

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC. 0221

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE : Etude de la corrélation entre le module
d'élasticité et l'indice de portance CBR
dans le dimensionnement des superstructures
routières

DATE : JUIN 1990

AUTEUR : Ibrahima SALL
DIRECTEUR : Massamba DIENE
Dominique NDONG

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ici tous ceux qui nous ont aidé moralement et matériellement dans la préparation de cette étude. Nos remerciements s'adressent particulièrement :

- à Mr Massamba DIENE, Professeur à l'E.P.T.
- à Mr Dominique NDONG, Ingénieur au CEREEQ
- à Mr Gabriel SAMBOU, Ingénieur aux Travaux Publics de Thiès pour son apport en logistique (transport).

Nos remerciements s'adressent aussi à Mr Cheikh MBOUP, Technicien à l'E.P.T. pour son assistance au laboratoire de sol et à Mr DIAGNE, Technicien à l'E.P.T. pour la réalisation de quelques pièces.

SOMMAIRE

Le sujet de ce projet nous a été proposée par le CEREEQ (Centre Expérimental de Recherche et d'Etude pour l'Equipement). Etant le seul organe étatique du Sénégal de contrôle en matière de route, elle a voulu améliorer ses moyens de contrôle. En effet avec la nouvelle approche de dimensionnement basée sur le module d'élasticité, il fallait dès lors trouver une corrélation entre le module d'élasticité et l'indice de portance de CBR.

Cette étude est divisée en deux grandes parties :

- Etude bibliographique : nature, identification géotechnique.
- Etude expérimentale.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS..... i
SOMMAIRE ii

INTRODUCTION

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- 1.1 Définitions et identification géotechnique
 - 1.1.1 Définition de la latérite
 - 1.1.2 Processus de latérisation
 - 1.1.3 Caractéristiques géotechniques
 - 1.1.4 Latérite en construction routière.
- 1.2 Etude théorique des lois contraintes-déformations dans le corps de chaussée
- 1.3 Résumé des corrélations avancées dans la littérature
- 1.4 Etude des différents approches de calcul de dimensionnement utilisées dans les pays tropicaux

CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE

- 2.1 Description des essais effectués
- 2.2 Identification géotechnique des graveleux latéritiques étudiés
- 2.3 Caractéristiques de comportement mécanique

CHAPITRE III : ANALYSE DES RESULTATS DE LABORATOIRE

- 1 Interprétation des résultats
 - 3.2 Détermination de la corrélation

CHAPITRE IV : CONCLUSION

A N N E X E S

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Aujourd'hui, dans les pays africains l'entretien et le développement des infrastructures routières sont devenus une préoccupation majeure dans la politique des différents gouvernements. En effet, dans l'optique de l'évolution vers le développement économique de nos nations, la route apparaît de façon plus ou moins directe dans toutes les facettes de l'évolution économique.

Cependant, on constate, malgré les énormes investissements routiers consentis par nos dirigeants, une dégradation rapide des infrastructures routières à peine achevées - Afin de mettre fin à ce gaspillage de ressources, les laboratoires des Travaux Publics se sont fixés comme objectif d'utiliser dans les meilleures conditions des matériaux locaux pour minimiser le coût de construction des chaussées tout en restant dans les limites de fiabilité de sécurité acceptables.

Dans certains pays africains tels que la Côte d'Ivoire et le Cameroun, certains travaux sur l'utilisation de la latérite comme matériau de construction routière ont été réalisés.

Au Sénégal, c'est le Centre d'Etude de Recherche Expérimentale pour l'Equipement (CEREEQ) qui est l'organe étatique de contrôle de la réalisation de superstructures routières. Dans le même souci d'utilisation de matériaux locaux dans la construction routière, plusieurs axes de recherche ont été définis au CEREEQ.

C'est ainsi que, pour disposer de moyens de vérifications des superstructures routières basé sur le module d'élasticité qui est une nouvelle approche par rapport à la méthode de dimensionnement à partir du Californian Bearing Ratio (CBR), le CEREEQ nous propose d'étudier la corrélation entre le module d'élasticité et l'indice de portance CBR.

Notre étude se basera essentiellement sur les sols latéritiques rencontrés dans la région de Thiès. Ainsi à partir de plusieurs essais de laboratoire effectués au CEREEQ et à l'EPT nous allons établir les lois empiriques qui en résulte. Le sol en général étant un matériau hétérogène, ne nous permet pas d'établir à priori des lois scientifiques théoriques. Donc la démarche envisagée pour l'établissement de corrélation est expérimentale.

La présente étude contribue à une meilleure connaissance du comportement mécanique des graveleux latéritiques. Elle établit des relations simples qui peuvent, à partir de la connaissance du module d'élasticité, permettre d'estimer les paramètres de dimensionnement avec les données connues de la méthode dite CBR.

Cette première recherche de corrélation se basera essentiellement sur les matériaux latéritiques provenant des carrières de la région de Thiès. La latérite étant un matériau de caractère si variable en fonction du lieu de provenance, il faudra compléter l'étude avec les autres carrières du Sénégal.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Au Sénégal, on rencontre la latérite sous les peuplements de quinquélibas et d'arbre à épineux plus abondants dans la région de Thiès.

Les matériaux latéritiques sont pratiquement présents sur toute l'étendue du territoire sénégalais et ceci peut se justifier déjà par le climat tropical à deux saisons humide et sèche.

1.1 - DEFINITION ET IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE

La complexité de définir le matériau dit latérite, réside dans le fait qu'il se présente sous diverses formes, couleurs, caractéristiques en général. Comme la géotechnique ne définit pas la nature des sols, il nous importe de cerner ce que nous appelons "latérites" afin de pouvoir exploiter les acquis biblio-graphiques et rendre nos résultats opérationnels.

1.1.1 - DEFINITION DE LA LATERITE

Ethymologiquement le terme latérite vient du mot latin **later** qui signifie brique. Il vient du géologue Buchanan qui en 1807 désigna ainsi un matériau ferrugineux rempli de cavités et pores de coloration rouge-jaune, tendre à l'intérieur et qui durcit

avec l'air.

Dans le cadre de notre étude, nous retiendrons la définition qui intéresse l'ingénieur civil. Pour ce dernier, la latérite regroupe tous les sols résiduels rougeâtres et tous les sols non résiduels ayant subi les processus d'altération tropicale. Ces sols se situent dans une chaîne de matériaux allant de la roche décomposée aux argiles et aux cuirasses (croûtes indurées) riches en sesquioxydes.

1.1.2 - PROCESSUS DE LATÉRISEMENT

Le phénomène de latérisation est un processus spécifique aux régions tropicales chaudes et humides. Les principaux agents qui interviennent sont :

- le climat (pluviométrie, température, bilan hydrique)
- la topographie (érosion et drainage)
- la végétation (matières organiques, bactéries, acides)
- la roche-mère
- le temps.

Le processus de latérisation consiste en une altération de la roche-mère dont la caractéristique essentielle réside dans une mise en solution puis un départ de la silice, phénomène de lessivage, accompagnés d'un enrichissement en fer et en alumine sous forme de sesquioxydes Fe_2O_3 et Al_2O_3 . On voit donc que la transformation des minéraux originels de la roche mère en consti-

tuants latéritiques se fait en trois étapes principales :

- la décomposition caractérisée par le démantèlement de minéraux primaire et la libération de constituants (silice, oxydes de fer et d'alumine, oxydes de calcium, de magnésium, etc., sous forme ionique simple)
- le lessivage sous des conditions appropriées de la silice base
- la dessiccation qui mène à une déshydratation des matériaux riches en sesquioxydes et des et des minéraux secondaires.

Illustrons ce phénomène de latérisation par la coupe géologique suivante :

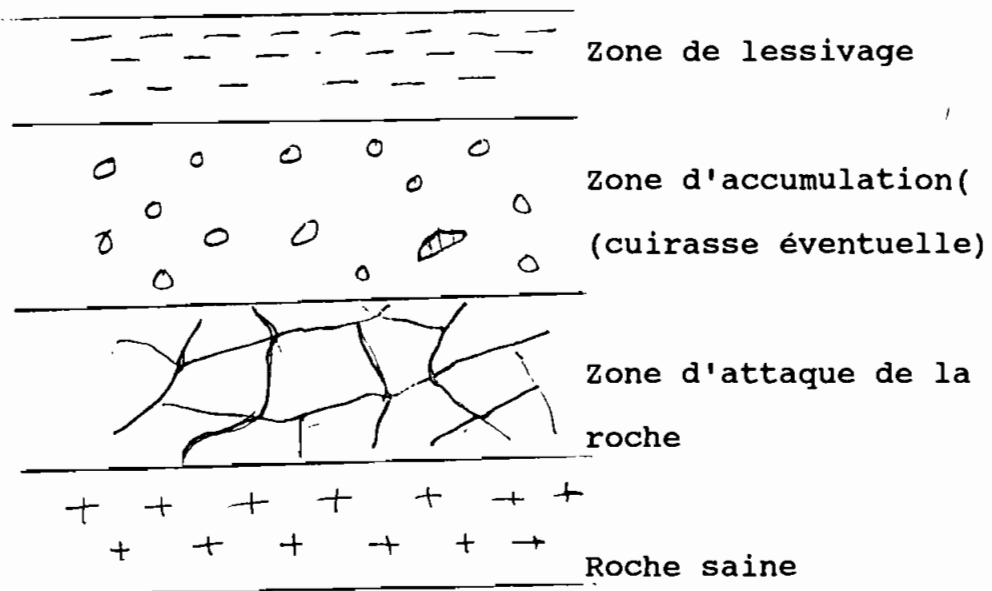


figure 1 : processus de latérisation (formation ferrugineuse)

Notons qu'en zone tropicale sèche, il y a d'abord, en saison des pluies, dissociation des silicates ferreux avec libération d'oxydes ferriques, formation de complexe ferrosiliciques et élimination de la silice et des bases solubles. En même temps une partie de la roche mère est transformée en kaolinite. En saison sèche avec l'évaporation et les remontées capillaires, il y a une migration des complexes ferrosiliciques.

