nombre de Coups

Emprunt 05

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle    Rugueuse

W<sub>L</sub> = 21,00 %

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	14		24		33	
N <sup>o</sup> de La tare	63	70	45	54	53	19
Poids total Humide	9,812	10,998	13,147	12,064	13,127	13,885
Poids total sec	8,638	9,694	11,567	10,640	11,566	12,230
Poids de La tare	3,201	3,644	3,717	3,662	3,599	3,747
Poids de L'eau	1,174	1,299	1,580	1,424	1,560	1,655
Poids du Sol sec	5,437	6,050	7,850	6,978	7,967	8,483
Teneur en eau %	21,60	21,47	20,13	20,40	19,60	19,57
Moyenne	21,54		20,27		19,56	

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 06

DATE : 08 . 04 . 91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : Carrefour Lagraf

RESULTATS

LL. = 25,00 %

L.P. = 17,00 %

I.P. = 08,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	17	47	12
Poids total Humide	9,500	8,004	9,742
Poids total Sec	8,709	7,352	8,867
Poids de la tare	4,036	3,493	3,620
Poids de l'eau	0,792	0,652	0,875
Poids du Sol Sec	4,673	3,859	5,247
Teneur en eau (%)	16,94	16,89	16,67
Moyenne	<del>          </del>	16,83	<del>          </del>

Nombre de Coups

Emprunt 06

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle

Rugueuse

$W_L = 25,00 \%$

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	13		23		33	
N <sup>o</sup> de La tare	41	11	59	5	48	9
Poids total Humide	10,910	13,105	11,203	13,375	11,518	11,288
Poids total Sec	9,413	11,249	9,639	11,459	9,947	9,749
Poids de La tare	3,808	4,293	3,700	3,872	3,604	3,534
Poids de L'eau	1,497	1,855	1,564	1,916	1,571	1,550
Poids du Sol Sec	5,605	6,956	5,939	7,587	6,343	6,215
Teneur en eau %	26,71	26,68	25,34	25,26	24,77	24,94
Moyenne	26,70		25,30		24,86	



DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 07

DATE : 08 . 04 . 91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière : H' DJIRA

RESULTATS

LL. = 26,00 %

L.P. = 20,00 %

I.P. = 06,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	7	57	15
Poids total Humide	9,209	10,307	9,847
Poids total Sec	8,304	9,154	8,900
Poids de la tare	3,902	3,472	4,262
Poids de l'eau	0,906	1,153	0,947
Poids du Sol Sec	4,402	5,682	4,638
Teneur en eau (%)	20,58	20,30	20,42
Moyenne	<del>                    </del>	20,43	<del>                    </del>

Nombre de Coups

Emprunt 07

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle

Rugueuse

W<sub>L</sub> = 26,00 %

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	14		24		37	
N <sup>o</sup> de La tare	179	151	187	197	56	176
Poids total Humide	13,909	13,491	11,928	10,411	12,800	13,479
Poids total sec	11,609	11,316	10,363	8,926	10,913	11,560
Poids de La tare	3,565	3,661	4,457	3,306	3,347	3,857
Poids de L'eau	2,300	2,175	1,565	1,485	1,887	1,919
Poids du Sol sec	8,044	7,655	5,912	5,620	7,566	7,703
Teneur en eau %	28,59	28,41	26,47	26,42	24,94	24,91
Moyenne	28,5		26,45		24,93	

DOSSIER : OUARGLA

EMPRUNT : 08

DATE : 08.04.91

OPERATEUR : FAKED - DJEBBARI

Carrière: Débi - Débi.

RESULTATS

LL. = 23,00 %

L.P. = 18,00 %

I.P. = 05,00 %

LIMITE DE PLASTICITE

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai	3 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la tare	10	39	55
Poids total Humide	8,463	9,140	9,505
Poids total Sec	7,660	8,321	8,635
Poids de la tare	3,313	3,834	3,864
Poids de l'eau	0,806	0,819	0,870
Poids du Sol Sec	4,347	4,487	4,771
Teneur en eau (%)	18,47	18,25	18,24
Moyenne		18,32	

Nombre de Coups

Emprunt 08

LIMITE DE LIQUIDITE

Coupelle

Rugueuse

W<sub>L</sub> = 23,00 %

	1 <sup>er</sup> Essai		2 <sup>e</sup> Essai		3 <sup>e</sup> Essai	
Nombre de coups	14		25		35	
N <sup>o</sup> de La tare	14	24	27	33	64	20
Poids total Humide	12,200	12,685	14,036	9,220	12,034	13,098
Poids total Sec	10,602	10,902	12,217	8,225	10,590	11,543
Poids de La tare	4,053	3,592	4,250	3,853	3,802	4,234
Poids de L'eau	1,598	1,784	1,819	0,995	1,444	1,555
Poids du Sol Sec	6,549	7,310	7,967	4,372	6,788	7,309
Teneur en eau %	24,41	24,41	22,83	22,76	21,27	21,28
Moyenne	24,41.		22,79.		21,28.	

STTP - ENP

DATE : 06 - 04 - 91

lossier : Ouargla

opérateurs: FAKED - DJEBBARI

Emprunt : 01 - Niveau 1

Carrière : Hassi-Keddache

TS° de Séchage = 55°C

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	06	10
Poids total Humide	49.933	49.553
Poids total sec	40.234	39,986
Poids de la tare	21.293	21.234
Poids d'Eau Initial = P.E.	9.699	9.567
Poids du Sol Sec = P.S.	18.941	18.752
Poids total du Mercure	249.000	248.1
Poids de la tare	21.293	21.234
Poids Net du Mercure	227.707	226.866
Volume Initial VI	16.74	16.68
Volume FINAL VF	14.52	14.34
Limite de Retrait	39.48	38.54
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	39.01%	

STTP - ENP                      Emprunt : 2 (Niveau 2)  
 DATE : 06 - 04 - 91            Carrière : Hossi-Keddache  
 Dossier : Ouargla                T<sup>s</sup> de Séchage = 55°C  
 Operateurs: FAKED - DJEBBARI

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	18	24
Poids total Humide	48.872	49.551
Poids total sec	39.090	39.765
Poids de la tare	20.424	21.394
Poids d'Eau Initial = P.E.	9.782	9.786
Poids du Sol Sec = P.S.	18.666	18.377
Poids total du Mercure	249.4	248.6
Poids de la tare	20.424	21.394
Poids Net du Mercure	228.976	227.206
Volume Initial VI	16.86	16.70
Volume FINAL VF	14.94	15.16
Limite de Retrait	42.22	44.88
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	43.55	

CTTP - ENP

Emprunt : 3

DATE : 06 - 04 - 91

Carrière : HASSI MAÂMAR.

Dossier : Ouargla

TS° de séchage = 55°C

Operateurs: FAKED - DJEBBARI

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	21	09
Poids total Humide	48.067	48.355
Poids total sec	36.884	37.081
Poids de la tare	20.657	21.636
Poids d'Eau Initial = P.E.	11.183	11.274
Poids du Sol Sec = P.S.	16.227	15.445
Poids total du Mercure	247.9	249.5
Poids de la tare	20.657	21.636
Poids Net du Mercure	227.243	227.864
Volume Initial VI	16.71	16.75
Volume FINAL VF	13.89	14.24
Limite de Retrait	51.53	56.74
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	54.13%	

CTTP - ENP

Emprunt : 4

DATE : 06 - 04 - 91

Carrière : Exploitation Agricole

Dossier : Ouargla

TS<sup>e</sup> de séchage = 55°C

Operateurs: FAKED - DJEBBARI

LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	08	23
Poids total Humide	49.049	47.916
Poids total sec	38.759	37.903
Poids de la tare	21.041	20.450
Poids d'Eau Initial = P.E.	10.290	10.013
Poids du Sol Sec = P.S.	17.718	17.453
Poids total du Mercure	249.2	250.0
Poids de la tare	21.041	20.450
Poids Net du Mercure	228.159	229.55
Volume Initial VI	16.77	16.88
Volume FINAL VF	14.53	15.13
Limite de Retrait	45.43	47.34
L.R. = $\frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	46.38%	



CTPP - ENP                      Emprunt : 05  
 DATE : 06 - 04 - 91              Carrière : Après Exploit.  
    Agricole  
 Dossier : Ouargla                      T° de Séchage = 55°C  
 Operateurs: FAKED - DJEBBARI

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	14	19
Poids total Humide	49.972	49.077
Poids total sec	40.690	39.656
Poids de la tare	21.229	20.474
Poids d'Eau Initial = P.E.	9.282	9.421
Poids du Sol Sec = P.S.	19.461	19.186
Poids total du Mercure	248.5	249.0
Poids de la tare	21.229	20.474
Poids Net du Mercure	227.271	228.526
Volume Initial VI	16.71	16.80
Volume FINAL VF	14.92	14.79
Limite de Retrait	38.50	38.61
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	38.56 %	

CTTP - ENP

Emprunt : 6

DATE : 06 - 04 - 91

Carrière : Apres Carrefour Lagras

Dossier : Ouargla

T<sup>se</sup> de Séchage = 55°C

Operateurs: FAKED - DJEBBARI

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de La Tare	13	12
Poids total Humide	50.192	50.142
Poids total sec	41.265	41.028
Poids de la tare	20.794	20.110
Poids d'Eau Initial = P.E.	8.927	9.114
Poids du Sol Sec = P.S.	20.471	20.918
Poids total du Mercure	246.1	248.2
Poids de la tare	20.794	20.110
Poids Net du Mercure	225.306	228.09
Volume Initial VI	16.70	16,77
Volume FINAL VF	14,70	15,43
Limite de Retrait	34.47	37.16
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	35.81 %	

CTTP - ENP

Emprunt : 7

DATE : 06 - 04 - 91

Carrière : H'DJIRA

Dossier : Ouargla

T<sup>°</sup> de Séchage = 55°C

Opérateurs : FAKED - DJEBBARI

LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de la Tare	20	11
Poids total Humide	48.403	48.875
Poids total sec	39.205	39.546
Poids de la tare	21.343	21.308
Poids d'Eau Initial = P.E.	9.198	9.299
Poids du Sol Sec = P.S.	17.862	18.268
Poids total du Mercure	248.3	249.0
Poids de la tare	21.343	21.308
Poids Net du Mercure	226.957	227.692
Volume Initial VI	16.69	16.74
Volume FINAL VF	13.88	13.95
Limite de Retrait	35.76	35.63
L. R. = $\frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$	moyenne	
	35.69 %	

CTTP - ENP

Emprunt : 8

DATE : 06 - 04 - 91

Carrière : DEBI DEBI

Dossier : Ouargla

T<sup>°</sup> de Séchage = 55°C

Operateurs: FAKED - DJEBBARI

## LIMITE DE RETRAIT

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>e</sup> Essai
Numéro de La Tare	16	05
Poids total Humide	49.520	50.324
Poids total sec	41.209	41.826
Poids de la tare	20.766	21.276
Poids d'Eau Initial = P.E.	8.311	8.498
Poids du Sol Sec = P.S.	20.443	20.544
Poids total du Mercure	248.4	250.0
Poids de la tare	20.766	21.276
Poids Net du Mercure	227.634	228.728
Volume Initial VI	16.74	16.82
Volume FINAL VF	14.35	14.35
Limite de Retrait	28.96	29.34
$L.R. = \frac{P.E. (VI - VF)}{P.S.} \times 100$		moyenne
		29.15 %

# RESULTATS EQUIVALENT DE SABLE

EMPRUNT: 1 (N1)

CARRIERE : HASSI-KEDDACHE

Hauteur totale	Hauteur de Sable H <sub>2</sub> (PISTON)	$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN.
33,0	43,3 - 35,8 = 7,5	22,72	
32,2	43,3 - 35,7 = 7,6	22,89	22,85 %
33,1	43,3 - 35,7 = 7,6	22,96	≈ 23 %

EMPRUNT: 2 (N2)

CARRIERE : HASSI-KEDDACHE

Hauteur totale	Hauteur de Sable H <sub>2</sub> (PISTON)	$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN
33,1	43,3 - 36,7 = 6,6	19,93	
33,0	43,3 - 36,5 = 6,8	20,60	20,03 %
33,2	43,3 - 36,8 = 6,5	19,57	≈ 20 %

EMPRUNT : 3

CARRIERE : HASSI-MAAMAR

Hauteur totale	Hauteur de Sable H <sub>2</sub> (PISTON)	$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN.
36,7	43,3 - 32,8 = 10,5	28,61	
36,5	43,3 - 32,7 = 10,6	29,04	29,02 %
36,7	43,3 - 32,5 = 10,8	29,42	≈ 29 %

# RESULTATS EQUIVALENT DE SABLE - Suite -

EMPRUNT : 4

CARRIERE : EXPLOIT. AGRICOLE

Hauteur totale	Hauteur de Sable Hz (PISTON)	$ES = \frac{Hz}{H1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN.
31,1	43,3 - 33,5 = 9,8	31,51	
31,1	43,3 - 33,4 = 9,9	31,83	31,44%
31,3	43,3 - 33,6 = 9,7	30,99	≈ 31%

EMPRUNT : 5

CARRIERE : APRES EXPL. AGRICOLE

Hauteur totale	Hauteur de Sable Hz (PISTON)	$ES = \frac{Hz}{H1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN.
31,9	43,3 - 34,9 = 8,4	26,33	
31,7	43,3 - 34,7 = 8,6	27,12	26,88%
31,6	43,3 - 34,7 = 8,6	27,21	≈ 27%

EMPRUNT : 6

CARRIERE : CARREFOUR LAGRAF

Hauteur totale	Hauteur de Sable Hz (PISTON)	$ES = \frac{Hz}{H1} \times 100$	EQUIV DE SABLE MOYEN
26,8	43,3 - 35,2 = 8,1	30,43	
27,3	43,3 - 35,5 = 7,8	28,62	29,87
27,2	43,3 - 35 = 8,3	30,56	≈ 30%

# RESULTATS EQUIVALENT DE SABLE - Suite -

EMPRUNT: 7

CARRIERE: HDJIRA

HAUTEUR TOTALE	HAUTEUR DE SABLE H <sub>2</sub> (PISTON)	$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN
23,3	43,3 - 36,8 = 6,5	27,89	
23,2	43,3 - 36,7 = 6,6	28,44	28,58 %
23,1	43,3 - 36,5 = 6,8	29,43	≈ 29%

EMPRUNT: 08

CARRIERE: DEBI-DEBI

HAUTEUR TOTALE	HAUTEUR DE SABLE H <sub>2</sub> (PISTON)	$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100$	EQUIV. DE SABLE MOYEN
31,4	43,3 - 33,9 = 9,4	29,87	
30,6	43,3 - 34 = 9,3	30,47	30,11
29,7	43,3 - 34,4 = 8,9	29,99	≈ 30

ESSAI PROCTORNORMALMODIFIE X

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : OuarglaTeneur en eau optima :  $W = 8,20\%$ Date : 14-04-91N° de l'échantillon : Famille A  
(Emprunt 1)Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,73 \text{ t/m}^3$ Opérateur : FAKED  
DJEBBARI

	4%	6%	8%	10%
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	4%	6%	8%	10%
Poids total humide .....	13095	13200	13370	13350
Poids du moule .....	9075	9075	9075	9075
Poids du sol humide .....	4020	4125	4295	4275
Poids du sol sec .....	3880	3912	3972	3860
Volume du moule .....	2295	2295	2295	2295
Densité sèche .....	1,68	1,70	1,73	1,69
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	1240	1062	1190	1110
Poids total sec .....	1220	1030	1150	1045
Poids de la tare .....	665	442	658	440
Poids de l'eau .....	20	32	40	65
Poids du sol sec .....	555	588	492	605
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	3,6%	5,44%	8,13%	10,74%