L'intensité du processus de latérisation est mesuré en tenant compte du rapport de SiO_2 qu'il y a dans le sol résiduel et les sesquioxydes accumulés (Fe_2O_3 et Al_2O_3). Ce rapport R s'exprime comme suit :

$$R = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

On admet que :

- si $R > 2$ on a un sol non latéritique
- si $1,33 < R < 2$ on a un sol latéritique
- si $R < 1,33$ on a une vraie latérite.

1.1.3 - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Les caractéristiques géotechniques aident à prévoir le comportement des sols ou à les regrouper dans des classes. Ils permettent de comparer les sols entre eux et d'établir une échelle de préférence.

Les critères d'identification géotechnique les plus

employés sont la granulométrie et la plasticité.

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP propose un certain nombre de recommandation de référence :

- les matériaux pour couche de fondation doivent avoir un CBR au moins égal à 30 obtenu pour une densité sèche correspondant à 95 % de l'OPM
- la dimension maximale des éléments n'exèdera pas 60 mm. Il est recommandé d'utiliser des matériaux de moindre granulométrie maximale pour éviter la ségrégation.
- les tolérances de pourcentage de fines et d'indice de plasticité varient selon l'importance du trafic : le maximum varie entre 30 et 35 % ; l'indice de plasticité maximal est de 30
- la densité sèche minimale requise sera 1,8 à 2 tonnes/m³ selon l'importance du trafic.

Pour les matériaux utilisés en couche de base, le pourcentage des fines restera inférieur à 20 % et l'indice de plasticité inférieure à 15.

Le fuseau granulométrique, à l'intérieur duquel devra s'inscrire la courbe est le suivant (voir page suivante).

L'indice portant CBR sera au moins égal à 80 pour une densité sèche correspondant à 95 % de l'OPM.

Tableau 1 : Fuseau granulométrique du graveleux

latéritique naturel en couche de base exigences
LCPC (Laboratoires Centrales des Ponts et
Chaussées)

Granulométrie (mm)	Fuseau proposé % passant
50	100
40	95 - 100
31,5	86 - 100
20	60 - 100
10	35 - 90
5	20 - 75
2	12 - 50
1	10 - 40
0,5	7 - 35
80	4 - 20

1.1.4 - UTILISATION DU GRAVELEUX LATÉRIQUE EN CONSTRUCTION

ROUTIERE

Nous distinguons généralement 3 types de matériaux latéritiques qui sont :

- les sols fins latéritiques
- les graves et brèches latéritiques

- les blocs et débris de carapaces.

Les sols fins latéritiques sont généralement soit utilisés pour les terrassement, soit mis à la décharge selon des règles tout à fait identiques à celles utilisées pour les travaux de terrassement.

Les blocs et débris de carapace sont rarement utilisés en couche de chaussée soit parce que cela nécessite une mise en oeuvre manuelle et donne des résultats médiocres, soit parce que cela nécessite un broyage mécanique coûteux et peu satisfaisant. Cependant on l'utilise comme moellons pour pierres ou éléments de maçonnerie. Ainsi considérer le granulat latéritique pour béton de moyenne performance.

Le matériau le plus utilisé est de loin celui de la seconde catégorie, graveleux et brèche latéritique dont l'emploi selon la qualité va de la couche de forme à la couche de base.

De nombreux pays disposent de normes ou plus simplement de règles habituelles pour l'utilisation de graveleux latéritiques tant pour les routes revêtues que pour les routes en terre améliorée.

Le manuel de dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux recommande certaines caractéristiques résumées dans le paragraphe précédent et accorde aussi au paramètre CBR un poids considérable.

Donc si le CBR est inférieur à 80 pour la couche de base et 30 pour la couche de fondation, il faudra améliorer ou traiter le matériau.

Nous allons respecter pour les graveleux améliorés aux liants hydrauliques les recommandations du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux qui préconise de considérer les matériaux susceptibles d'être traités qui ont les caractéristiques suivantes :

Dimension maximale	10 à 50 mm
Pourcentage dépassant 80 μm	inférieur à 35
Indice de plasticité	inférieur à 25
Module de plasticité	inférieur à 2000
Teneur en matières organiques	inférieur à 1 %

Le matériau amélioré sera considéré comme satisfaisant si le CBR, à 95 % OPM, après 3 jours de cure à l'air et 4 jours d'immersion, est supérieur à 160.

1.2 - ETUDE THEORIQUE DES LOIS CONTRAINTE DEFORMATIONS DANS LE CORPS DE CHAUSSEE

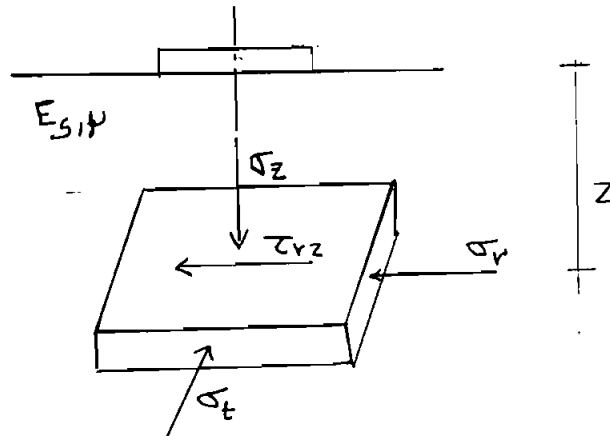
Pour étudier les propriétés des sols nous allons utiliser la mécanique des sols qui est une branche de la géotechnique. Comme son nom l'indique la géotechnique concerne l'application de la technologie de l'Ingénieur Civil à quelques aspects de la terre. Dans notre étude nous appliquerons cette science à l'utilisation des matériaux dans la technique routière.

Pour étudier la déformabilité des sols nous considérons que nous avons un massif de sol à l'état élastique, c'est-à-dire qu'en

aucun point les contraintes de cisaillement ne dépassent la résistance du sol de telle sorte qu'aucune zone plastique n'apparaisse dans le sol.

1.2.1 - DETERMINATION DES CONTRAINTES

Avec le modèle de Boussinesq avec roue simple, on considère une charge sur le massif semi-infini avec une pression uniforme q appliquée sur une aire circulaire de rayon a . Le massif semi-infini est supposé homogène linéaire, isotrope, élastique de module de Young E_s et de coefficient de Poisson, μ . (voir schéma)



En un point de l'axe de la charge situé à une profondeur Z , la contrainte verticale $\sigma_z = q (1 - Z^3) / (a^2 + Z^2)^{3/2}$

La contrainte radiale σ_r est donnée par :

$$\sigma_r = \left\{ \frac{q}{2} [(1+2\mu)] \right\} - \left\{ \frac{[2(1+2\mu/Z)]}{(a^2 + Z^2)^{3/2}} + \left\{ \frac{Z^3}{(a^2+Z^2)^{3/2}} \right\} \right\}$$

Le cisaillement maximal est donné par

$$\tau_{\max} = (\sigma_z - \sigma_r) / 2$$

Pour le modèle de Boussinesq nous voyons que les

contraintes σ_r et τ_{\max} sont proportionnelles à q , indépendantes du module E_s du sol et fonction de la variable adimensionnelle z/a pour une valeur fixée.

Pour un multicouche élastique de n couches d'épaisseur h_i de module d'Young E_i soumis à une charge circulaire, la contrainte verticale σ_z sur le sol support est fournie par la formule d'Odemark et Kirk (1961) : $\sigma_z = q (1 - \{1 / [1 + (a/h_e)^3]\})$ avec $h_e = 0,8 \quad h_i = \Sigma h_i \quad E_i/E_n$

1.2.2 - DETERMINATION DES DEFORMATIONS

Pour étudier la déformabilité des sols nous considérons que nous avons un massif de sol à l'état élastique, c'est-à-dire qu'en aucun point les contraintes de cisaillement ne dépassent la résistance du sol de telle sorte qu'aucune zone plastique n'apparaisse dans le sol.