C. T. T. P.

DOSSIER : QUARGLA

ESSAI PROCTOR

~~NORMAL~~ : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE A

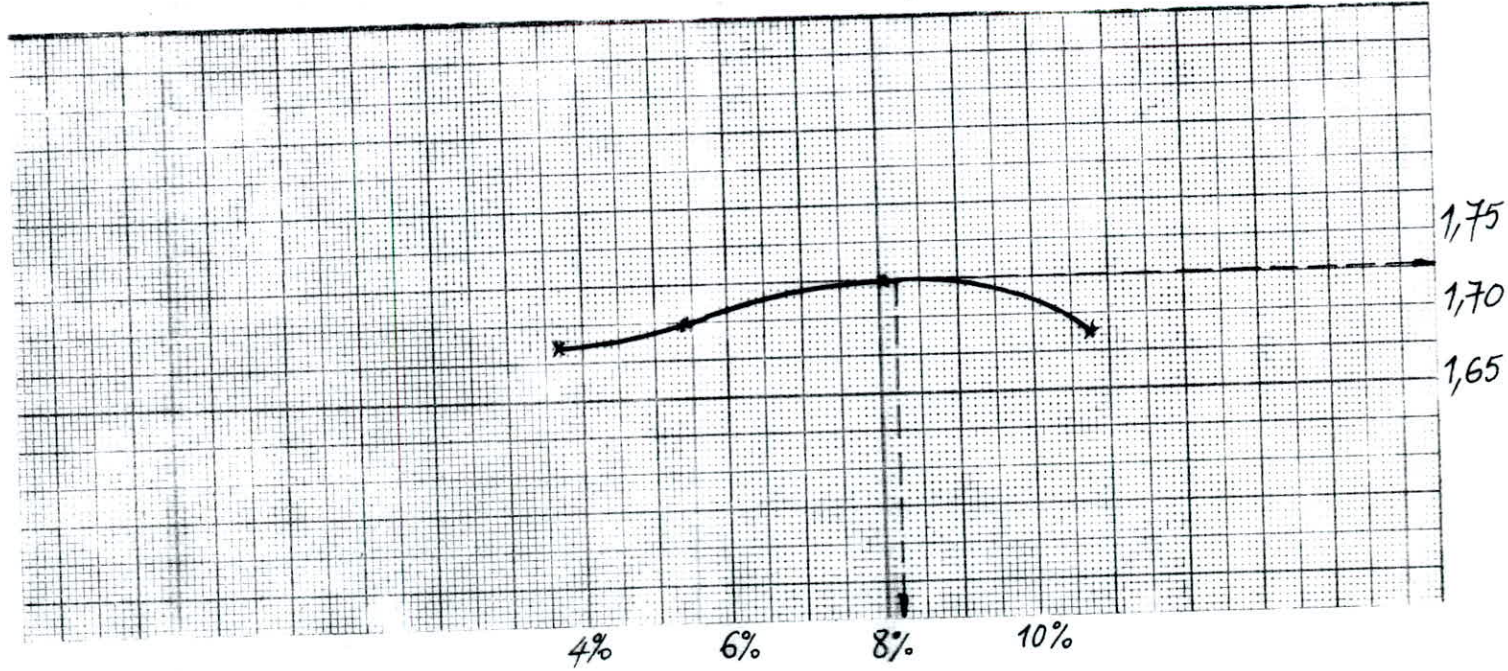
MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum  $W(\%) = 8,20\%$

Densité sèche maximum  $\gamma_d = 1,73 \text{ t/m}^3$

DENSITÉ SÈCHE

(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU (Poids d'eau par unité de sol sec).

# ESSAI PROCTOR

NORMAL  
MODIFIE X

Préparation : 55°C.

Teneurs en eau : /

Dossier : Duargla

Teneur en eau optima :  $W = 7,95\%$

Date : 14 - 04 - 91

N° de l'échantillon : Famille B  
(emprunt 2,3,6)

Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,54 \text{ t/m}^3$

Opérateur : DJEBBARI  
FAKED

-02-

Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	6%	8%	10%	12%
Poids total humide .....	12754	12900	12960	12988
Poids du moule .....	9075	9075	9075	9075
Poids du sol humide .....	3679	3825	3885	3913
Poids du sol sec .....	3473	3548	3537	3496
Volume du moule .....	2295	2295	2295	2295
Densité sèche .....	1,51	1,54	1,53	1,52
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	1063	949	1048	1224
Poids total sec .....	1027	910	994	1165
Poids de la tare .....	420	410	445	670
Poids de l'eau .....	36	39	54	59
Poids du sol sec .....	607	500	549	494
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	5,93%	7,80%	9,84%	11,91%

C. T. T. P.

DOSSIER : OUIARGLA

ESSAI PROCTOR

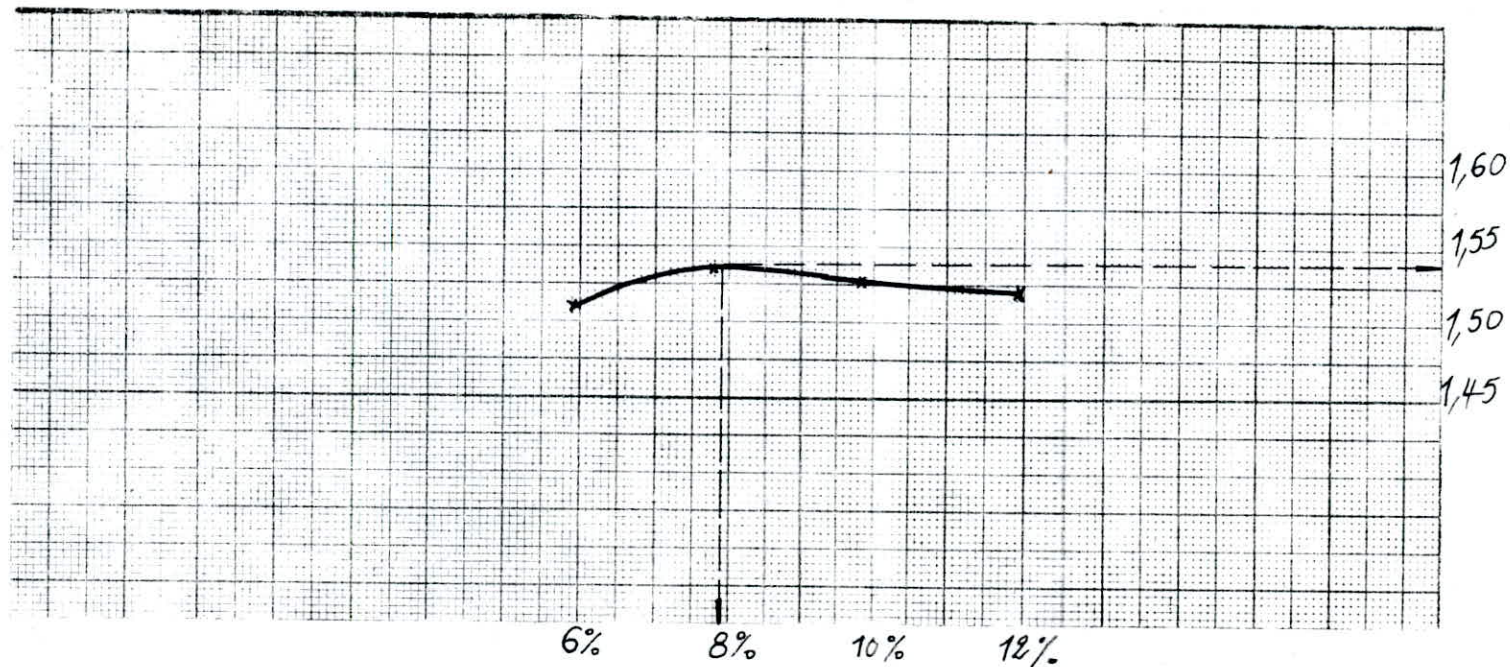
NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE B

MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum  $w(\%) = 7,95 \%$

Densité sèche maximum  $\gamma_d = 1,54 \text{ t/m}^3$

DENSITÉ SÈCHE  
(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU (Poids d'eau par unité de sol sec).

# ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIE X

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : Quargla

Teneur en eau optima : 8,15 %

Date : 14-04-91

N° de l'échantillon : Famille C  
(Emprunts 4,5)

Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,64 \text{ t/m}^3$

Opérateur : FAKED  
DJEBBARI

-03-

	4%	6%	8%	10%
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	4%	6%	8%	10%
Poids total humide .....	12895	13020	13146	13175
Poids du moule .....	9075	9075	9075	9075
Poids du sol humide .....	3820	3945	4071	4100
Poids du sol sec .....	3678	3727	3774	3733
Volume du moule .....	2295	2295	2295	2295
Densité sèche .....	1,60	1,62	1,64	1,62
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	1080	1203	1154	1044
Poids total sec .....	1055	1173	1100	990
Poids de la tare .....	410	660	415	440
Poids de l'eau .....	25	30	54	54
Poids du sol sec .....	645	513	685	550
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	3,87%	5,84%	7,88%	9,82%

C. T. T. P.

DOSSIER : QUARGLA

ESSAI PROCTOR

~~NORMAL~~ : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE C

MODIFIÉ : S. 2

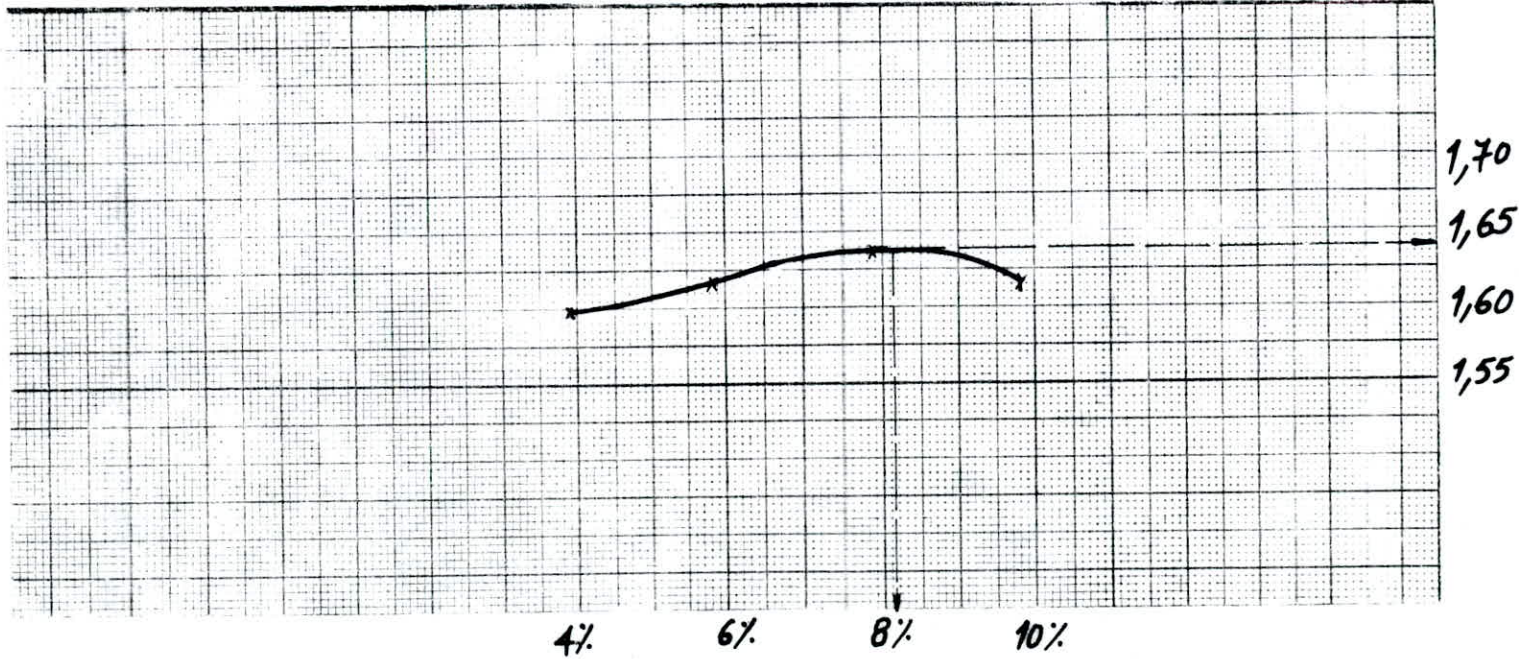
Teneur en eau optimum

$$w(\%) = 8,15\%$$

Densité sèche maximum

$$\gamma_d = 1,64 \text{ t/m}^3$$

DENSITÉ SÈCHE  
(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU (Poids d'eau par unité de sol sec)

# ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIE X

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : OUARGLA

Teneur en eau optima : 7,90 %

Date : 14-04-91

N° de l'échantillon : FAMILLE D  
(emprunts 7 et 8)

Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,49 \text{ t/m}^3$

Opérateur : FAKED  
DJEBBARI

	4 %	6 %	8 %	10 %
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....				
Poids total humide .....	12542	12660	12770	12765
Poids du moule .....	9075	9075	9075	9075
Poids du sol humide .....	3467	3585	3695	3690
Poids du sol sec .....	3333	3388	3426	3361
Volume du moule .....	2295	2295	2295	2295
Densité sèche .....	1,45	1,47	1,49	1,46
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	1088	1034	1178	1098
Poids total sec .....	1063	1002	1140	1040
Poids de la tare .....	440	450	656	448
Poids de l'eau .....	25	32	38	58
Poids du sol sec .....	623	552	484	592
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	4,01 %	5,80 %	7,85 %	9,80 %

- 04 -

C. T. T. P.

DOSSIER : QUARGLA

ESSAI PROCTOR

NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE D

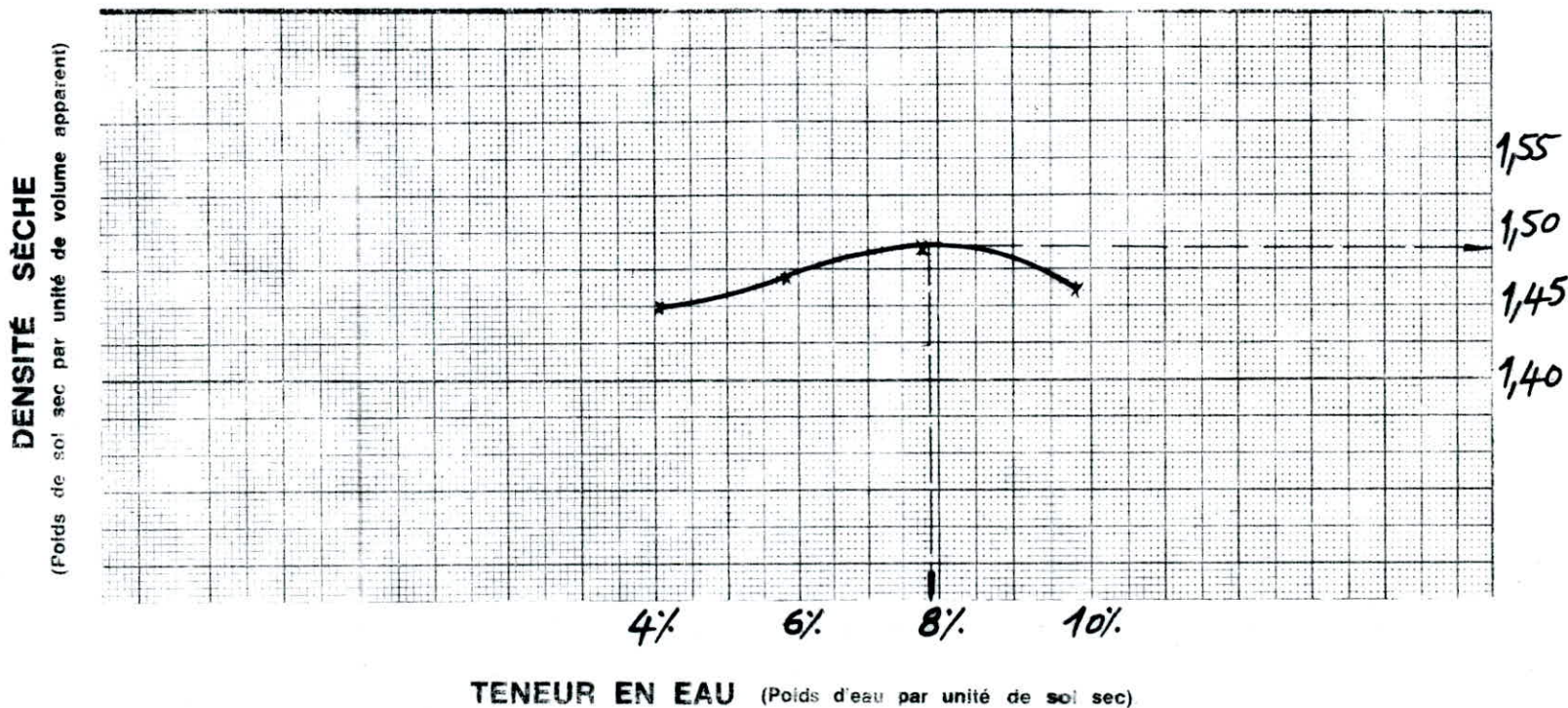
MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum

$W\% = 7,90\%$

Densité sèche maximum

$\gamma_d = 1,49 \text{ t/m}^3$



# ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIE

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : OUARGLA

Teneur en eau optima :  $w(\%) = 7,90\%$

Date : 23 - 04 - 91

N° de l'échantillon : FAMILLE A

Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,63 \text{ t/m}^3$

Opérateur : FAKED  
DJEJBARI

	6%	8%	10%	12%
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	6%	8%	10%	12%
Poids total humide .....	6400	6445	6452	6445
Poids du moule .....	4777	4777	4777	4777
Poids du sol humide .....	1623	1668	1675	1668
Poids du sol sec .....	1533	1546	1525	1501
Volume du moule .....	949	949	949	949
Densité sèche .....	1,61	1,63	1,61	1,58
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	849	850	1088	1159
Poids total sec .....	825	820	1050	1085
Poids de la tare .....	415	440	664	420
Poids de l'eau .....	24	30	38	74
Poids du sol sec .....	410	380	386	665
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	5,85%	7,89%	9,84	11,12

-D5-



C. T. T. P.

DOSSIER : QUARGLA

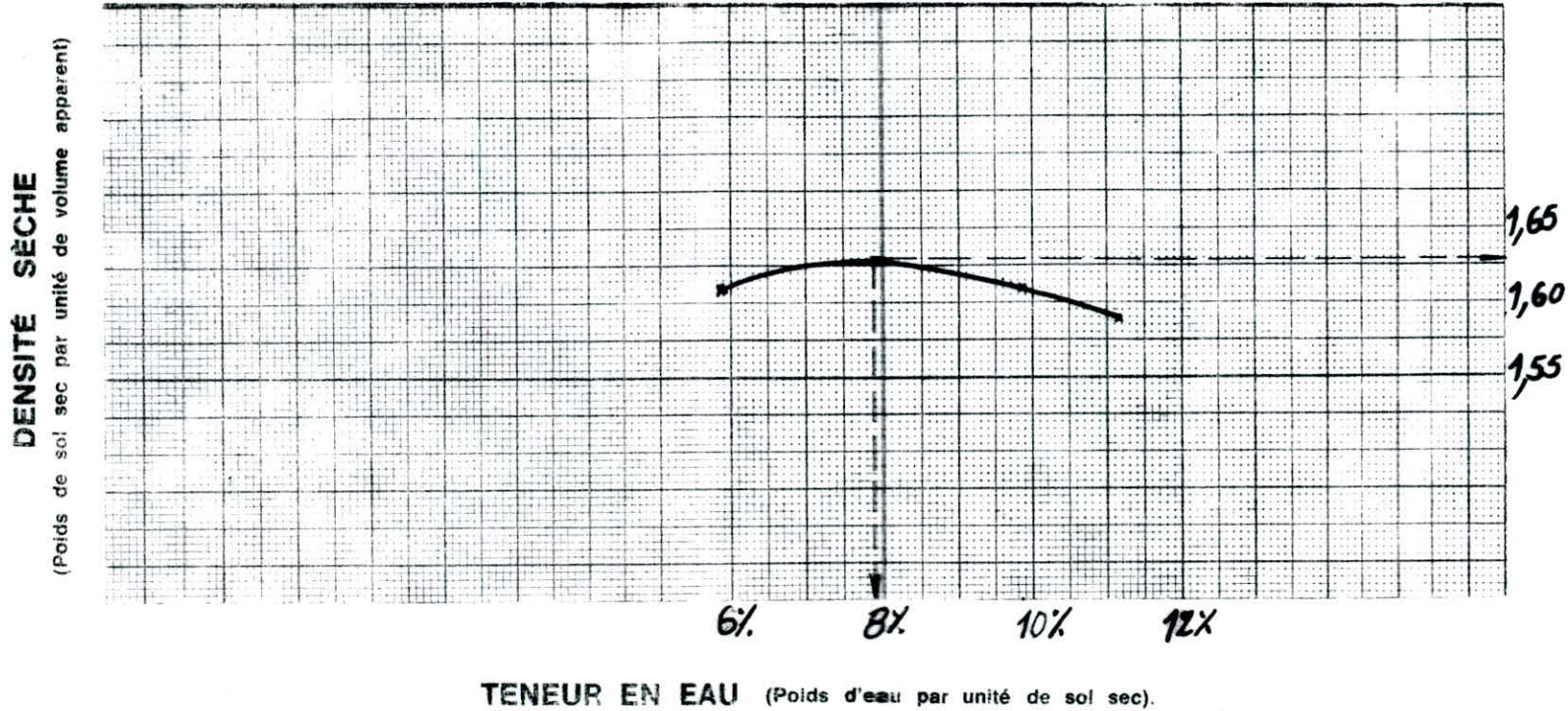
ESSAI PROCTOR

NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE A

MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum  $w(\%) = 7,90\%$

Densité sèche maximum  $\gamma_d = 1,63 \text{ t/m}^3$



ESSAI PROCTORNORMALMODIFIE

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : OLIARGIATeneur en eau optima :  $w(\%) = 7,80\%$ Date : 23 - 04 - 91N° de l'échantillon : FAMILLE BDensité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,55 t/m^3$ Opérateur : FAKED  
DJEBBARI

Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	4 %	6 %	8 %	10 %
Poids total humide .....	6270	6315	6368	6365
Poids du moule .....	4777	4777	4777	4777
Poids du sol humide .....	1493	1538	1591	1588
Poids du sol sec .....	1437	1451	1475	1447
Volume du moule .....	949	949	949	949
Densité sèche .....	1,51	1,53	1,55	1,52
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	918	694	867	980
Poids total sec .....	900	680	836	952
Poids de la tare .....	440	445	440	665
Poids de l'eau .....	18	14	31	28
Poids du sol sec .....	460	235	396	287
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	3,91%	5,96%	7,83%	9,76%

C. T. T. P.

DOSSIER : OUARTLA

ESSAI PROCTOR

NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE B

MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum

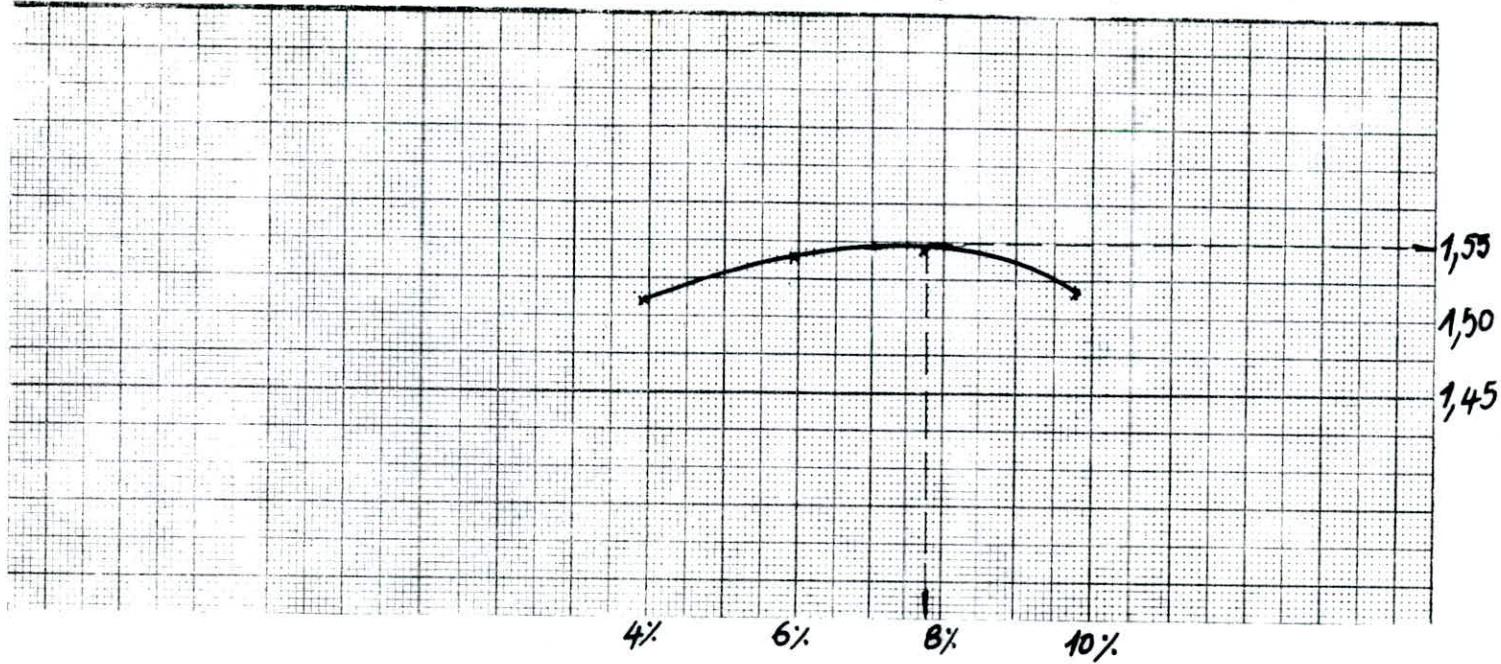
$w_p = 7,80\%$

Densité sèche maximum

$\gamma_d = 1,55 \text{ t/m}^3$

DENSITÉ SÈCHE

(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU

(Poids d'eau par unité de sol sec)

ESSAI PROCTORNORMALMODIFIÉ

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : /

Dossier : OLIARGLATeneur en eau optima :  $W(\%) = 10,40\%$ Date : 23-04-91N° de l'échantillon : FAMILLE CDensité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,63 \text{ t/m}^3$ Opérateur : FAKED  
DJEJBARI

	6%	8%	10%	12%
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	6%	8%	10%	12%
Poids total humide .....	6370	6425	6475	6490
Poids du moule .....	4777	4777	4777	4777
Poids du sol humide .....	1593	1548	1598	1713
Poids du sol sec .....	1506	1528	1547	1531
Volume du moule .....	949	949	949	949
Densité sèche .....	1,59	1,61	1,63	1,61
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	939	938	1041	1083
Poids total sec .....	910	902	1008	1015
Poids de la tare .....	410	445	670	442
Poids de l'eau .....	29	36	33	58
Poids du sol sec .....	500	457	338	573
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	5,80%	7,88%	9,76%	11,87%

- 20 -

C. T. T. P.

DOSSIER : OUARGLA

ESSAI PROCTOR

NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE C

MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum

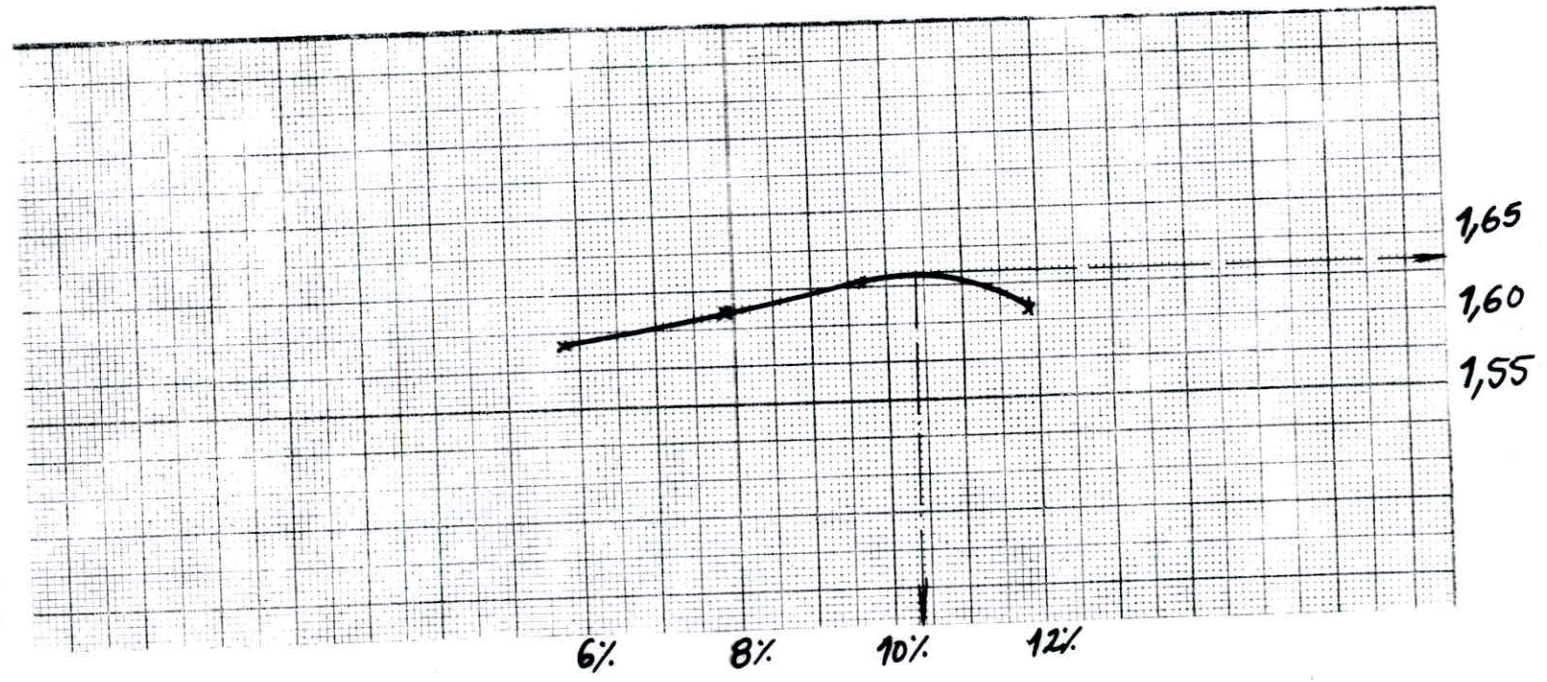
$W(\%) = 10,40 \%$

Densité sèche maximum

$\gamma_d = 1,63 \text{ t/m}^3$

DENSITÉ SÈCHE

(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU (Poids d'eau par unité de sol sec)

# ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIE

Préparation : 55°C

Teneurs en eau : ✓

Dossier : OUARGLA

Teneur en eau optima :  $W(\%) = 7,90\%$

Date : 23-04-91

N° de l'échantillon : FAMILLE D

Densité sèche maxima :  $\gamma_d = 1,49 \text{ t/m}^3$

Opérateur : FAKED  
DJEBBARI

- 08 -

	6%	8%	10%	12%
Poids d'eau ajoutée à chaque compactage .....	6%	8%	10%	12%
Poids total humide .....	6270	6320	6315	6318
Poids du moule .....	4777	4777	4777	4777
Poids du sol humide .....	1493	1543	1538	1541
Poids du sol sec .....	1412	1429	1398	1377
Volume du moule .....	949	949	949	949
Densité sèche .....	1,48	1,49	1,47	1,45
N° de la tare .....				
Poids total humide .....	789	984	1050	1035
Poids total sec .....	770	960	1015	970
Poids de la tare .....	440	660	664	425
Poids de l'eau .....	19	24	35	65
Poids du sol sec .....	330	300	351	545
Teneurs en eau .....				
Moyenne .....	5,75%	8,00%	9,97%	11,93%