Pour les déformations élastiques instantanées, la loi de déformabilité du sol peut être admise sans trop d'erreur comme linéaire et ne dépendent pas du temps. Cette loi est caractérisée par 2 modules classiques : module de Young et module de Poisson. Avec le modèle de Boussinesq les déplacements dans le massif en tout point de l'axe de la charge à une profondeur z les hypothèses et les notations sont les mêmes que celles utilisées pour le calcul des contraintes.

$$w = q/E_s \{ 2 (1 - V^2) (a^2 + z^2)^{1/2} \} - \{ [(1 - V^2) / (a^2 + z^2)^{1/2}] \} \\ + \{ (U^2 + 2V^2 - 1) z \}$$

Avec le modèle d'Odemark, le déplacement vertical, du sol support dans l'axe de la charge est donné par :

$$w_s = P / \{ [2E_n h_e (1 + (a/h_e))] \}^{1/2} \quad (\text{voir schéma du paragraphe 1-2-1})$$

où $P = \pi a^2 q / 2 E_n h_e (1 + a/h_e)^{1/2}$

$$h_e = 0,8 \sum h_i (E_i/E_n)^{1/3}$$

$$h_i = 0,8 h_i E_i/E_n$$

Cette formule n'est à utiliser que si les épaisseurs sont supérieures à la moitié du rayon de la charge ou si le rapport E_i / E_{i+1} est plus petit que 2. Dans le cas d'un bicouche, il faut prendre 0,9 à la place de 0,8.

Dans notre étude nous allons nous baser sur les courbes contraintes déformations obtenues à partir d'essais de laboratoire.

Pour mieux appréhender l'état dans lequel nous sommes au niveau des corrélations entre le module d'élasticité et de l'indice de portance CBR nous allons procéder à une récapitulation de toutes les corrélations établies.

1.3 - RESUME DE CORRELATIONS AVANCEES DANS LA LITTERATURE

La valeur des modules élastiques à prendre en compte dans les vérifications des contraintes et déformations varient selon les auteurs.

Des ordres de grandeurs des modules dynamiques ou statiques

pour les matériaux constituant les chaussées ont été proposés.

C'est ainsi que le Centre Experimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des travaux Publics (CEBTP) dans le "Guide Pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux" nous propose une première approximation, la relation empirique suivante pour le module dynamique

$$E_{\text{dyn}} = 100 \text{ CBR}$$

Les modules statiques mesurés par essai de plaque in situ ou par essai de plaque d'écrasement au laboratoire sont données par les relations suivantes :

$$E_{\text{stat}} = 50 \text{ CBR pour les matériaux à gros élément}$$

$$E_{\text{stat}} = 30 \text{ CBR pour les matériaux à fraction fine importante}$$

Dans le cas des matériaux traités au ciment la formule longtemps utilisée est : $E_{\text{stat}} = 200 R_{c7}$

où R_{c7} représente la résistance à la compression simple à 7 jours.

Cette dernière relation a été remplacée par :

$$E_{\text{stat}} = 1000 \text{ à } 2000 R_{c7}$$

1000 correspond aux matériaux les plus plastiques

2000 correspond aux matériaux crus.

La Direction des Etudes Générales et de la Normalisation, Ministère de l'Équipement du Cameroun recommande de prendre ; dans le "Guide pour le dimensionnement des chaussées revêtues au Cameroun", Dossier Justificatif, Juin 1987 ;

$$E_{\text{statique}} = 18 \text{ à } 20 \text{ CBR}$$

et

$$E_{\text{dynamique}} = 50 \text{ CBR}$$

Dans le volume I Delft, 1982 de Kirwan R.W and al, on définit des relations du type $E_s \text{ (MPa)} = K \text{ CBR}$ avec $K = 10$ pour un CBR inférieur à 10 %, la valeur de K étant plus faible pour un CBR supérieur à 10 %.

La valeur moyenne retenue par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées LCPC est $K = 5$.

Pour les caractéristiques du module des matériaux granulaires, graves non traités, il existe une relation entre les rigidités de ces sols et l'état de contraintes qu'il subissent.

La forme de relation la plus simple est :

$$E = K_1 \theta K_2$$

où E : module résilient

K_1, k_2 : constantes

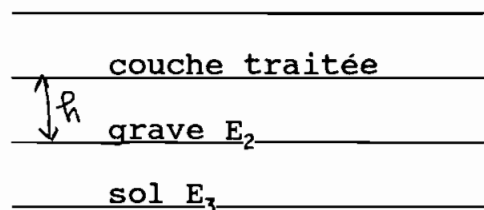
θ = somme des contraintes principales.

Dans la pratique le module d'une couche granulaire est fonction des couches sus-jacente (i-1) et sous-jacente (i+1).

Généralement $(E_i / E_{i+1}) = K_i$

La SHELL propose pour un bicouche dont seule la première couche est traitée, la formule suivante $E_2 = 0,2 h^{0,45} E_3$ avec h épaisseur de la couche de base et $2 < (E_2 / E_3) < 4$

Illustration :



Dans la publication "A General Systeme for the structural design of asphalt pavements. Vol I Am, Arbor, 1977, pp 209-248" Barker W.R propose certaines corrélations entre le module d'élasticité et l'épaisseur des couches qui sont les suivantes :

- Pour les couches de base granulaires :

$$E_i = E_{i+1} (1 + 10,52 \log h - 2,1 \log E_{i+1} \times \log h)$$

- Pour les couches de fondation granulaires

$$E_i = E_{i+1} (1 + 7,18 \log h - 1,56 \log E_{i+1} - \log h)$$

E_i étant le module de la $i^{\text{ème}}$ couche E_i en PSI (1PSI = 6,8951⁻³ MPa)

h est l'épaisseur de la couche en pouce (1 pouce = 2,54 cm).

La validité de ces formules repose d'une part sur le respect de leur domaine d'utilisation, même s'il est parfois trop restrictif, et d'autre part sur les valeurs des paramètres d'entrée, principalement les caractéristiques mécaniques des matériaux.

1.4 - ETUDE DES DIFFERENTES APPROCHES DE DIMENSIONNEMENT UTILISES DANS LES PAYS TROPICAUX.

Plusieurs approches du calcul de dimensionnement sont employées dans la littérature. Certaines ont un caractère semi-empirique et d'autres un caractère théorique.

1.4.1 - METHODE CBR

Cette méthode est basée uniquement sur la résistance au poinçonnement et sur l'intensité du trafic. Elle a été créée par la "Californian Division of Highways" et s'appuie sur l'essai "California Bearing Ratio".

Elle consiste à fixer les épaisseurs de différentes couches en fonction de la portance CBR, c'est-à-dire de la résistance au poinçonnement de la couche sous-jacente.

Les abaques et les formules simplifient son utilisation. La relation suivante, appelée formule de Peltier (Manuel du Laboratoire Routier, 1984 Dunod, Paris) donne l'épaisseur d'une couche en fonction du poids de la roue P, du nombre de sollicitations N et du CBR de la couche inférieure.

$$e = [100 + P (75 + 50 \log (N/10))] / [I + 5] \quad \text{(formule de Peltier)}$$

avec

e : épaisseur

N : nombre de poids lourd de plus de 3 tonnes par jour

P : poids de la roue maximale en tonnes (ou de 2 roues jumelées).

En rassemblant l'expérience africaine sur l'utilisation de cette méthode et en se basant sur l'observation visuelle détaillée du réseau les nombreux renseignements techniques relatifs à la construction, à l'âge, à la déformation des chaussées et à la

nature du trafic, le CEBTP propose le tableau suivant donnant les épaisseurs recommandées et un revêtement type en fonction du trafic et du CBR de la plateforme pour la couche de base d'une part et pour la couche de fondation, d'autre part.

TRAFIC	T1		T2		T3		T4	
CBR PLATEFORME	FONDAT. (cm)	BASE (cm)	FONDAT. (cm)	BASE (cm)	FONDAT. (cm)	BASE (cm)	FONDAT. (cm)	BASE (cm)
5-10	20	15	25	15	25	20	30	20
10-15	15	15	20	15	20	20	25	20
15-30	10	15	15	15	15	20	20	20
30-80	0	15	0	15	0	20	0	20
80	0	0	0	0	0	0	0	0
Revêtement (épaisseur moyenne)	Type I Mono couche puis monocou- che d'entret- tien (2cm)		Type II Bicouche sa- blé puis mo- nocouche d'entretien (3cm)		Type III Bicouche sa- blé puis 2,5 cm d'enrobés denses (4cm)		Type IV Bicouche sa- blé puis 3cm d'enrobés d'entretien (5cm)	

Tableau 2 : Epaisseur recommandée en fonction du CBR et du trafic (CEBTP)

CEBTP = Centre d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics.

T1, T2, T3, T4 sont des classes d'intensité de trafic définies de deux manières suivantes :

- 1°) La classe de trafic est exprimée par le nombre cumulé de poids lourds circulant sur toute la largeur de la chaussée pour une durée de vie probable de 15 ans. Le poids lourd est défini comme étant un véhicule d'un poids total en charge supérieure à 3 tonnes.

2°) Si le pourcentage d'essieux chargés à plus de 13 tonnes dépasse 10 % les classes prises en considération seront les suivantes :

T1 = 100 à 300 véhicules/jour

T2 = 300 à 1000 véhicules/jour

T3 = 1000 à 3000 véhicules/jour

T4 = 3000 à 6000 véhicules/jour.

Dans cela on suppose que la durée de vie est de l'ordre de 10 ans et que la proportion de poids lourds est de l'ordre de 40 % .

Si on exprime le trafic en nombre cumulé de poids lourds, on a les classes suivantes :

T1 = 10^5 à 5×10^5 de poids lourds

T2 = 5×10^5 à $1,5 \times 10^6$ de poids lourds

T3 = $1,5 \times 10^6$ à 4×10^6 de poids lourds

T4 = 4×10^6 à 10^7 de poids lourds

Cette méthode CBR très ancienne du reste élargie à la formule dérivée proposée par le CEBTP présente les avantages suivants :

- la méthode est très simple et pratique d'utilisation ; en effet le dimensionnement d'une chaussée est très rapide et permet une très grande économie de temps quant à la conception ;
- les fourchettes de portance CBR permettent de ne pas attacher trop d'importance à ces degrés de précision illusoire sur la détermination des valeurs de CBR ;

- la chaussée est dimensionnée pour une durée de vie déterminée (15 ans) ce qui permet de faire un planning d'entretien ou de renforcement ;
- la formule dérivée du CBR, proposée par le CEBTP pour les pays tropicaux tient compte du comportement des chaussées africaines sous l'influence du trafic particulier de l'Afrique.

Mais si cette méthode présente beaucoup d'avantages, il n'en reste pas moins qu'elle revêt certaines lacunes majeures qui font sa faiblesse.

En effet :

- la méthode ne tient pas compte des véhicules légers et partant de l'équivalence du trafic ; cependant l'action répétitive du trafic léger pour une durée de vie de 15 ans a sans doute des effets sur le comportement de la structure de la chaussée ; c'est ainsi que certaines chaussées se détériorent bien avant leur limite de durée de vie ; des lois on procède sur ces chaussées à des interventions d'entretien ou de renforcement prématurée ;

- La méthode CBR ne tient pas compte du contexte climatique alors que certains matériaux évoluent sous l'effet des agents météoriques.

- Elle ne tient pas compte de la nature des matériaux utilisés, cependant suivant la nature du matériau, on aura tendance à augmenter l'épaisseur d'une couche plutôt que celle d'une autre.

- Pour la formule proposée par le CEBTP certaines fourchettes dans l'évaluation du trafic lourd sont très larges à

telle enseigne que l'on peut sous dimensionner la chaussée.

Il faut dire que le souci principal de tout ingénieur étant de construire économiquement dans la sécurité, la méthode dite CBR ne présentant ni des conditions économiques, ni quelque fois des conditions de sécurité, tend à disparaître peu à peu en Afrique au profit de nouvelles méthodes de dimensionnement.

1.4.2 - METHODE BASEE SUR LA THEORIE DE BOUSSINESQ

Celle-ci assimile la chaussée à un massif semi-infini. La figure 1.2 montre les différents paramètres calculés pour une charge circulaire agissant sur un disque de rayon "R" et à une profondeur z

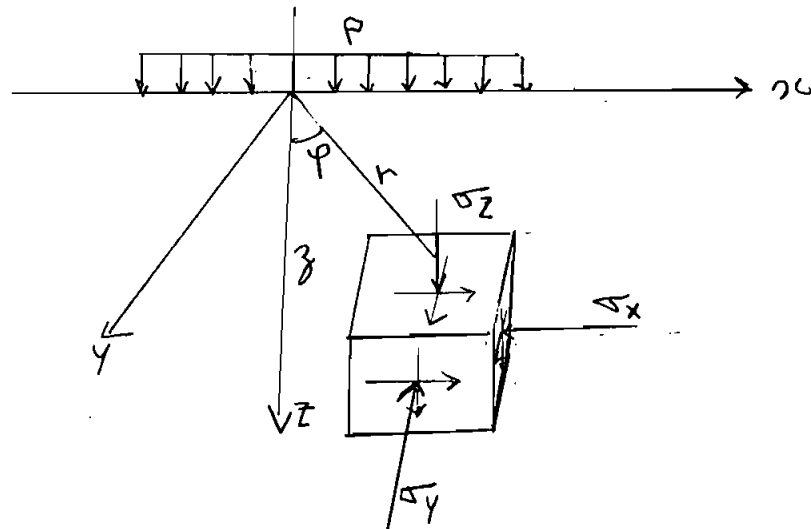


Figure 2 : Paramètres du calcul du dimensionnement.

Approche de Boussinesq

On pourra donc dimensionner le corps de chaussée avec ces paramètres. Les contraintes et les déformations en un point quel conque du massif sont données par :

$$\sigma_z = p \left(1 - \frac{z^3}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \right)$$

$$\sigma_y = \sigma_x = \left\{ \frac{p}{2} (1 + 2\nu) \right\} - \left\{ \frac{2(1 + \nu)z}{(R^2 + z^2)^{1/2}} \right\} + \left\{ \frac{z^3}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \right\}$$

$$\epsilon_z = 2pR/E (1 - \mu^2)$$

avec μ : le coefficient de Poisson du sol.

1.4.3 - METHODE BASEE SUR LA THEORIE DE BURIMISTER AVEC DES EXTENSIONS

En s'appuyant sur certaines hypothèses, l'auteur calcule les déformations dans un massif bicouche caractérisé par les paramètres de la figure 1.3

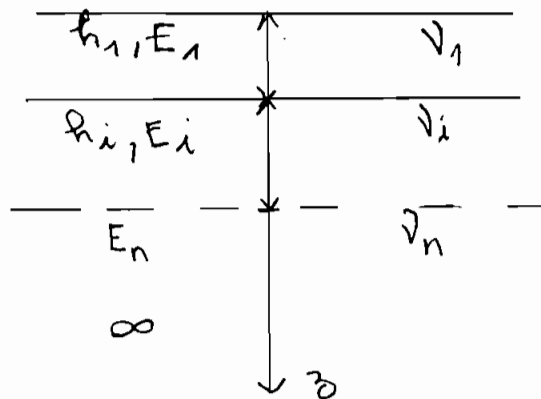


Figure 3 : Paramètre du calcul de dimensionnement

Approche Burimister

Les déformations aux points multiples de R sur l'axe Z sont données par la relation :

$$z = (1,5 p \cdot R / E_2) \cdot F_w$$

avec z : le déplacement vertical (in)

p : la pression superficielle répartie sur un disque
(lb/sq.in)

R : le rayon de la surface d'impact (in)

E_2 : le module de la 2ème couche semi infinie ((lb/sq.in)

F_w : le facteur de déplacement calculé par l'auteur, qui

est une fonction des rapports E_1/E_2 et de l'épaisseur de la couche supérieure.

Les hypothèses de Burimister étant limitées par rapport aux cas pratiques et le calcul numérique ayant connu un grand développement rapide, l'approche de Burimister a été étendue et affinée par plusieurs chercheurs. Ceci a conduit au calcul des systèmes multicouches avec un nombre des couches supérieur à 2. Ce calcul est facilité par l'emploi des programmes d'ordinateur pré-établis.

Chaque approche du calcul de dimensionnement a ses limites d'application basées sur les habitudes locales et sur le comportement des chaussées observées sur le terrain.

Des études récentes préconisent l'emploi du calcul de dimensionnement basée sur le système multicouche de Burimister.

Cette approche tient compte des qualités intrinsèques de chaque matériau et permet de calculer les contraintes et les déformations dans n'importe quel point de la structure.

Le modèle de Burimister part de la théorie générale de la résistance des matériaux. Il considère les hypothèses classiques d'élasticité, d'homogénéité et d'isotropie. Les déformations sont admises comme étant faibles au point de ne pas perturber le mode de sollicitation. Le modèle est établi pour des charges symétriques.

Nous pouvons dire que la nouvelle tendance pour le dimensionnement des chaussées est l'utilisation des paramètres intrinsèques du matériau des différentes couches notamment le module

d'élasticité et le coefficient de Poisson.

CHAPITRE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

2.1 - DESCRIPTION DES ESSAIS EFFECTUES

Nous avons établi un programme d'étude sur des matériaux latéritiques provenant de différentes carrières.

La première carrière dont nous avons eu une livraison est celui qui se trouve à l'entrée de Thiès au niveau de l'emplacement de l'antenne Télévision de l'ORTS (station Thiès).

2.1.1 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

C'est le premier essai effectué après l'identification visuelle. Il permet de dresser la répartition en grosseur de grain du matériau. Ainsi nous avons seulement utilisé le tamisage pour déterminer notre courbe granulométrique.

La sédimentation ne nous a pas été utile vu qu'on a une limite pour le pourcentage en fines qu'il ne faut pas dépasser.

2.1.2 - LIMITES D'ATTERBERG

Il est important de connaître la quantité relative d'eau présente dans un dépôt naturel de sol, mais nous avons également besoin de relier cette teneur en eau à des comportements standards.

C'est ce que permettent les limites d'Atterberg.

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau corres-

pendant à une certaine limite ou état critique de notre sol. Elles sont utilisées dans la classification des sols, et sont très utiles parce qu'elles corréllent les propriétés et les comportements géotechniques.

On utilise très généralement les limites définies en 1911 par Atterberg et standardisées par Casagrande en 1932 :

- la limite de liquidité W_L qui sépare l'état liquide et l'état plastique
- la limite de plasticité W_p sépare l'état plastique de l'état solide.

Les essais permettant de déterminer les limites de consistance sont arbitraires et difficiles à reproduire pour un opérateur non expérimenté.

Casagrande a défini la limite de liquidité comme la teneur en eau (%) qui correspond à une fermeture de la rainure (sur 10 mm) en 25 chocs dans la coupelle de l'appareil dit de Casagrande.