C. T. T. P.

DOSSIER : OLIARGLA

ESSAI PROCTOR

NORMAL : S. 1 ECHANTILLON : FAMILLE D

MODIFIÉ : S. 2

Teneur en eau optimum

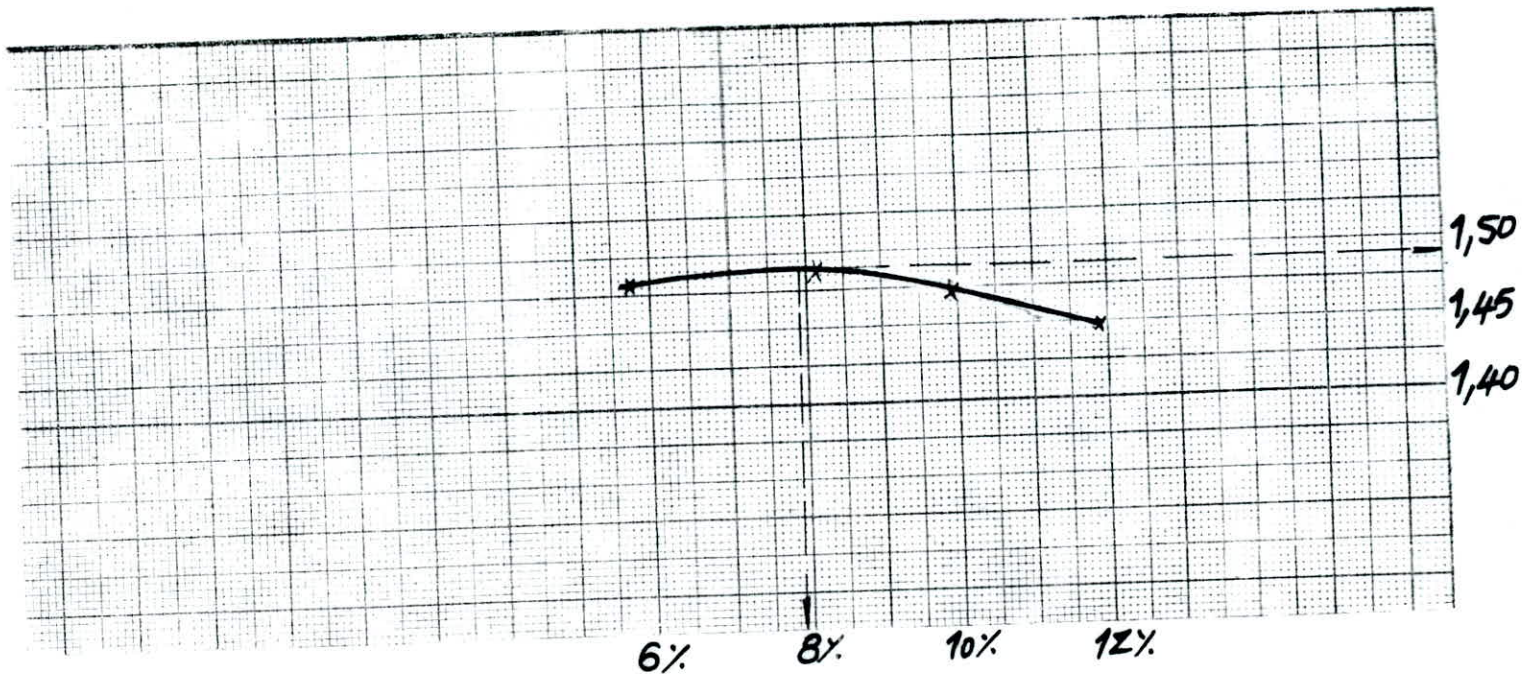
$$W(\%) = 7,90\%$$

Densité sèche maximum

$$\gamma_d = 1,49 \text{ t/m}^3$$

DENSITÉ SÈCHE

(Poids de sol sec par unité de volume apparent)



TENEUR EN EAU (Poids d'eau par unité de sol sec).

L. N. T. P.  
ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 10 coups/couche

Traitement : .....

Dossier QUARGLA

Indice portant 55,51

Echantillon FAMILLE A

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : Sable gypseux

Opérateur : FAKED

Teneur en eau de compactage : $O_0$ (8,20%)		Densité sèche $D_s$	1,73
Température de séchage 55°C		P. total humide	12500
N° de la tare		P. du moule	9000
P. total humide	1211	P. du sol humide	3500
P. total sec	1170	Teneur en eau $O_0$	8,01
P. de la tare	658	P. sec calculé	3240
P. de l'eau	41	Volume du moule	2295
P. du sol sec	572	Densité sèche $D_s$	1,41
Teneur en eau $O_0$	8,01		
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion /

Durée de l'immersion /

Surcharges annulaires : /

Teneur en eau après immersion $O_f$		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau $O_f$			
Moyenne			

Gonflement :	temps				
	Lecture du comparateur en 1/100 mm				
	Valeur du gonflement				



Dossier : **OUARGLA**

Echantillon : **FAMILLE A**

Date du poinçonnement : **21-04-91**

Opérateur : **FAKED - DJEBBARI**

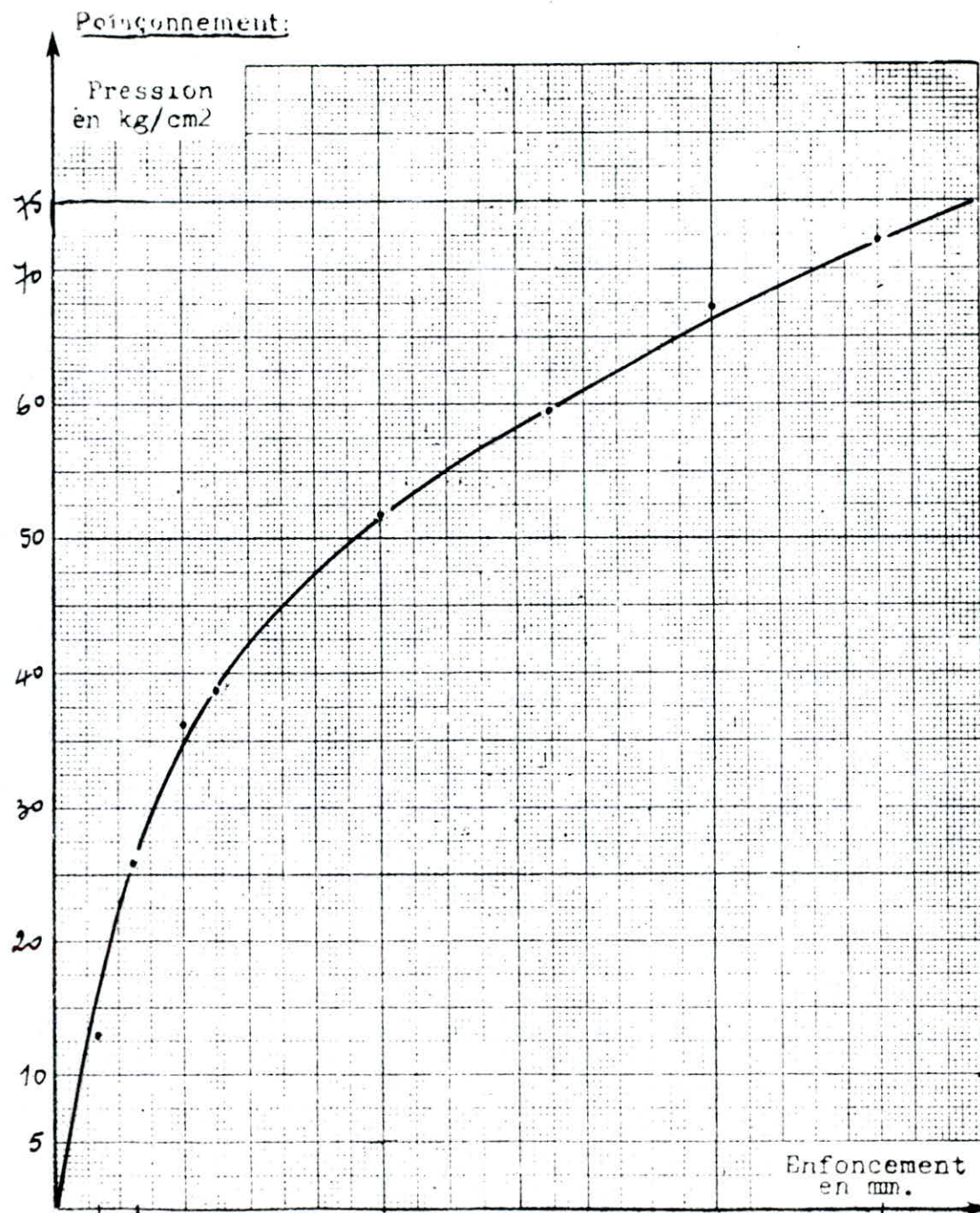
Lecture initiale du cadran de la presse : **0**

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	2,5	250	12,95
1'	1,25	5	500	25,91
1'40"	2	7	700	36,27
2' "	2,5	7,5	750	38,86
4'	5	10	1000	51,81
6'	7,5	11,5	11500	59,58
8'	10	13	1300	67,36
10'	12,5	14	1400	72,54

**Calcul de l'indice portant**

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 55,51$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 49,34$$



L. N. T. P.  
ALGER

**S. 16 - ESSAI C.B.R.**

Intensité de compactage : 25 coups/couche

Traitement : .....

Dossier DUARGLA

Indice portant 74,02

Echantillon FAMILLE A

**I - Etat initial de l'échantillon étudié**

Nature du matériau : .....

Opérateur : FAKED - DJEBBARI

<p>Teneur en eau de compactage : <math>O_0</math> <u>8,20</u></p> <p>Température de séchage <u>55°C</u></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">N° de la tare .....</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>P. total humide .....</td> <td style="text-align: right;"><u>1211</u></td> </tr> <tr> <td>P. total sec .....</td> <td style="text-align: right;"><u>1170</u></td> </tr> <tr> <td>P. de la tare .....</td> <td style="text-align: right;"><u>658</u></td> </tr> <tr> <td>P. de l'eau .....</td> <td style="text-align: right;"><u>41</u></td> </tr> <tr> <td>P. du sol sec .....</td> <td style="text-align: right;"><u>512</u></td> </tr> <tr> <td>Teneur en eau <math>O_0</math> .....</td> <td style="text-align: right;"><u>8,01</u></td> </tr> <tr> <td>Moyenne</td> <td style="text-align: right;"><u>8,01</u></td> </tr> </table>	N° de la tare .....		P. total humide .....	<u>1211</u>	P. total sec .....	<u>1170</u>	P. de la tare .....	<u>658</u>	P. de l'eau .....	<u>41</u>	P. du sol sec .....	<u>512</u>	Teneur en eau $O_0$ .....	<u>8,01</u>	Moyenne	<u>8,01</u>	<p>Densité sèche <math>D_s</math> <u>1,73</u></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">P. total humide .....</td> <td style="width: 50%; text-align: right;"><u>13000</u></td> </tr> <tr> <td>P. du moule .....</td> <td style="text-align: right;"><u>9070</u></td> </tr> <tr> <td>P. du sol humide .....</td> <td style="text-align: right;"><u>3930</u></td> </tr> <tr> <td>Teneur en eau <math>O_0</math> .....</td> <td style="text-align: right;"><u>8,01</u></td> </tr> <tr> <td>P. sec calculé .....</td> <td style="text-align: right;"><u>3638</u></td> </tr> <tr> <td>Volume du moule .....</td> <td style="text-align: right;"><u>2295</u></td> </tr> <tr> <td>Densité sèche <math>D_s</math> .....</td> <td style="text-align: right;"><u>1,58</u></td> </tr> </table>	P. total humide .....	<u>13000</u>	P. du moule .....	<u>9070</u>	P. du sol humide .....	<u>3930</u>	Teneur en eau $O_0$ .....	<u>8,01</u>	P. sec calculé .....	<u>3638</u>	Volume du moule .....	<u>2295</u>	Densité sèche $D_s$ .....	<u>1,58</u>
N° de la tare .....																															
P. total humide .....	<u>1211</u>																														
P. total sec .....	<u>1170</u>																														
P. de la tare .....	<u>658</u>																														
P. de l'eau .....	<u>41</u>																														
P. du sol sec .....	<u>512</u>																														
Teneur en eau $O_0$ .....	<u>8,01</u>																														
Moyenne	<u>8,01</u>																														
P. total humide .....	<u>13000</u>																														
P. du moule .....	<u>9070</u>																														
P. du sol humide .....	<u>3930</u>																														
Teneur en eau $O_0$ .....	<u>8,01</u>																														
P. sec calculé .....	<u>3638</u>																														
Volume du moule .....	<u>2295</u>																														
Densité sèche $D_s$ .....	<u>1,58</u>																														

**II - Etat final de l'échantillon après imbibition**

Date de mise en immersion .....

Durée de l'immersion .....

Surcharges annulaires : .....

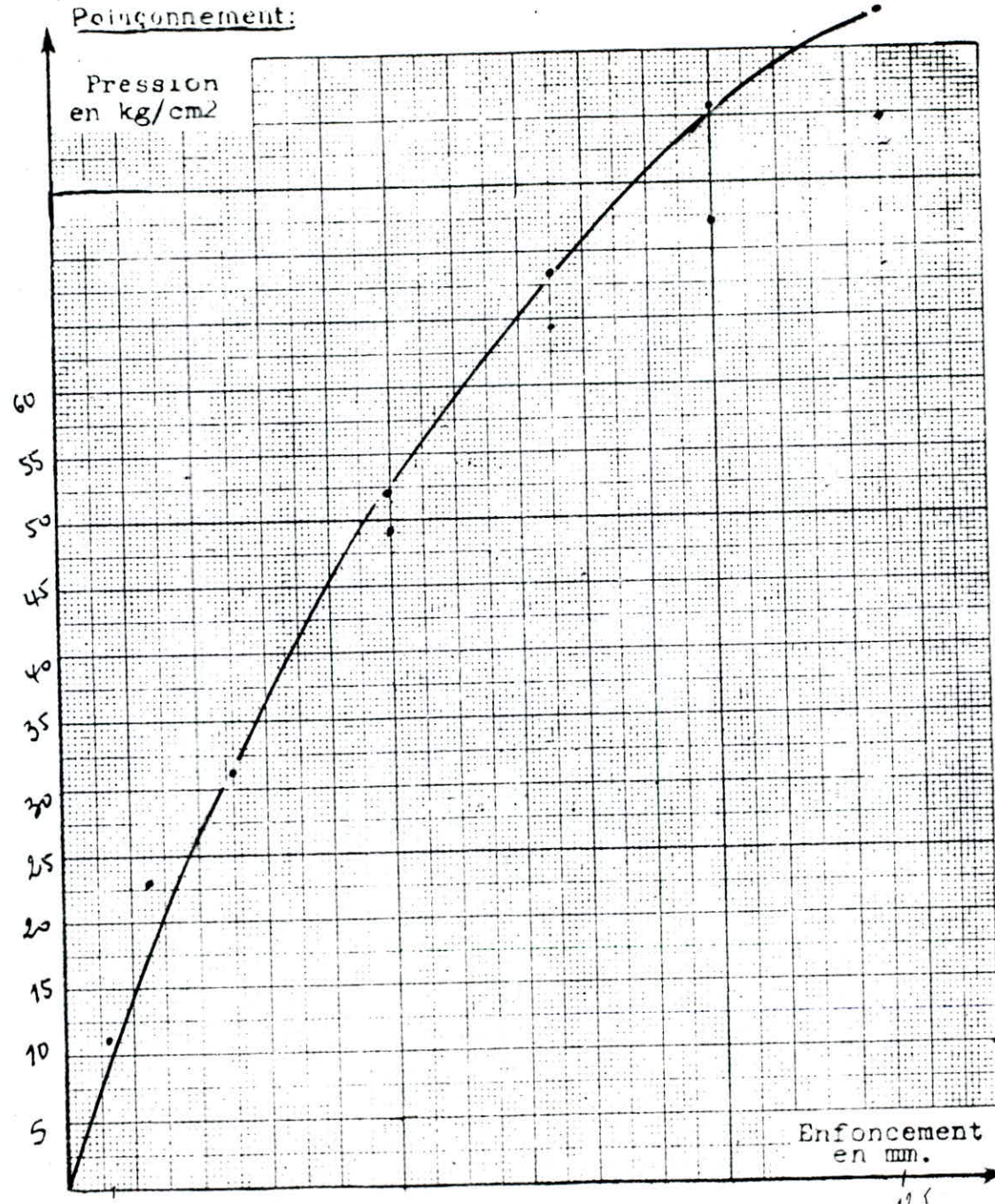
<p>Teneur en eau après immersion <math>O_f</math></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">N° de la tare .....</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>P. total humide .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. total sec .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. de la tare .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. de l'eau .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. du sol sec .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teneur en eau <math>O_f</math> .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Moyenne</td> <td></td> </tr> </table>	N° de la tare .....		P. total humide .....		P. total sec .....		P. de la tare .....		P. de l'eau .....		P. du sol sec .....		Teneur en eau $O_f$ .....		Moyenne		<p>Poids approximatif du sol imbibé :</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">P. total humide après imbibition .....</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>P. total avant imbibition .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. de l'eau absorbée, .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Différence de teneur en eau .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P. app. de sol imbibé, .....</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm. :</td> <td></td> </tr> </table>	P. total humide après imbibition .....		P. total avant imbibition .....		P. de l'eau absorbée, .....		Différence de teneur en eau .....		P. app. de sol imbibé, .....		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm. :	
N° de la tare .....																													
P. total humide .....																													
P. total sec .....																													
P. de la tare .....																													
P. de l'eau .....																													
P. du sol sec .....																													
Teneur en eau $O_f$ .....																													
Moyenne																													
P. total humide après imbibition .....																													
P. total avant imbibition .....																													
P. de l'eau absorbée, .....																													
Différence de teneur en eau .....																													
P. app. de sol imbibé, .....																													
Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm. :																													

<p>Gonflement :</p>	<p>temps</p>	
	Lecture du comparateur en 1/100 mm	
	Valeur du gonflement	

Dossier : OUARGLA  
 Echantillon : FAMILLE A  
 Date du poinçonnement : 21-04-91  
 Opérateur : FAKED - DJEBBARI  
 Lecture initiale du cadran de la presse : 0

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	3	300	15,54
1'	1,25	6	600	31,09
1'40"	2	8	800	41,45
2' "	2,5	9	900	46,63
4'	5	15	1500	77,72
6'	7,5	17,5	1750	90,67
8'	10	21	2100	108,81
10'	12,5	23	2300	119,17

Calcul de l'indice portant	
à 2,5 mm :	$\frac{P(2,5)}{0,70} = 66,61$
à 5 mm :	$\frac{P(5)}{1,05} = 74,02$



Intensité de compactage : 55 coups / couche

Traitement : .....