Si nous portons sur graphique semi-logarithmique la teneur en eau versus le nombre de chocs, nous obtenons une ligne droite. L'intersection de cette courbe le nombre de chocs de 25 donne la limite de liquidité.

L'essai de limite de plasticité est un peu plus arbitraire et a besoin d'un peu plus d'expérience pour arriver à des résultats reproductibles.

La limite de plasticité est définie comme la teneur en eau d'un matériau enroulé en petit boudin qui se brise en petits morceaux de 10 à 20 mm de long au moment où son diamètre atteint

3 mm.

Atterberg a aussi défini ce qu'on appelle l'Indice de plasticité, I_p , qui décrit la gamme de teneur en eau dans laquelle le sol est plastique : $I_p = W_l - W_p$.

2.1.3 - POIDS SPECIFIQUE

Le poids spécifique est le rapport du poids dans l'air d'un volume donné de matériau à une température connue, sur le poids dans l'air d'un égal volume d'eau distillée à la même température.

Le poids spécifique des constituants solides se définit aussi comme étant le poids de la partie solide du matériau (sans son air et sans son eau) par unité de volume pesé dans l'atmosphère à une température donnée. Avec une bouteille volumétrique appelée pychonètre, calibrée, pesée, on procède à la desaération, la calibration du pychonètre étant faite on peut alors déterminer le rapport en question à une température T.

Ce poids spécifique sera utilisé au niveau de la correction des courbes de Proctor modifié.

2.1.4 - ESSAI DE COMPACTAGE

Le compactage est la densification des sols par application d'énergie mécanique, il peut aussi se faire statiquement. Cette action augmente la compacité du sol, donc resserre la texture du matériau, réduit les possibilités de déformation du terrain et améliore sa capacité portante.

C'est R. Proctor en 1930 qui a développé les principes de compactage dans une série d'articles "Engineering News-Records"; c'est ainsi qu'on a donné à cet essai le nom d'essai Proctor.

Nous avons fait l'essai Proctor modifié, Désignation T 180 et ASTM (1980), Désignation D 1557 avec comme spécifications essentielles

- Marteau 4,536 kg
- Hauteur de chute 457 mm
- 5 couches de 55 coups chacune.

Cet essai sera effectué dans un moule Proctor standard. Si l'on fait varier la teneur en eau de l'échantillon et que l'on représente la variation de la densité sèche ρ_d en fonction de la teneur en eau on obtient une courbe en cloche qui représente un point haut que l'on appelle optimum Proctor.

Les familles de correction à appliquer dans le cas de matériau comportant une fraction notable d'éléments dont la taille est supérieure à la maille carrée de 20 mm sont :

pour la teneur en eau corrigée : $W' = W(1 - 1/100)$

pour la densité sèche corrigée :

$$\rho_d' = \rho_d / \{ [1 + m/100(\rho_s - 1)] \}$$

W = teneur en eau optimale de l'essai Proctor

ρ_d = densité sèche maximale de l'essai Proctor

ρ_s = poids spécifique absolu des éléments > 20 mm

ρ_d' = densité sèche maximale corrigée

m = pourcentage de refus à 20 mm (%)

C'est ainsi que nous allons déterminer les courbes Proctor pour le matériau crû, le matériau amélioré à 1%, 2%, 3%, 4% de ciment.

2.1.5 - ESSAI C B R

Cet essai, créé par la "Californian Division of Highways" est basé sur l'essai "Californian Bearing Ratio". Le "Corps of Engineers de l'U.S Army" l'a adopté au cours de la seconde guerre mondiale, ce qui explique la quasi universalité du procédé.

Cet essai destiné à apprécier la portance routière d'un sol, c'est-à-dire son aptitude à supporter à travers une certaine structure de chaussée les charges routières qui seront transmises à la chaussée.

Il s'agit d'un essai mécanique de pénétration à vitesse constante. La résistance du sol au poinçonnement est mesurée et comparée à celle d'un macadam standard essayé dans les mêmes conditions. L'indice CBR est égal au rapport de ces résistances.

Pour l'utilisation de l'indice, il existe des abaques qui permettent de déterminer en fonction de l'indice CBR et du poids de la roue susceptible de circuler, l'épaisseur de chaussée minimale à prévoir.

Dans le cadre de cette recherche, nous évaluerons la portance C B R sur des échantillons poinçonnés

- immédiatement après le compactage
- après 2 jours de cure à l'air.

NB : Pour réaliser cet essai il fallait avoir un échantillon de caractéristique de mise en oeuvre similaire à celui de la route ce qui a nécessité un choix du temps de cure. Ce choix a été influencé par le temps qui nous était imparti.

Une cure de 4 jours d'imbibition aurait été nécessaire pour simuler les pires conditions d'exploitation de la route.

2.1.6 - ESSAI DE COMPRESSION UNIAXIALE

L'établissement des courbes contraintes déformations et la détermination du module se font à partir de cet essai.

La résistance en compression uniaxiale dans notre étude est mesurée sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 15 cm.

Les éprouvettes sont fabriquées par compactage mécanique dans un moule démontable. L'écrasement se fait dans les mêmes conditions que l'essai CBR, à savoir :

- immédiatement après la confection de ces éprouvettes
- après 2 jours de cure à l'air.

Il faut dire que la recherche de corrélation que nous voulons déterminer doit provenir de l'essai de compression donnant le module et le C B R obtenu d'un échantillon confectionné dans les mêmes conditions, pour avoir les couples de points C B R - Module d'élasticité, avec la variation du pourcentage de ciment.

2.2 - IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 2

Caractéristiques	Valeur
Poids spécifique [g/cm]	2,79
Passant à 80 μ m [%]	< 23
Indice de plasticité	17
Densité maximal [g/cm]	1,96
W _{opt} [%]	15,7
CBR 95 % de l'OPM [%]	37

D'après la courbe granulométrique on constate que le % de fine est élevée et les exigences du LCPE (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées) ne sont plus respectées à partir du tamis 0,7 mm.

Cependant, la latérite, Thiès-Télévision, peut être améliorée pour l'utilisation en couche de fondation. En effet, elle respecte toutes exigences LCPC.

Taille maximale	10 à 50 mm
Teneur en matières organiques	< 1,5 %
Teneur en passant à 80 μ m	< 35
Matière organique	traces
Indice de plasticité	< 30

2.3 - CARACTERISTIQUE DE COMPORTEMENT MECANIQUE

Signalons d'abord avant de donner les résultats qu'on n'a pas pu avoir la résistance à la compression à 4 % car la capacité des anneaux dynamométriques était limité à 52,8 bars

Les résultats des essais sont donnés dans les tableaux du type "temps de cure versus pourcentage de ciment". on donne d'abord dans le tableau 4 les valeurs brutes de C B R. Le tableau 5 donne le module d'élasticité, le tableau 6 donne les résistances à la compression en kPa, le tableau 7 donne la densité sèche maximale (Proctor) en fonction du pourcentage de ciment.

% de ciment cure	0	1	2	3	4
immédiat	37.4	97.6	132.2	132.0	107.5
2 jours à l'air	125.6	209.0	81.9	177.9	188.6

Tableau 4 : Valeurs brutes C B R

% de ciment cure	0	1	2	3	4
immédiat		1741	1812	1015	2716
2 jours à l'air	2280	3042	553	2667	

Tableau 5 : Valeur module d'élasticité en bars.

%	0	1	2	3	4
immédiat	16.35	13.30	6.45	3.78	15.19
2 jours à l'air	24.68	25.00	23.00	36.57	

Tableau 6 : Valeurs Résistance en compression simple en Bars

% de ciment O P M	0	1	2	3	4
(t/m)	1.96	1.98	1.98	1.99	1.97
(%)	15.7	13.0	14.5	14.5	14.6

Tableau 7 : Valeur densité sèche maximale (Proctor)

Les résultats des essais sont données dans les tableaux précédents.

Nous voyons le caractère dispersif des résultats. Essayons d'analyser les résultats

CHAPITRE III : ANALYSE DES RESULTATS DE LABORATOIRE

3.1 - INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans cette recherche la préoccupation principale était de trouver une relation entre le C.B.R. et le module d'élasticité mais nous sommes à beaucoup de difficultés au niveau de la réalisation des expériences.

La difficulté de réaliser les essais dans les conditions où le matériau est homogène est presque impossible, le problème de ségrégation se pose à cause du fait d'une homogénéisation pas toujours parfaite.

Donc l'influence de la granulométrie sur chaque échantillon réalisé a eu une influence sur les résultats.

Pour la réalisation de l'essai de compression simple nous sommes heurtés à des problèmes de planéité de l'échantillon. C'est ainsi que les courbes obtenues nous montrent que nous avons des problèmes de zéro. En effet le contact, entre la presse qui a un diamètre de 130 mm et l'échantillon, un diamètre de 152 mm, n'a pas été franche au début de l'expérience. C'est ainsi que la détermination des valeurs des modules est souvent entachée d'erreur dû aux problèmes évoqués ci-haut.

Pour la détermination C.B.R., des problèmes matériels comme le moule C.B.R. nous ont fait défaut, ce qui a prévalu sur la confection unique d'éprouvette à chaque pourcentage de ciment - Ce qui peut entacher d'erreurs certaines valeurs de C.B.R.

Il faut noter que l'essai de compression nous donne seulement

le module statique. Le module dynamique n'a pu être déterminé faute de matériel.

les modules sont donnés par les courbes contrainte-déformation, nous avons eu des difficultés à tracer les droites car il fallait éviter la zone du zéro. Notons, que la valeur du module de l'échantillon crû amélioré, poinçonné immédiatement est insolite.

Pour l'amélioration du ciment de 4% avec une cure de 2 jours à l'air, nous n'avons pas pu déterminer le module, car la courbe montre que, le problème du zéro a été présent durant tout l'essai. Aussi la résistance à la compression n'a pas été atteinte, car la limite de l'anneau de compression a été dépassée.

Pour l'essai Proctor la teneur en eau varie et ne suit pas de loi linéaire par rapport au pourcentage de ciment ajouté.

Nous pouvons dire que nous avons des résultats avec des erreurs expérimentales, cependant il faudra tenir compte du fait de l'hétérogénéité des échantillons.

Ce facteur peut bien être maîtrisé au niveau des prélèvements en carrière et par un bon échantillonnage au laboratoire. Ceci semble avoir fait défaut (utilisation d'un échantillonneur et méthode du quartage).

En général on n'a pas pu déterminer de loi entre le pourcentage de ciment et les paramètres étudiés.

Nous allons essayer de déterminer avec les résultats obtenus, la relation entre le module d'élasticité et le CBR.

3.2- DETERMINATION DE LA CORRELATION

Nous allons tracer la courbe module d'élasticité ,E en bars, en fonction du CBR . Nous obtenons à partir du tableau suivant une série de points dispersés :

CBR	97.6	132.2	132	107.5	125.6	209	81.9	177.9
E(bar	17441	1812	1015	2716	2280	3042	553	2667

tableau 8: courbe $E=f(\text{CBR})$ E(Bars)

Nous remarquons le nombre de points est limité ,cependant nous allons déterminer la série de points obtenus par régression linéaire.On obtient ainsi la droite de caractéristiques suivantes:

_ pente : 13.99734

_ ordonnée à l'origine : 117.1276

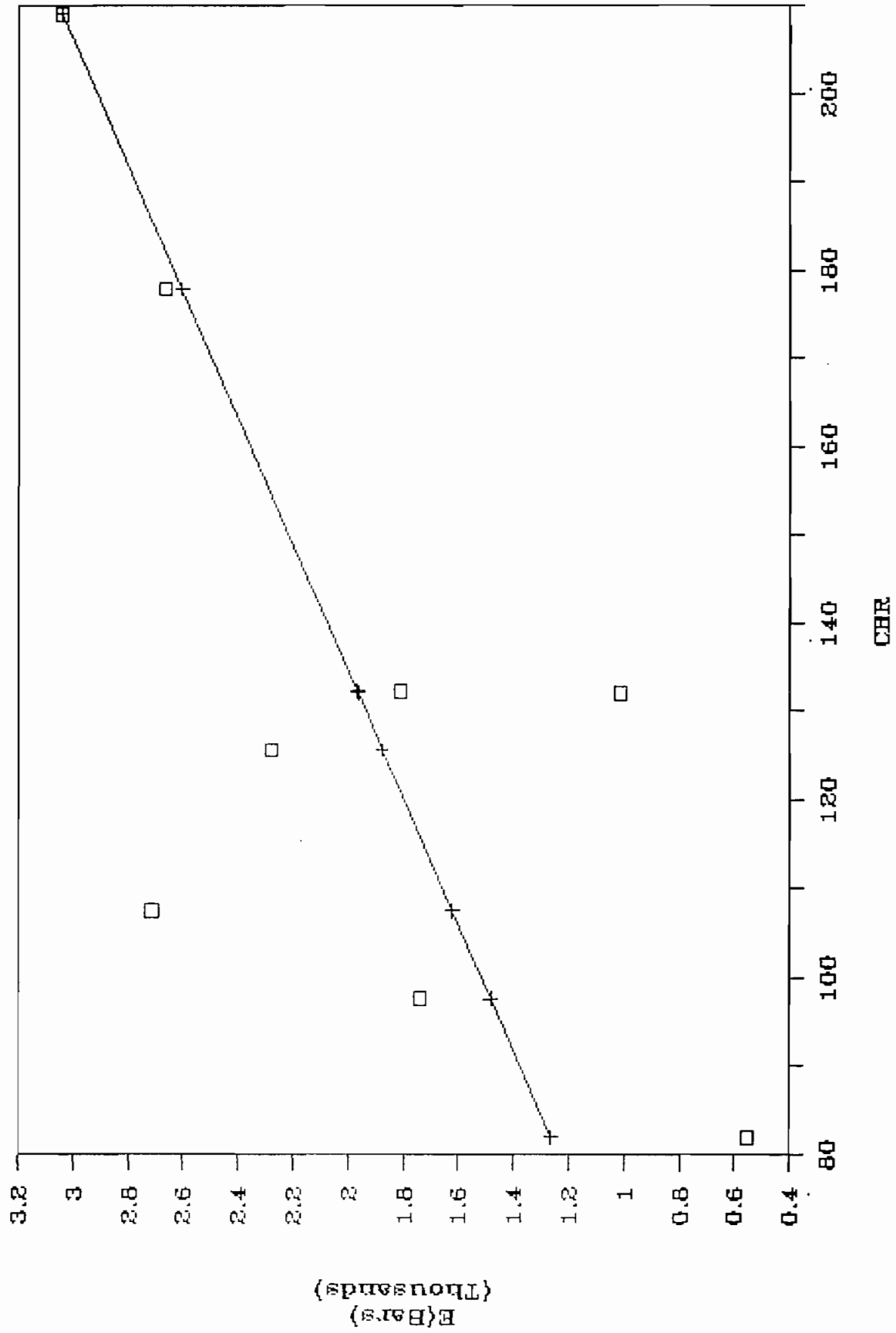
_ coefficient de corrélation : 0.458375

Soit:

$$E= 13.99734 \text{ CBR} + 117.1276$$

La courbe est donnée à la page suivante .

COURBE $E=f(\text{CBR})$



3.2- DETERMINATION DE LA CORRELATION

Nous allons tracer la courbe module d'élasticité ,E en bars, en fonction du CBR . Nous obtenons à partir du tableau suivant une série de points dispersés :

CBR	97.6	132.2	132	107.5	125.6	209	81.9	177.9
E(bar	17441	1812	1015	2716	2280	3042	553	2667

tableau 8: courbe $E=f(\text{CBR})$ E(Bars)

Nous remarquons le nombre de points est limité ,cependant nous allons déterminer la série de points obtenues par régression linéaire.On obtient ainsi la droite de caractéristiques suivantes:

_ pente : 13.99734

_ ordonnée à l'origine : 117.1276

_ coefficient de corrélation : 0.458375

Soit:

$$E= 13.99734 \text{ CBR} + 117.1276$$

La courbe est donnée à la page suivante .

CHAPITRE IV : CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons obtenu comme résultats provisoires la corrélation suivante :

$$E=14\text{CBR}+117$$

En effet cette première recherche est loin de terminer l'étude de loi de corrélation entre le module d'élasticité et l'indice de portance CBR . Il faudra encore étudier plusieurs autres carrières utilisées dans les chantiers routiers de notre pays .

Cette recherche de corrélation sera terminée lorsque tous ces travaux seront réalisés . Les résultats de nos essais sont très restreints et pas tellement significatifs du point de vue représentativité du nombre d'essai . Cependant notre étude permettra d'éviter à l'avenir certains errements et erreurs de début de recherche . Il faut reconnaître que les limitations dans cette recherche sont essentiellement dues aux nombreux problèmes rencontrés dont les causes sont les suivantes :

- _ le nombre et la durée des essais en une période limitée .
- _ l'appareillage : la presse utilisée n'est pas adéquate
(diamètre inférieur à celui de l'éprouvette à écraser)
- _ les irrégularités dans les mesures sont dues au comportement général des sols tropicaux et en particuliers des sols latéritiques vis à vis des essais standards. En effet les latérites sont très sensibles au remaniement. Il faut un échantillon représentatif.

_ le CEREEQ qui a rendu les résultats de la deuxième carrière un peu tard pouvait apporter une certaine diversification des résultats des deux carrières étudiées .

Dans le but de trouver une relation empirique qui refléterait plus la réalité, il est nécessaire de poursuivre le travail effectué .

Cette poursuite sera beaucoup plus guidée, car la voie est déjà tracée pour la démarche à suivre . Ceci permettra un jour aux CEREEQ de pouvoir détenir un moyen de contrôle beaucoup plus rigoureux pour les entrepreneurs en matière de l'exécution des travaux routiers . Les conséquences économiques en découleront pour l'Etat Sénégalais .