Dossier DUARGLA

Indice portant 138,17

Echantillon FAMILLE A

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : .....

Opérateur : FAKED - DJEBBARI

Teneur en eau de compactage : $\theta_0$ 8,20%		Densité sèche $D_s$ 1,73	
Température de séchage 55°C			
N° de la tare .....		P. total humide .....	13280
P. total humide .....	1211	P. du moule .....	9045
P. total sec .....	1170	P. du sol humide .....	4235
P. de la tare .....	658	Teneur en eau $\theta_0$ .....	8,01
P. de l'eau .....	41	P. sec calculé .....	3921
P. du sol sec .....	572	Volume du moule .....	3295
Teneur en eau $\theta_0$ .....	8,01	Densité sèche $D_s$ .....	1,71
Moyenne .....			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion : .....

Durée de l'immersion : .....

Surcharges annulaires : .....

Teneur en eau après immersion $\theta_f$		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare .....		P. total humide après imbibition .....	
P. total humide .....		P. total avant imbibition .....	
P. total sec .....		P. de l'eau absorbée .....	
P. de la tare .....		Différence de teneur en eau .....	
P. de l'eau .....		P. app. de sol imbibé .....	
P. du sol sec .....		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm. :	
Teneur en eau $\theta_f$ .....			
Moyenne .....			

Gonflement :	temps				
	Lecture du comparateur en 1/100 mm				
	Valeur du gonflement				

Dossier : DUARGLA

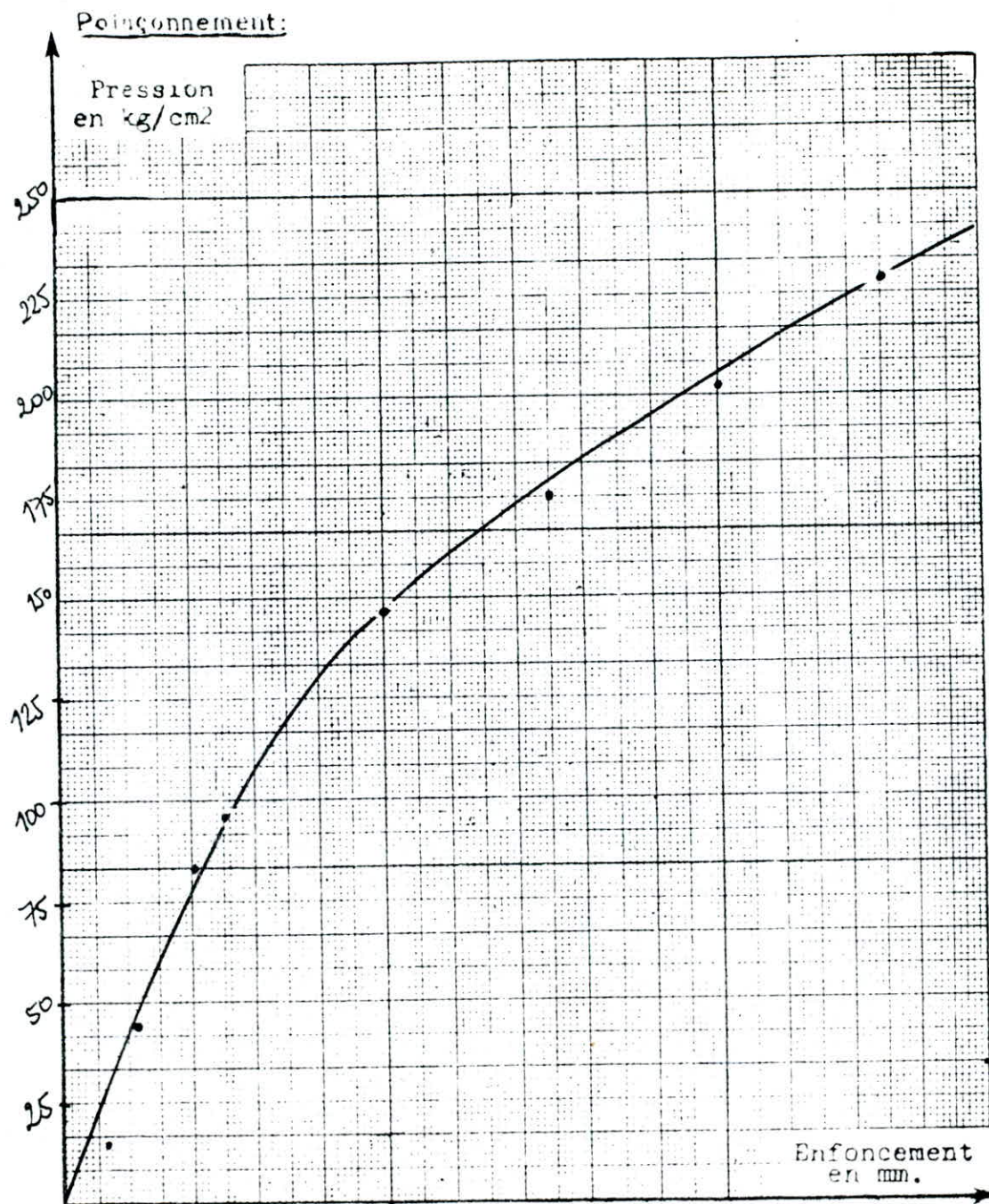
Echantillon : FAMILLE A

Date du poinçonnement : 21-04-91

Opérateur : FAKED - DJEBBARI

Lecture initiale du cadran de la presse : 0

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	3	300	15,54
1'	1,25	8,5	850	44,04
1'40"	2	16	1600	82,90
2' "	2,5	18	1800	93,26
4'	5	28	2800	145,08
6'	7,5	34	3400	176,16
8'	10	39	3900	202,07
10'	12,5	44	4400	227,98



-E6-

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 133,23$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 138,17$$

L. N. T. P.  
ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 10 %

Traitement : immédiat

Dossier QUARGLA

Echantillon Famille "B"

Indice portant 52.30

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : Sable gypseux

Opérateur : DJEBBARI / PAKED

Teneur en eau de compactage : 0% <u>7.95</u>		Densité sèche D <sub>s</sub> <u>1.54</u>	
Température de séchage		P. total humide ..... <u>12 520</u>	
N° de la tare .....		P. du moule .....	<u>9 080</u>
P. total humide .....	<u>1 241</u>	P. du sol humide .....	<u>3 440</u>
P. total sec .....	<u>1 185</u>	Teneur en eau 0% .....	<u>7.57</u>
P. de la tare .....	<u>445</u>	P. sec calculé .....	<u>3 198</u>
P. de l'eau .....	<u>56</u>	Volume du moule .....	<u>2 295</u>
P. du sol sec .....	<u>740</u>	Densité sèche D <sub>s</sub>	<u>1.39</u>
Teneur en eau 0%			
Moyenne	<u>7.57</u>		

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Surcharges annulaires :

Teneur en eau après immersion 0 (f)		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare .....		P. total humide après imbibition .....	
P. total humide .....		P. total avant imbibition .....	
P. total sec .....		P. de l'eau absorbée, .....	
P. de la tare .....		Différence de teneur en eau .....	
P. de l'eau .....		P. app. de sol imbibé, .....	
P. du sol sec .....		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm. :	
Teneur en eau 0(f)			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					

Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille "B"

Date du poinçonnement : 21/04/91

Opérateur : FAKED DJEBBARI

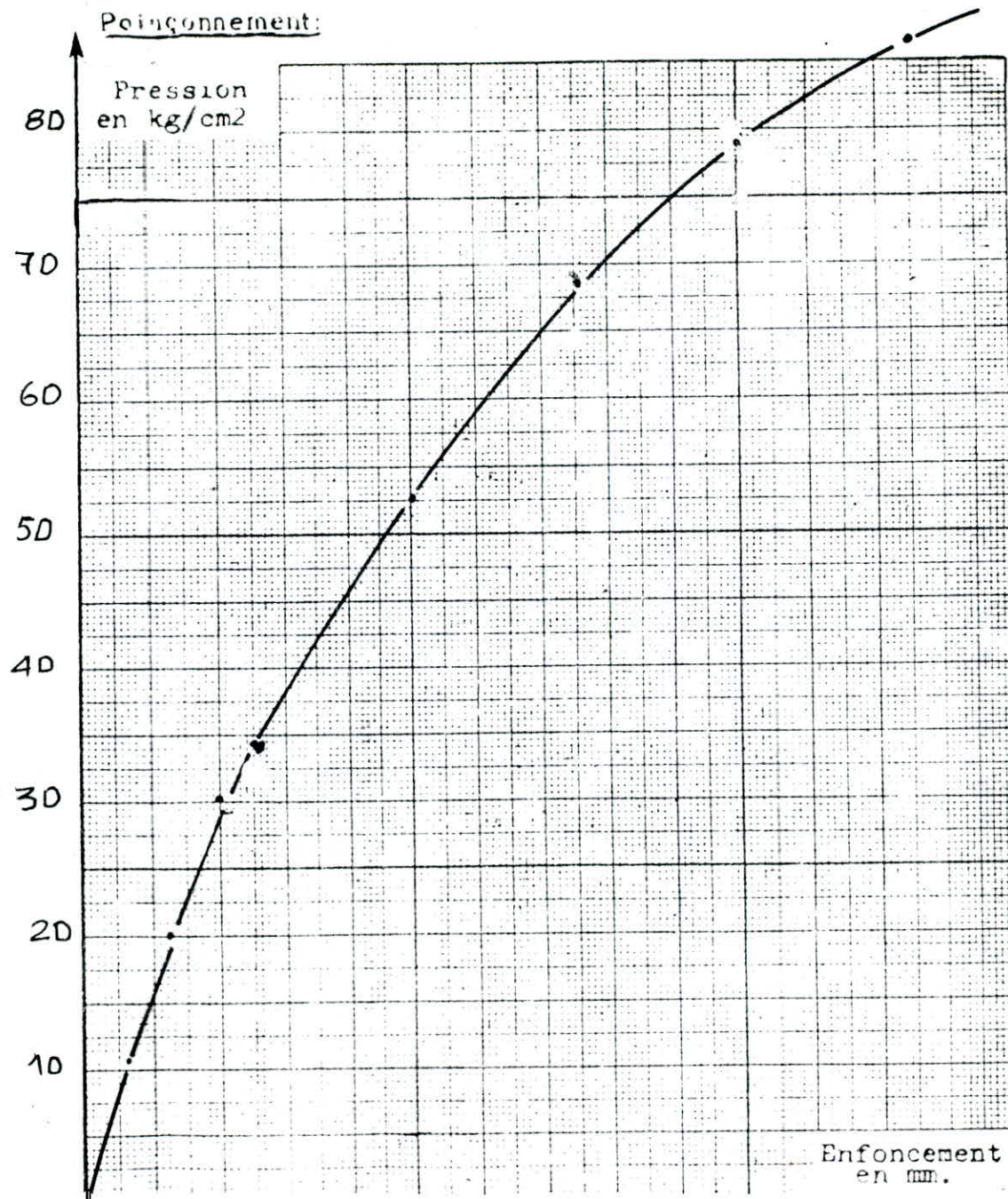
Lecture initiale du cadran de la presse : D.00

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	10	216	11.19
1'	1,25	19	386	20.00
1'40"	2	28	587	30.41
2' "	2,5	32	672	34.82
4'	5	51	1060	54.92
6'	7,5	65	1345	69.69
8'	10	74	1529	79.22
10'	12,5	83	1719	88.07

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 49,74$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 52,30$$



18

Intensité de compactage : 25 %

Traitement : immédiat

Dossier QUARGLA

chantillon Famille "B"

Indice portant 90.15

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : DJEBBARI / Zianne

Teneur en eau de compactage : 0,795		Densité sèche $D_s$	1.54
Température de séchage 55°		P. total humide	12 665
N° de la tare		P. du moule	9 055
P. total humide	1241	P. du sol humide	3 610
P. total sec	1185	Teneur en eau 0 <sub>o</sub>	7.57
P. de la tare	445	P. sec calculé	3 356
P. de l'eau	56	Volume du moule	2 295
P. du sol sec	740	Densité sèche $D_s$	1.46
Teneur en eau 0 <sub>o</sub>	7.57		
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Charges annulaires

Teneur en eau après immersion 0 <sub>f</sub>		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau 0 <sub>f</sub>			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					



Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille "B"

Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

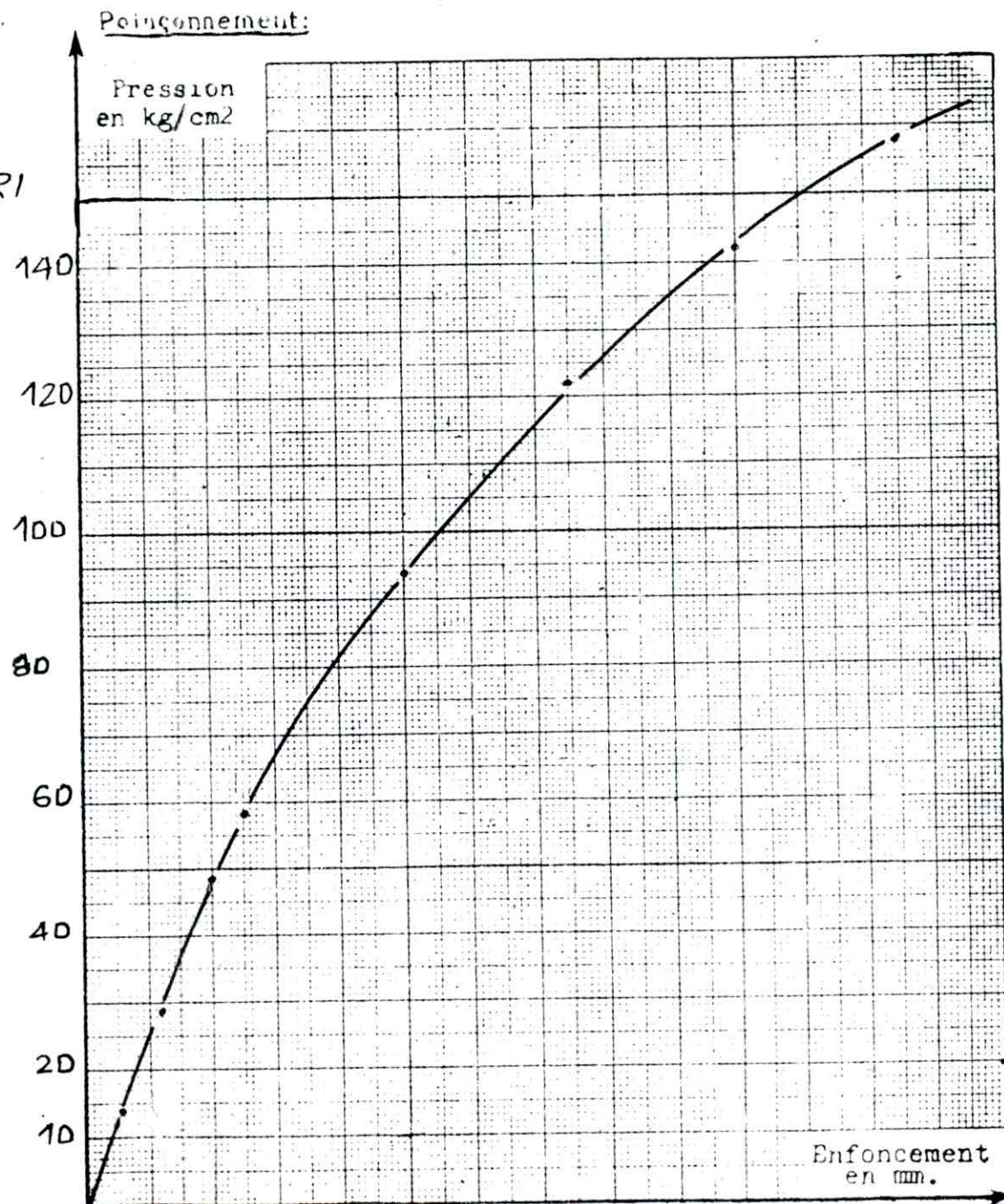
30 KN

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	13	264	13.68
1'	1,25	27	565	29.27
1'40"	2	45	938	48.60
2' "	2,5	55	1142	59.17
4'	5	88	1827	94.66
6'	7,5	114	2365	122.54
8'	10	133	2751	142.54
10'	12,5	148	3063	158.70

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 84.53$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 90.15$$



-E10-

L. N. T. P.

ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 55 coups/couche

Traitement : immédiat.