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

- DIOUF Abdou : Etude bibliographique des techniques de construction en Afrique - Cause et détérioration, 1985.
- DIOUF Amath : La perméabilité des sols latéritiques, 1978.
- DIENE Massamba : Application à deux GRAVELEUX LATÉRITIQUES DU SENEGAL, Ing, EPT, 1984.
- Dossier justificatif : "Guide pour le dimensionnement des chaussées revêtues au Cameroun", Juin 1987.
- BCEOM-CEBTP, (Bureau Central d'Etudes d'Outres Mer - Centre d'Etude du Batiment et des Travaux Publics - France)
- Tome 1 : Conception et économie des projets, 1972
- Tome 3 : Entretien et exploitation de la route, 1972
- Manuel sur les routes dans les zones tropicales, 1972.
- CEBTP - (Reimpression et mise à jour 1984) "Guide Pratique pour le dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux"
- BOUSSINESQ V.J., Application des potentiels à l'étude et du mouvement des solides élastiques avec des notes étendues sur divers points de physique, Gauthier, Paris 1985.
- J. COSTEY et G.SANGLERA, Cours pratique de mécanique des sols (Tome 1) 2e édition, Dunod technique, 1977.
- BARKER W.R. BRABSTON W.N and CHOU Y.T., A général system for the structural design of flexible pavements) Proc. 4th int conf. Structural design of asphalt pavements. Vol I, Ann, Arbor, 1977, pp. 209-248.

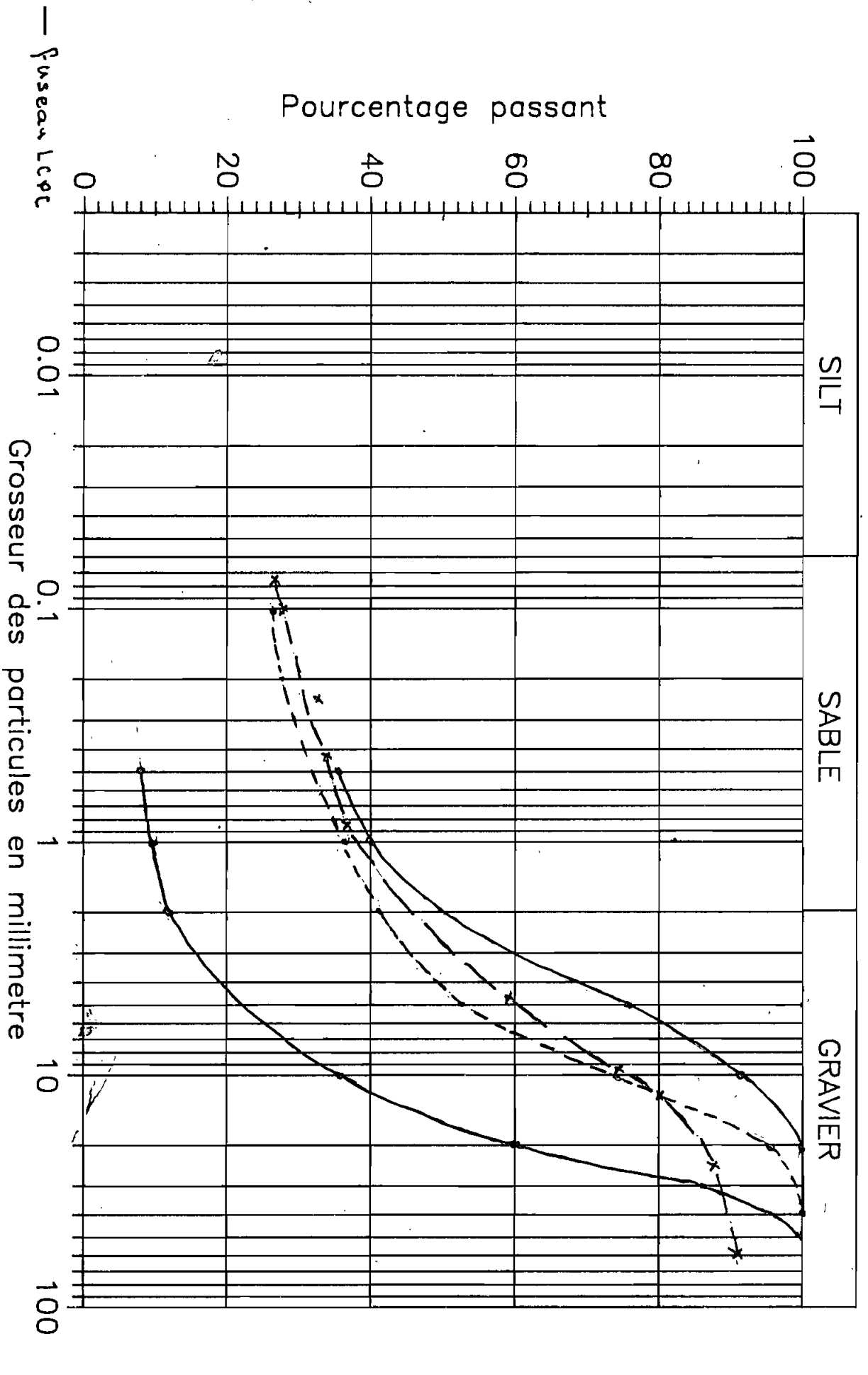
ODEMARK N. Undersokning ar elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter Sam téori for berakning ar be lagnogar enlight elasticitetsteon. Staten vaginstitut - Meddelande 77, 1949.

TSHIMANGA TSHIULA, contribution à l'étude du comportement mécanique des graveleux latéritiques traités aux liants hydrauliques (constructions routières), Thèse de Doctorat ès Sciences Appliquées, 1987.

WESTERGAARD, Stress concentration in plates loaded over small areas. Transaction A.S.C.E., Vol 108, 1943, pp 831-856.

WESTERGAARD, New formules for stress in concrete pavement of Air fields. ASCE, 1947, pp 687-701.

COURBE GRANULOMETRIQUE



école polytechnique de thies

ESSAI DE COMPACTAGE

PROJET: FIN D'ETUDE

EMPLACEMENT: _____ ESSAI No: _____

CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU

DESCRIPTION: Graveleux latéritique

PROVENANCE: THIES (Antenne Télévision)

REMARQUES: contient 0% de ciment

ESSAI PAR: _____ LE: _____ CALCULÉ PAR: _____ LE: _____ VÉRIFIÉ PAR: _____ LE: _____

NORMES A.S.T.M. POUR ESSAI PROCTOR	MÉTHODE	ESSAI SUR MATÉRIAU PASSANT LE TAMIS:	MOULE		$\gamma_T = W_T \times \text{pori} \frac{1000}{V}$	ESSAI STANDARD (A.S.T.M. D 698)			ESSAI MODIFIÉ (A.S.T.M. D 1557)		
			Ø	VOLUME		MARTEAU DE 2.5 kg - CHUTE DE 30.5 cm			MARTEAU DE 4.5 kg - CHUTE DE 45.7 cm		
						POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE	POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE
A	NO 4	10.2	943,89	1,059 442	2,5 kg	3	25	3,0 kg	5	25	
B	NO 4	15.2	2123,76	0,470 876	6,5 kg	3	56	7,5 kg	5	56	
C	3/4"	10.2	943,89	1,059 442	4,5 kg	3	25	5,5 kg	3	25	
D	3/4"	15.2	2123,76	0,470 876	10,0 kg	3	56	11,5 kg	3	56	

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

EFFORTS DYNAMIQUES (ESSAI PROCTOR) (VOIR NORMES A.S.T.M.)

PRESSIONS STATIQUES (SUivant NORMES)

ESSAI STD. MOD. MÉTHODE: D

% RETENU SUR TAMIS $\frac{19 \text{ mm}}{(3/4")}$ 9 NO 4: _____

MOULE: DIAMÈTRE: 15,2 - VOLUME: 2123,76

POIDS DU MARTEAU: 4,5 - HAUTEUR DE CHUTE: _____

NB DE COUCHES: 5 NB DE COUPS / COUCHE: 55

OBSERVATIONS: _____

TYPE D'ESSAI: _____

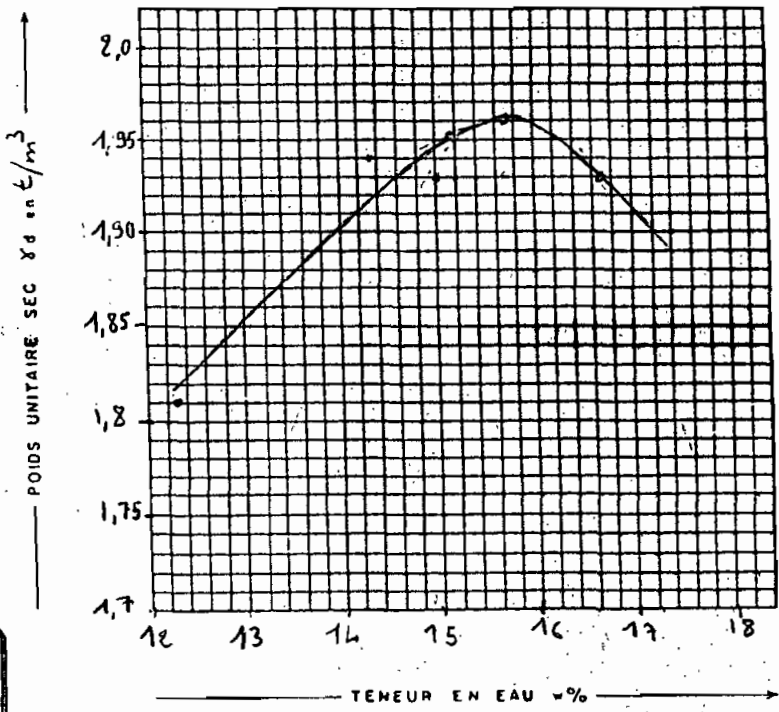
TAMIS DE RÉFÉRENCE: _____ % RETENU: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ VOLUME: _____