Dossier OUARGLA

Echantillon FAMILLE B

Indice portant 123,36

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau :

Opérateur : FAKED - DJEBBARI

Teneur en eau de compactage : 0% 7,95%		Densité sèche D <sub>s</sub> 1,54	
Température de séchage 55°			
N° de la tare		P. total humide	12600
P. total humide	1241	P. du moule	8810
P. total sec	1185	P. du sol humide	3790
P. de la tare	445	Teneur en eau O <sub>0</sub>	7,57
P. de l'eau	56	P. sec calculé	3523
P. du sol sec	740	Volume du moule	2295
Teneur en eau O <sub>0</sub>	7,57	Densité sèche D <sub>s</sub>	1,53
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Surcharges annulaires

Teneur en eau après immersion O <sub>f</sub>		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau O <sub>f</sub>			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					

Dossier : **OUARGLA**

Echantillon : **FAMILLE B**

Date du poinçonnement : **21-04-91**

Opérateur : **FAKED - DJEBBARI**

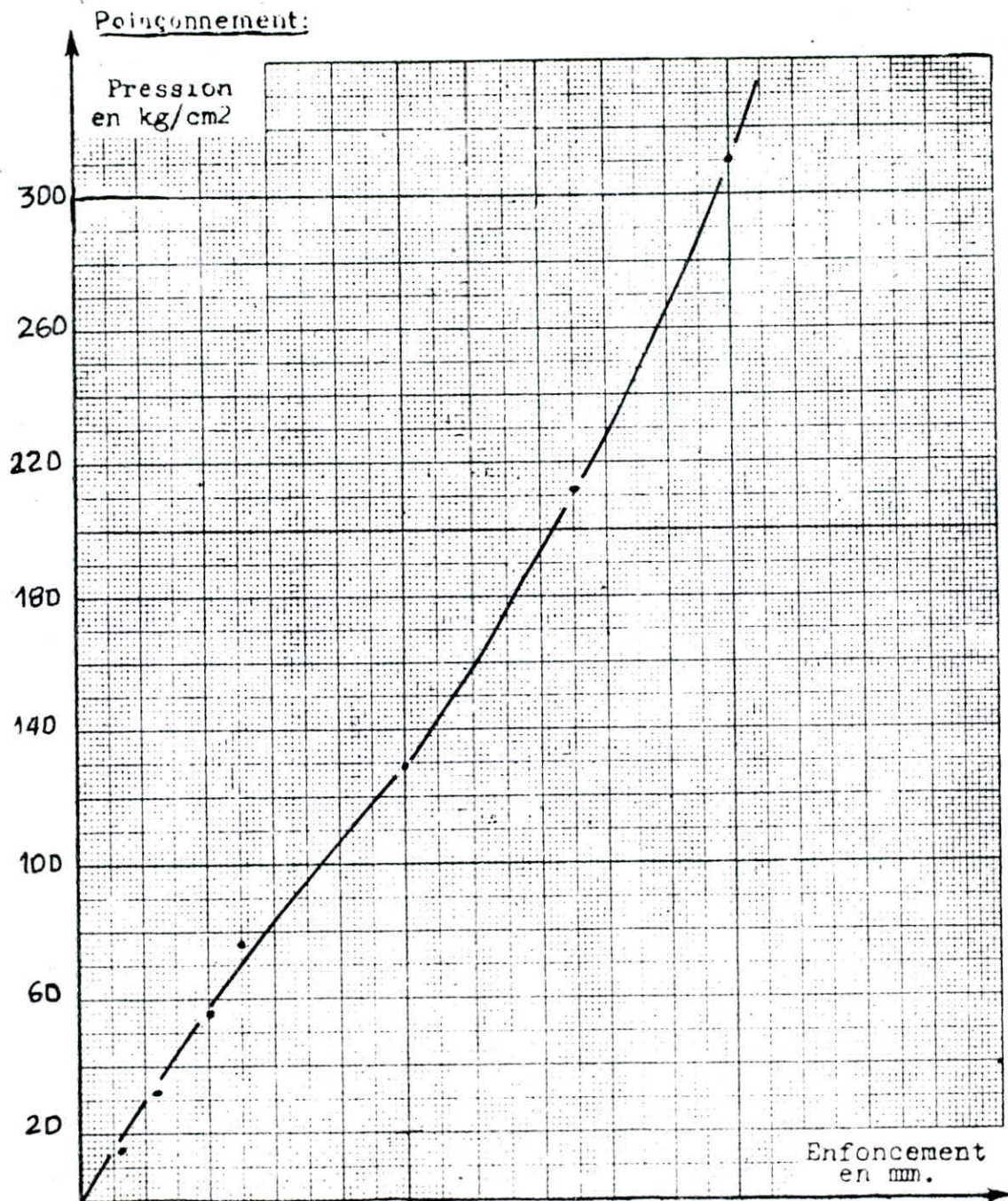
Lecture initiale du cadran de la presse : **0**

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	3	300	15,54
1'	1,25	6	600	31,09
1'40"	2	11	1100	56,99
2' "	2,5	15	1500	77,78
4'	5	25	2500	129,53
6'	7,5	41	4100	212,43
8'	10	60	6000	310,88
10'	12,5	/	/	/

**Calcul de l'indice portant**

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 101,42$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 123,36$$



L. N. T. P.

ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 10 %

Traitement : immédiat

Dossier OUARGLA

Echantillon Famille "C"

Indice portant 74.02

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : Sable Gypseux

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

Teneur en eau de compactage : 0% 8.15		Densité sèche D <sub>s</sub> 1.64	
Température de séchage 55 °C			
N° de la tare		P. total humide	12 570
P. total humide	12 47	P. du moule	9 020
P. total sec	1 185	P. du sol humide	3 350
P. de la tare	410	Teneur en eau 0%	8.00
P. de l'eau	62	P. sec calculé	3 287
P. du sol sec	775	Volume du moule	2 295
Teneur en eau 0%		Densité sèche D <sub>s</sub>	1.43
Moyenne	8.00		

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Surcharges annulaires

Teneur en eau après immersion 0 (f)		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau 0 (f)			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					

Dossier : OVAR GLA

Echantillon : Famille "C"

Date du poinçonnement : 21/04/91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

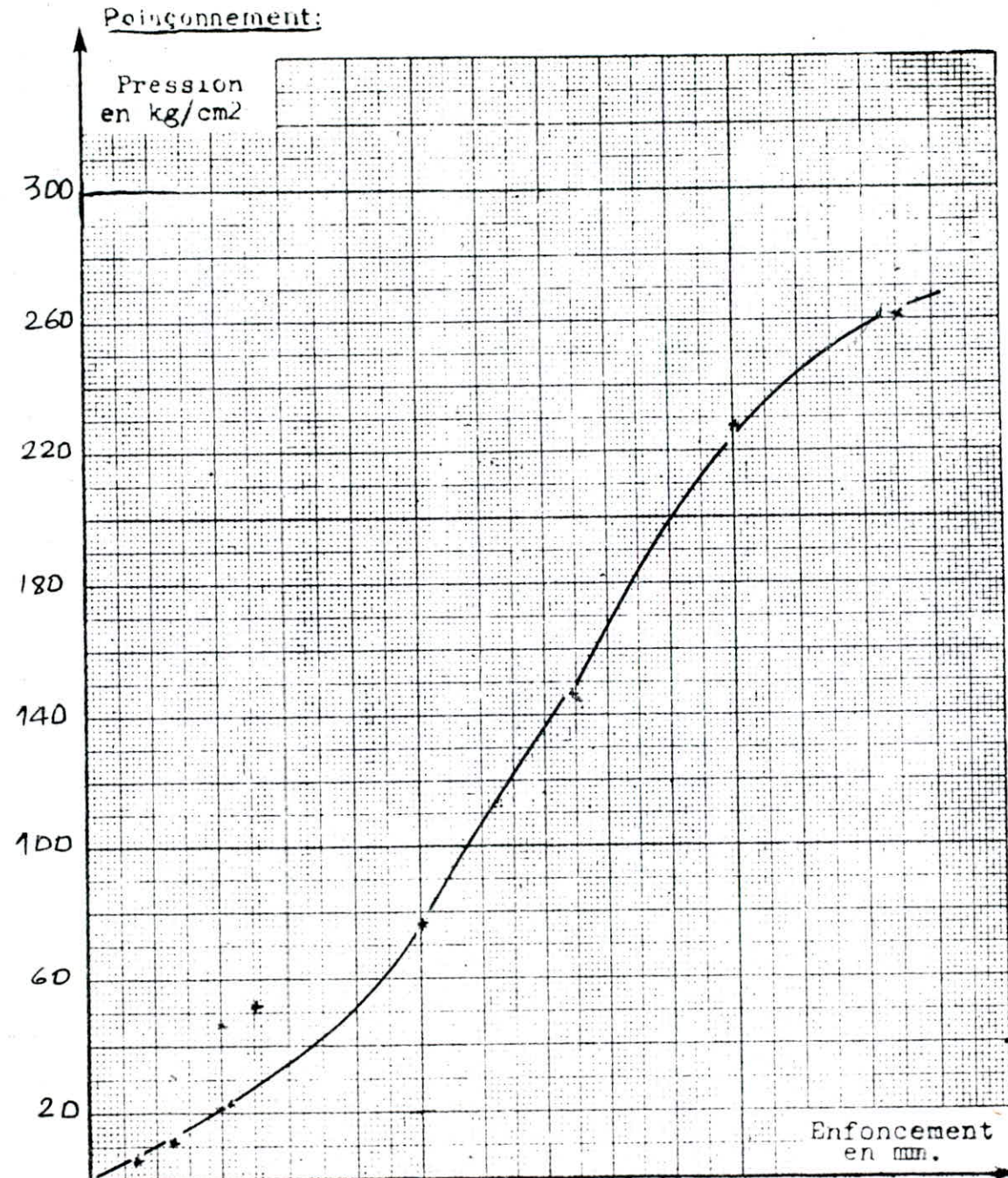
Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	1	100	5.18
1'	1,25	3	300	15.54
1'40"	2	4	400	20.72
2' "	2,5	10	1000	51.81
4'	5	15	1500	77.72
6'	7,5	28	2800	145.08
8'	10	44	4400	228.97
10'	12,5	48.5	4850	251.29

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 40.00$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 74.02$$



E14

L. N. T. P.  
ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 25 %

Traitement : Immédiat.

Dossier OUMARGLA

Echantillon Famille "C"

Indice portant 92,38

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : DJEBBARI / FAKED

Teneur en eau de compactage : 0% 8.15		Densité sèche D <sub>s</sub> 1.64	
Température de séchage 55 °C			
N° de la tare		P. total humide	12 785
P. total humide	1247	P. du moule	9 055
P. total sec	1 185	P. du sol humide	3 730
P. de la tare	410	Teneur en eau 0%	8.00
P. de l'eau	62	P. sec calculé	3 454
P. du sol sec	775	Volume du moule	2 295
Teneur en eau 0%	8.00	Densité sèche D <sub>s</sub>	1.50
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Surcharges annulaires

Teneur en eau après immersion 0 (f)		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau 0 (f)			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					

Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille "c"

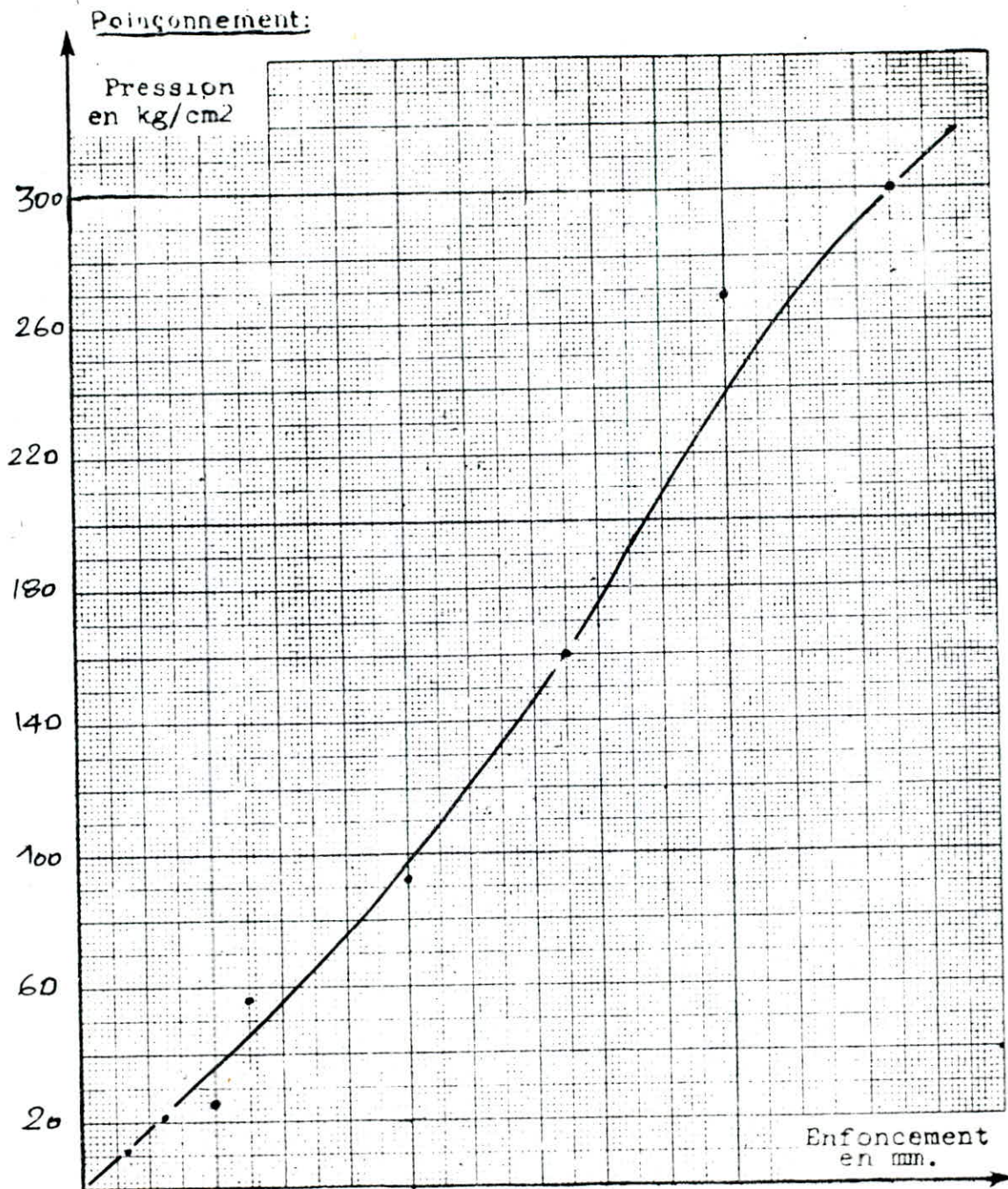
Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	2	200	10.36
1'	1,25	4	400	20.72
1'40"	2	5	500	25.91
2' "	2,5	11	1 100	56.99
4'	5	18	1 800	92.26
6'	7,5	31	3 100	160.62
8'	10	52	5 200	269.43
10'	12,5	58	5 800	300.52

Calcul de l'indice portant	
à 2,5 mm :	$\frac{P(2,5)}{0,70} = 65.71$
à 5 mm :	$\frac{P(5)}{1,05} = 92.38$



L. N. T. P.

ALGER

S. 16 - ESSAI C.B.R.

Intensité de compactage : 55 %

Traitement : immédiat.

Dossier QUARGLA

Echantillon Famille "C"

Indice portant 140.00

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : DJEBBARI / FAKED

Teneur en eau de compactage : 0% 8.15		Densité sèche Ds	1.64
Température de séchage _____		P. total humide .....	13 120
N° de la tare .....		P. du moule .....	9 080
P. total humide .....	1 247	P. du sol humide .....	4 040
P. total sec .....	1 185	Teneur en eau 0% .....	8.00
P. de la tare .....	410	P. sec calculé .....	3 741
P. de l'eau .....	62	Volume du moule .....	2 295
P. du sol sec .....	775	Densité sèche Ds	1.63
Teneur en eau 0%	8.00		
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion /

Durée de l'immersion /

Surcharges annulaires : /

Teneur en eau après immersion 0 (f)		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare .....		P. total humide après imbibition .....	/
P. total humide .....		P. total avant imbibition .....	/
P. total sec .....		P. de l'eau absorbée, ...	
P. de la tare .....		Différence de teneur en eau ..	/
P. de l'eau .....		P. app. de sol imbibé, ...	/
P. du sol sec .....		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm.:	
Teneur en eau 0(f)			
Moyenne			

Gonflement :	temps				
	Lecture du comparateur en 1/100 mm	/	/	/	/
	Valeur du gonflement	/	/	/	/



Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille "C"

Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

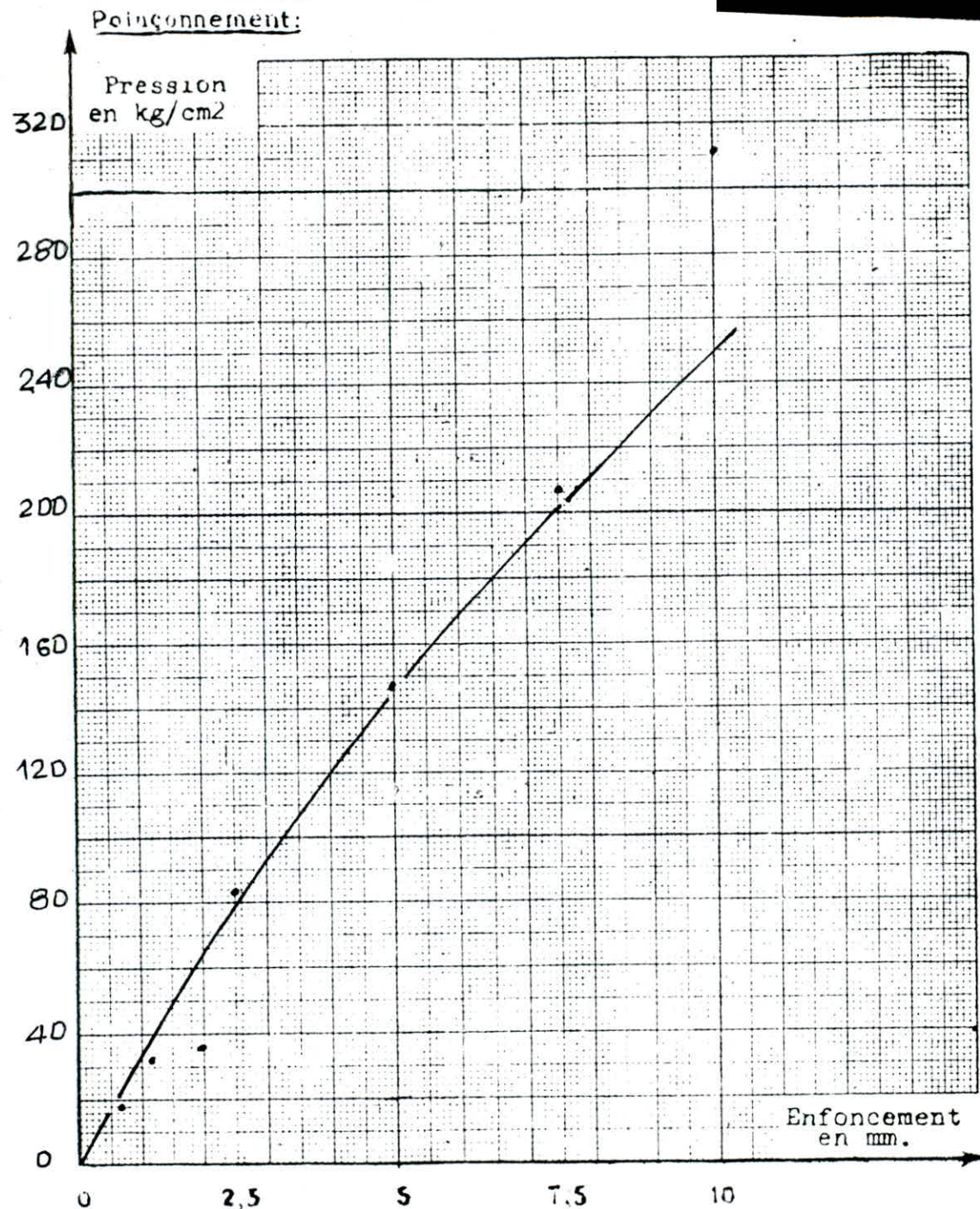
Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	3.5	350	10.13
1'	1,25	6.0	600	31.09
1'40"	2	7.0	700	35.27
2' "	2,5	16.0	1600	82.40
4'	5	24.0	2400	144.35
6'	7,5	40.0	4000	207.25
8'	10	60.0	6000	310.88
10'	12,5	/	/	/

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 111.42$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 140.00$$



L. N. T. P.  
ALGER

**S. 16 - ESSAI C.B.R.**

Intensité de compactage : 10 %

Traitement : immédiat

ossier QUARGLA

chantillon Famille D

Indice portant 44.41

**I - Etat initial de l'échantillon étudié**

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : FAKED DJEBBARI

Teneur en eau de compactage : 0% 7.90		Densité sèche D <sub>s</sub> 1.49 t/m <sup>3</sup>	
Température de séchage 55°C			
N° de la tare		P. total humide	12 480
P. total humide	1231	P. du moule	9 140
P. total sec	1190	P. du sol humide	3 340
P. de la tare	662	Teneur en eau 0%	7.76
P. de l'eau	41	P. sec calculé	3 099
P. du sol sec	528	Volume du moule	2 295
Teneur en eau 0%	7.76	Densité sèche D <sub>s</sub>	1.35
Moyenne			

**II - Etat final de l'échantillon après imbibition**

Date de mise en immersion /

Durée de l'immersion /

Surcharges annulaires : /

Teneur en eau après immersion 0%		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm	
Teneur en eau 0%			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm	/	/	/	/	/
	Valeur du gonflement	/	/	/	/	/

Dossier : OVARGLA

Echantillon : Famille D

Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED DJEBBARI

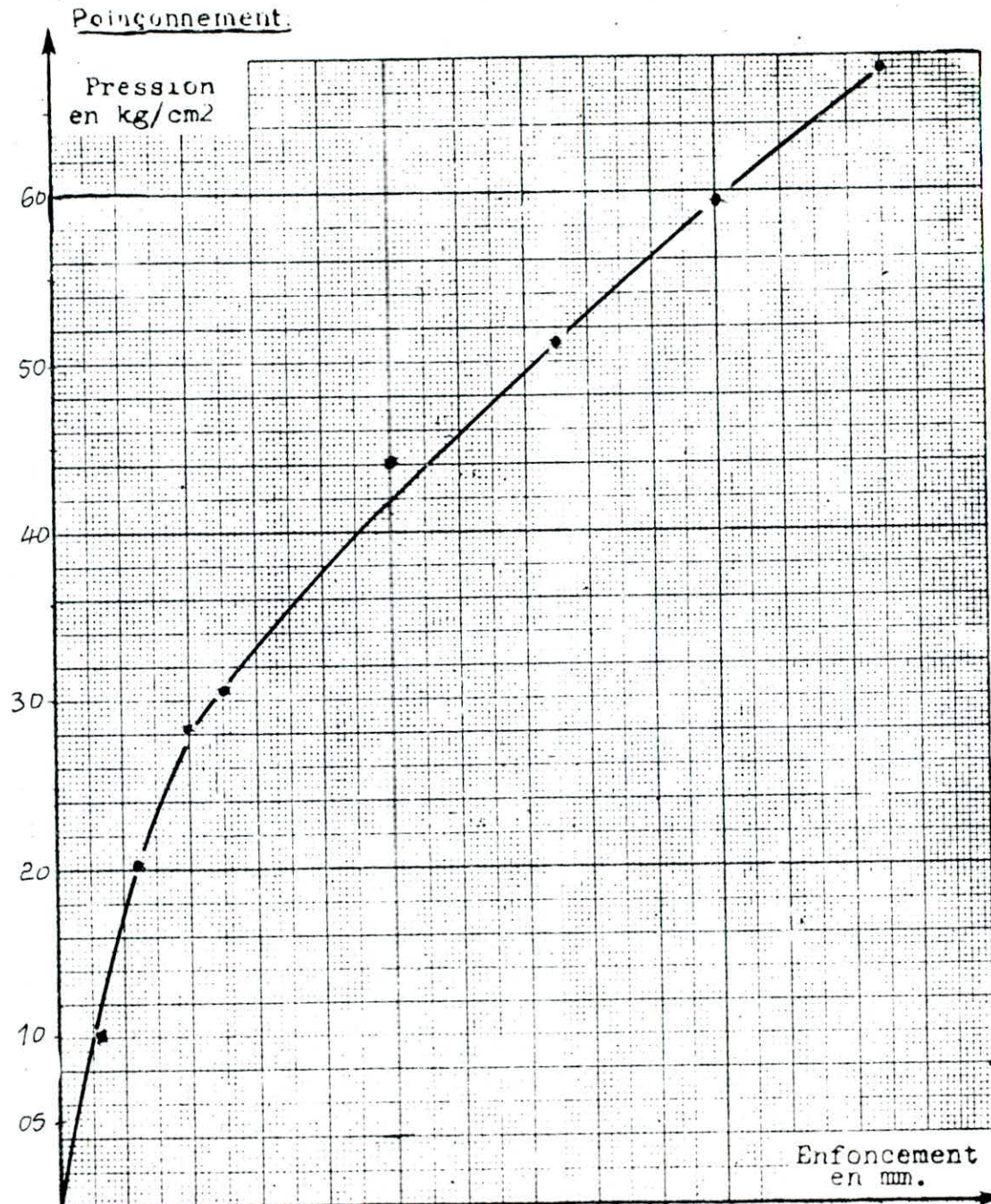
Lecture initiale du cadran de la presse : 00.0

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	2	200	10,36
1'	1,25	4	400	20,72
1'40"	2	5,5	550	28,50
2' "	2,5	6,0	600	31,09
4'	5	8,5	850	44,04
6'	7,5	10,5	1000	51,81
8'	10	11,5	1150	59,58
10'	12,5	13,0	1300	67,36

**Calcul de l'indice portant**

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 44,41$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 41,94$$



-E20-

Intensité de compactage : 25 %

Traitement : immédiat

Postier DUARGLA

Indice portant 57.81

chantillon Famille D

I - Etat initial de l'échantillon étudié

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : DJEBBARI / FAKED

Teneur en eau de compactage : 0% 7.90		Densité sèche D <sub>s</sub> 1.49	
Température de séchage 55°C			
N° de la tare		P. total humide	12 530
P. total humide	1 231	P. du moule	9 075
P. total sec	1 190	P. du sol humide	3 455
P. de la tare	662	Teneur en eau 0%	7.76
P. de l'eau	41	P. sec calculé	3 206
P. du sol sec	528	Volume du moule	2 295
Teneur en eau 0%	7.76	Densité sèche D <sub>s</sub>	1.39
Moyenne			

II - Etat final de l'échantillon après imbibition

Date de mise en immersion

Durée de l'immersion

Surcharges annulaires

Teneur en eau après immersion 0 (f)		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare		P. total humide après imbibition	
P. total humide		P. total avant imbibition	
P. total sec		P. de l'eau absorbée	
P. de la tare		Différence de teneur en eau	
P. de l'eau		P. app. de sol imbibé	
P. du sol sec		Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm.	
Teneur en eau 0 (f)			
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm					
	Valeur du gonflement					

Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille D

Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

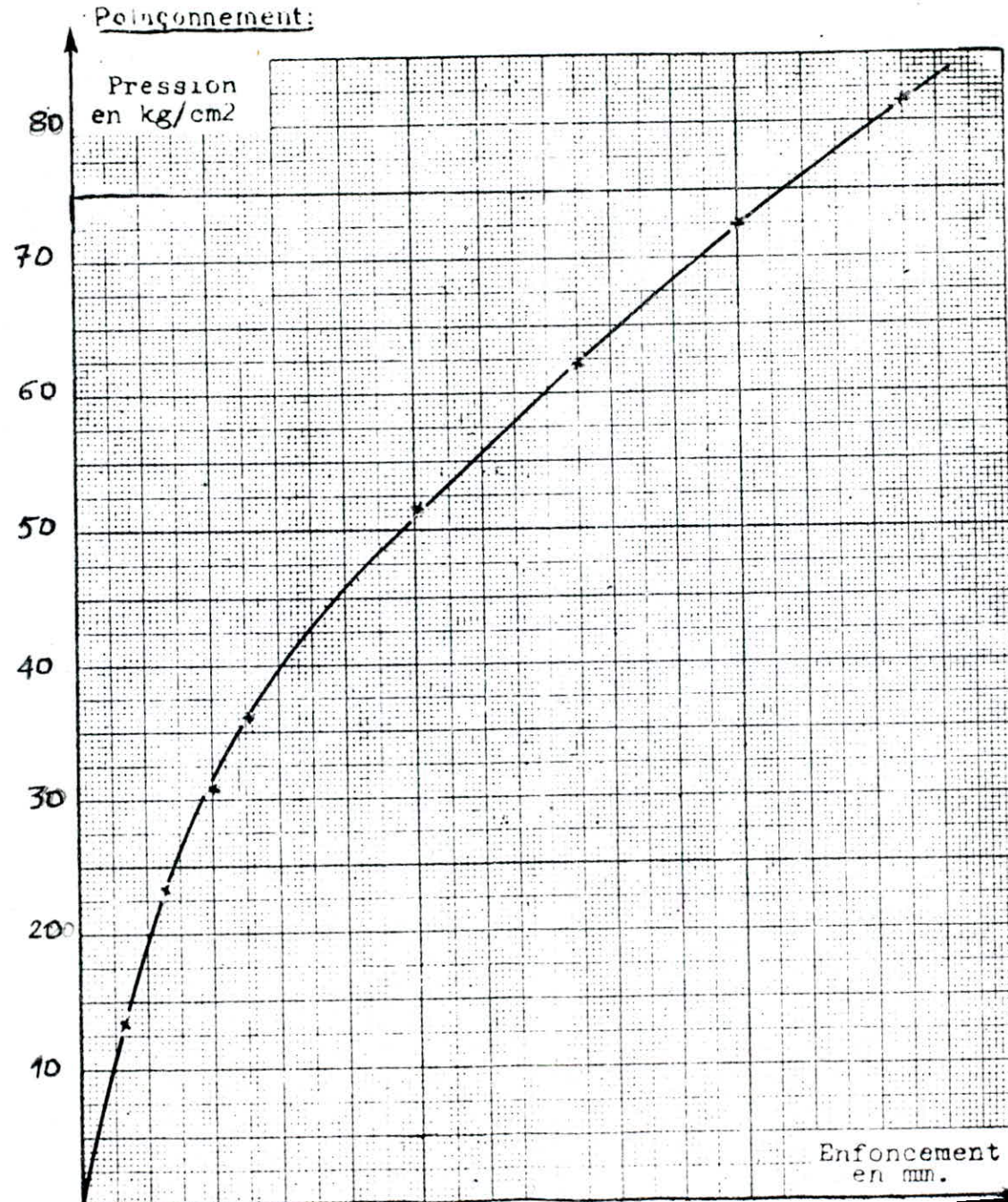
Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	2.5	250	12.95
1'	1,25	4.5	450	23.32
1'40"	2	6.0	600	31.09
2' "	2,5	7.0	700	36.27
4'	5	10.0	1000	51.81
6'	7,5	12.0	1200	62.18
8'	10	14.0	1400	72.54
10'	12,5	15.5	1550	80.30

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 51,81$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 49,34$$



L. N. T. P.  
ALGER

**S. 16 - ESSAI C.B.R.**

Intensité de compactage : 55 %

Traitement : immédiat

Cossier QUAR6LA

Indice portant 78.95

chantillon Famille D

**I - Etat initial de l'échantillon étudié**

Nature du matériau : SABLE GYPSEUX

Opérateur : DJEBBARI / FAKED

Teneur en eau de compactage : $O_c$ <u>7.90</u>		Densité sèche $D_s$ <u>1.49</u>	
Température de séchage <u>55 °C.</u>			
N° de la tare .....	<u>1 231</u>	P. total humide .....	<u>12 775</u>
P. total humide .....	<u>1 231</u>	P. du moule .....	<u>9 120</u>
P. total sec .....	<u>1 190</u>	P. du sol humide .....	<u>3 655</u>
P. de la tare .....	<u>662</u>	Teneur en eau $O_c$ .....	<u>7.76</u>
P. de l'eau .....	<u>41</u>	P. sec calculé .....	<u>3 396</u>
P. du sol sec .....	<u>328</u>	Volume du moule .....	<u>2 295</u>
Teneur en eau $O_c$	<u>7.76</u>	Densité sèche $D_s$	<u>1.48</u>
Moyenne			

**II - Etat final de l'échantillon après imbibition**

Date de mise en immersion / /

Durée de l'immersion /

Surcharges annulaires : /

Teneur en eau après immersion $O_f$		Poids approximatif du sol imbibé :	
N° de la tare .....	<u>/</u>	P. total humide après imbibition .....	<u>/</u>
P. total humide .....	<u>/</u>	P. total avant imbibition .....	<u>/</u>
P. total sec .....	<u>/</u>	P. de l'eau absorbée .....	<u>/</u>
P. de la tare .....	<u>/</u>	Différence de teneur en eau .....	<u>/</u>
P. de l'eau .....	<u>/</u>	P. app. de sol imbibé .....	<u>/</u>
P. du sol sec .....	<u>/</u>	Profondeur conventionnelle d'imbibition en mm .....	<u>/</u>
Teneur en eau $O_f$	<u>/</u>		
Moyenne			

Gonflement :	temps					
	Lecture du comparateur en 1/100 mm	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>
	Valeur du gonflement	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>/</u>

Dossier : DUARGLA

Echantillon : Famille D

Date du poinçonnement : 21.04.91

Opérateur : FAKED / DJEBBARI

Lecture initiale du cadran de la presse : 0.00

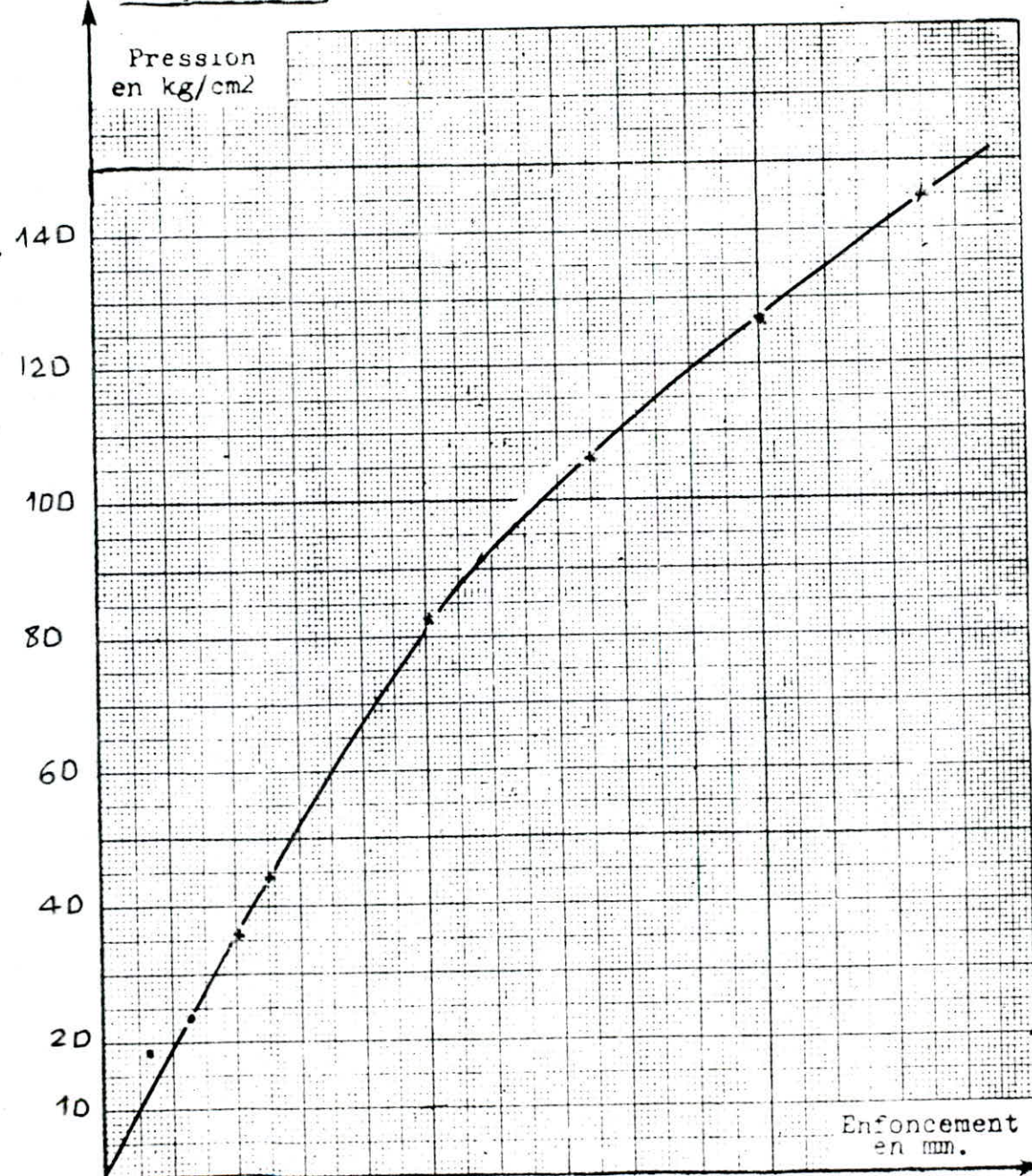
Temps	Enfoncement en mm	Force Totale		Pression en Kg/cm <sup>2</sup>
		Lecture	Valeur	
30"	0,625	3.5	350	18.13
1'	1,25	4.5	450	23.32
1'40"	2	7.0	700	36.27
2' "	2,5	8.5	850	44.04
4'	5	16.0	1 600	82.90
6'	7,5	20.5	2 050	106.22
8'	10	24.5	2 450	126.94
10'	12,5	28.0	2 800	145.08

Calcul de l'indice portant

$$\text{à } 2,5 \text{ mm : } \frac{P(2,5)}{0,70} = 62.91$$

$$\text{à } 5 \text{ mm : } \frac{P(5)}{1,05} = 078.95$$

Poinçonnement:



- E24 -

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE A

DATE: 05/05/91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE: 12063

FORCE: 1000Kg

COEFF: 0,644

H = 98,14 mm.

 $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	23	19	21	135,24	0,07
0,20	69	67	68	437,92	0,223
0,30	156	152	154	991,76	0,505
0,40	191	190	191	1230,04	0,626
0,50	566	565	566	3645,04	1,856
0,60	891	885	888	5718,72	2,91
0,70	1105	1105	1105	7116,2	3,624
0,80	1321	1320	1320	8500,8	4,33
0,90	1462	1438	1450	9338	4,75
1,00	-	1461	1461	9408,84	4,79
1,10	-	1463	1463	9421,72	4,80
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					



DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE A

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 98,49 \text{ mm}$  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	21	20	20,5	128,80	0,065
0,20	39	38	38,5	244,72	0,1246
0,30	61	61	61	392,84	0,200
0,40	89	91	90	579,60	0,295
0,50	127	121	124	798,56	0,406
0,60	166	164	165	1062,60	0,54
0,70	219	215	217	1397,48	0,711
0,80	281	280	280	1803,20	0,920
0,90	346	346	346	2228,24	1,135
1,00	407	408	408	2627,52	1,340
1,10	475	475	475	3059,00	1,550
1,20	543	542	542	3490,5	1,777
1,30	604	606	606	3902,64	1,987
1,40	651	650	650	4186,00	2,132
1,50	—	679	679	4372,76	2,227
1,60					
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE A

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

H = 93 mm.

 $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	16	12	14	90,16	0,046
0,20	30	30	30	193,2	0,098
0,30	48	50	49	315,56	0,16
0,40	77	77	77	495,88	0,252
0,50	109	109	109	701,96	0,357
0,60	151	146	148	953,12	0,485
0,70	197	189	193	1242,92	0,633
0,80	242	244	243	1564,92	0,797
0,90	309	291	300	1932	0,984
1,00	359	351	355	2286,2	1,164
1,10	418	392	410	2640,4	1,3447
1,20	467	461	464	2988,16	1,522
1,30	512	504	508	3271,52	1,666
1,40	568	566	567	3651,48	1,860
1,50	609	607	608	3915,52	1,994
1,60	608	612	610	3928,4	2,00
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE B

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000Kg

COEFF : 0,644

 $H = 99,85 \text{ mm.}$  $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	42	34	38	244,72	0,1246
0,20	94	82	88	566,72	0,29
0,30	123	117	120	772,8	0,393
0,40	162	160	161	1036,84	0,528
0,50	213	207	210	1352,4	0,688
0,60	275	265	270	1738,8	0,885
0,70	346	338	342	2202,48	1,1217
0,80	426	420	423	2724,12	1,387
0,90	502	500	501	3226,44	1,643
1,00	585	575	580	3735,20	1,900
1,10	642	640	641	4128,04	2,100
1,20	704	700	702	4520,88	2,302
1,30	739	737	738	4752,72	2,420
1,40	785	773	779	5016,76	2,555
1,50	813	811	812	5229,28	2,663
1,60	840	840	840	5409,60	2,755
1,70	845	861	853	5493,32	2,800
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE B

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 98,65 \text{ mm}$  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	29	13	21	135,24	0,070
0,20	65	59	62	399,28	0,203
0,30	92	90	91	586,04	0,298
0,40	145	135	140	901,60	0,460
0,50	175	163	169	1088,36	0,554
0,60	217	207	212	1365,28	0,695
0,70	257	267	262	1687,28	0,860
0,80	313	323	318	2047,92	1,043
0,90	361	365	363	2337,72	1,200
1,00	414	418	416	2679,04	1,360
1,10	459	469	464	2988,16	1,522
1,20	493	491	492	3168,50	1,613
1,30	522	522	522	3361,68	1,712
1,40	522	524	523	3368,12	1,715
1,50	-	526	526	3387,44	1,725
1,60	-	531	531	3419,64	1,741
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE B

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 99,5 \text{ mm}$  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	13	13	13	83,72	0,042
0,20	33	25	29	186,76	0,095
0,30	57	45	51	328,44	0,167
0,40	86	70	78	502,32	0,256
0,50	117	103	110	508,40	0,360
0,60	156	142	149	959,56	0,490
0,70	187	175	181	1165,64	0,593
0,80	212	190	201	1294,44	0,660
0,90	220	198	209	1345,96	0,685
1,00	224	-	224	1442,56	0,734
1,10					
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE C

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 104,15 \text{ mm}$  $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	42	38	40	257,6	0,131
0,20	96	92	94	605,36	0,310
0,30	160	161	160	1030,4	0,525
0,40	240	238	238	1532,72	0,780
0,50	328	329	328	2112,32	1,075
0,60	407	405	406	2614,64	1,330
0,70	509	508	508	3271,52	1,666
0,80	610	610	610	3928,4	2,000
0,90	718	717	717	4617,48	2,350
1,00	829	823	825	5313	2,700
1,10	936	937	936	6027,84	3,070
1,20	1050	1051	1050	6762	3,440
1,30	1154	1153	1154	7431,76	3,785
1,40	1245	1245	1245	8017,8	4,080
1,50	1336	1330	1333	8584,52	4,370
1,60	1413	1420	1416	9119,04	4,640
1,70	1472	1468	1470	9466,8	4,820
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE C

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

H = 100 mm

 $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	20	22	21	135,24	0,07
0,20	48	52	50	322,00	0,16
0,30	91	101	96	618,24	0,31
0,40	150	151	151	972,44	0,495
0,50	206	205	205	1320,20	0,672
0,60	—	212	212	1365,28	0,695
0,70	228	226	227	1461,88	0,74
0,80	280	281	280	1803,20	0,918
0,90	330	336	333	2144,52	1,090
1,00	408	409	408	2627,52	1,340
1,10	500	505	503	3239,32	1,649
1,20	604	604	604	3889,76	1,980
1,30	690	690	690	4443,6	2,263
1,40	785	783	784	5048,96	2,570
1,50	870	—	870	5602,80	2,850
1,60	910	—	910	5860,40	2,980
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE C

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 99,15 \text{ mm}$  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	12	10	11	70,84	0,036
0,20	30	26	28	180,32	0,092
0,30	66	62	64	412,16	0,21
0,40	132	130	131	843,64	0,43
0,50	232	230	231	1487,64	0,757
0,60	332	314	328	2112,32	1,075
0,70	431	433	432	2782,08	1,417
0,80	543	547	545	3509,80	1,787
0,90	659	656	658	4237,52	2,158
1,00	771	764	768	4945,92	2,52
1,10	-	859	859	5531,96	2,82
1,20	-	864	864	5564,16	2,83
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					



DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE D

DATE: 05/05/91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE: 12063

FORCE: 1000 Kg

COEFF: 0,644

 $H = 100,75 \text{ mm.}$  $\gamma_d = 100\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	21	25	23	148,12	0,075
0,20	43	48	45,5	293,02	0,15
0,30	70	77	73,5	473,34	0,241
0,40	104	112	108	695,52	0,354
0,50	140	150	145	933,80	0,475
0,60	183	190	186,5	1201,06	0,61
0,70	218	224	221	1423,24	0,725
0,80	250	254	252	1622,88	0,826
0,90	257	-	257	1655,08	0,843
1,00					
1,10					
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON: FAMILLE D

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000 Kg

COEFF : 0,644

 $H = 97,65 \text{ mm}$  $\gamma_d = 97,5\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	14	21	17,5	112,7	0,057
0,20	30	40	35	225,4	0,114
0,30	50	63	56,5	363,86	0,185
0,40	74	90	82	528,08	0,268
0,50	105	118	111,5	718,06	0,366
0,60	138	147	142,5	917,70	0,467
0,70	176	178	177	1139,88	0,580
0,80	224	208	216	1391,04	0,708
0,90	268	227	247,5	1593,9	0,811
1,00	320	240	280	1803,2	0,918
1,10	-	308	308	1983,52	1,010
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					

DOSSIER : OUARGLA

ECHANTILLON : FAMILLE D

DATE : 05 / 05 / 91

ANNEAU DYNAMOMETRIQUE : 12063

FORCE : 1000Kg

COEFF : 0,644

 $H = 100,3 \text{ mm.}$  $\gamma_d = 95\% \gamma_{dopt}$ 

DEPL. LONGIT.	Essai I	Essai II	Moyenne	Force (N)	Contraintes $\sigma$ (MPa).
0,10	24	22	23	141,68	0,072
0,20	42	57	49,5	318,78	0,162
0,30	60	78	69	444,36	0,226
0,40	83	94	88,5	569,94	0,29
0,50	104	107	105,5	679,42	0,346
0,60	127	115	121	779,24	0,397
0,70	145	146	145	933,8	0,475
0,80	-	151	151	972,44	0,50
0,90					
1,00					
1,10					
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					