PISTON: DIAMÈTRE: _____ PRESSION: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____



RÉSULTATS DE L'ESSAI

γ_d maximum: 1,96 t/m³ - w% optimum: 15,66

POIDS UNITAIRES	ESSAI NO	% approximatif d'eau ajoutée	1	2	3	4	5	6	
			10,5	9	10	11	12	11,5	
	POIDS DU SOL HUMIDE + MOULE	W1 (kg)	10,152	9,734	10,196	10,191	10,220	10,281	
	POIDS DU MOULE	TARE (kg)	5,515	5,515	5,515	5,515	5,515	5,515	
	POIDS DU SOL HUMIDE	W1 - TARE + WT (kg)	4,638	4,219	4,621	4,678	4,705	4,766	
	POIDS UNITAIRE TOTAL	$WT \times (\frac{1000}{V}) \gamma_T$ (t/m³)	2,18	1,98	2,18	2,20	2,22	2,24	
	POIDS UNITAIRE SEC	$\gamma_T / (1.0 + (w\% / 100)) = \gamma_d$ (t/m³)	1,88	1,75	1,87	1,89	1,87	1,91	
TENEURS EN EAU		$\gamma' = \gamma_d \times \frac{1}{1 + (\frac{w}{100} \times \frac{\gamma_d}{\gamma_s})}$	1,94	1,81	1,93	1,95	1,93	1,96	
		POIDS DU RÉCIPENT	TARE (g)	240,76	24,62	250,2	237,19	21,60	234,04
		POIDS DU SOL HUMIDE + RÉCIPENT	W1 (g)	504,82	186,49	599,43	465,38	113,96	302,71
		POIDS DU SOL SEC + RÉCIPENT	W2 (g)	468,90	114,0	549,97	432,58	99,55	343,24
		POIDS DE L'EAU	W1 - W2 + Ww (g)	35,92	12,49	49,46	32,80	14,31	19,90
		POIDS DU SOL SEC	W2 - TARE + Ws (g)	228,14	92,38	299,95	195,40	78,05	109,8
	IN EAU	$(Ww / Ws) \times 100 = w\%$	15,74	13,52	16,49	16,79	18,33	17,21	
		W'	14,32	12,3	15,00	15,27	16,18	15,66	

école polytechnique de thies

ESSAI DE COMPACTAGE

PROJET: DE FIN D'ETUDE

EMPLACEMENT: EPT

ESSAI No: _____

CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU: DESCRIPTION: Gravelux latéritique
 PROVENANCE: THIES (Antenne Télévision)
 REMARQUES: amélioration 1% ciment

ESSAI PAR: _____ LE: _____ CALCULÉ PAR: _____ LE: _____ VÉRIFIÉ PAR: _____ LE: _____

NORMES A.S.T.M. POUR ESSAI PROCTOR	METHODE	ESSAI SUR MATÉRIAU PASSANT LE TAMIS:	MOULE		γ _T = WT x 1000 / V	ESSAI STANDARD (A.S.T.M. D 698)			ESSAI MODIFIÉ (A.S.T.M. D 1557)		
			Ø cm	VOLUME cm ³		POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE	POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE
A	NO 4	10.2	943,89	1,059 442	2,5 kg	3	25	3,0 kg	5	25	
B	NO 4	15.2	2123,76	0,470 876	6,5 kg	3	56	7,5 kg	5	56	
C	3/4"	10.2	943,89	1,059 442	4,5 kg	3	25	5,5 kg	5	25	
D	3/4"	15.2	2123,76	0,470 876	10,0 kg	3	56	11,5 kg	5	56	

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

ESSAI STD. MOD. METHODE: D

% RETENU SUR TAMIS ^{19 mm} (3/4") 9 NO 4: _____

MOULE: DIAMÈTRE = 152 - VOLUME = 2123,76

POIDS DU MARTEAU: 4,5 - HAUTEUR DE CHUTE: _____

NB DE COUCHES: 5 NB DE COUPS / COUCHE: 53

OBSERVATIONS: _____

TYPE D'ESSAI: _____

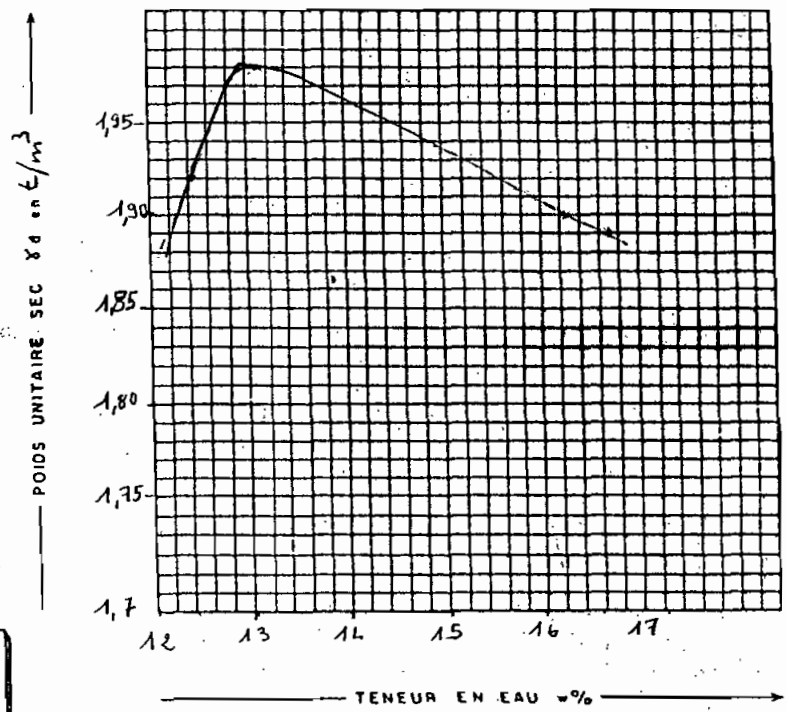
TAMIS DE RÉFÉRENCE: _____ % RETENU: _____

MOULE: DIAMÈTRE = _____ VOLUME = _____

PISTON: DIAMÈTRE = _____ PRESSION = _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____



RÉSULTATS DE L'ESSAI

γ_d maximum = 1,98 t/m³ - w% optimum = 13,00

POIDS UNITAIRES	ESSAI NO	% approximatif d'eau ajoutée	1	2	3	4	5	6
			10	12	14	15,5	8	
	POIDS DU SOL HUMIDE + MOULE	W1 (kg)	10010	10193	10150	10115	9620	
	POIDS DU MOULE	TARE (kg)	5515	5515	5515	5515	5515	
	POIDS DU SOL HUMIDE	W1 - TARE = WT (kg)	4495	4678	4635	4600	4105	
	POIDS UNITAIRE TOTAL	WT x (1000/V) = γ _T (t/m ³)	2,12	2,20	2,18	2,16	1,93	
	POIDS UNITAIRE SEC	γ _T / (1.0 + (w%/100)) = γ _d (t/m ³)	1,86	1,92	1,85	1,83		
TENEURS EN EAU		γ _d = γ _d x (1 + w%/100) / (1 + w%/100)	1,92	1,98	1,91	1,89		
		POIDS DU RÉCIPENT	TARE (g)	244,44	233,85	242,09	246,47	244,65
		POIDS DU SOL HUMIDE + RÉCIPENT	W1 (g)	999,68	910,92	978,40	904,10	
		POIDS DU SOL SEC + RÉCIPENT	W2 (g)	899,97	826,56	866,78	798,56	930,06
		POIDS DE L'EAU	W1 - W2 = Ww (g)	89,71	84,36	111,62	101,54	
		POIDS DU SOL SEC	W2 - TARE = Ws (g)	655,53	592,71	624,69	552,09	
	Teneur en Eau	(Ww/Ws) x 100 = w%	13,68	14,23	17,87	18,39		
			12,45	12,35	16,26	16,79		

école polytechnique de thies

ESSAI DE COMPACTAGE

PROJET: DEFIN D'ETUDE

EMPLACEMENT: _____ ESSAI No: _____

CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU: DESCRIPTION: Graveleux lateritique
 PROVENANCE: THIES (Antenne Television)
 REMARQUES: amelioration 20% de ciment

ESSAI PAR: _____ LE: _____ CALCULÉ PAR: _____ LE: _____ VÉRIFIÉ PAR: _____ LE: _____

NORMES A.S.T.M. POUR ESSAI PROCTOR	MÉTHODE	ESSAI SUR MATÉRIAU PASSANT LE TAMIS:	MOULE		Y _T = WT x pour $\frac{1000}{V}$	ESSAI STANDARD (A.S.T.M. D 698) MARTEAU DE 2.5 kg - CHUTE DE 30.5 cm			ESSAI MODIFIÉ (A.S.T.M. D 1557) MARTEAU DE 4.5 kg - CHUTE DE 45.7 cm		
			Ø cm	VOLUME cm ³		POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE	POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE
A	NO 4	10.2	943,89	1,059 442	2,5 kg	3	25	3,0 kg	3	25	
B	NO 4	15.2	2123,76	0,470 876	6,5 kg	3	36	7,5 kg	3	36	
C	3/4"	10.2	943,89	1,059 442	4,5 kg	3	25	5,5 kg	3	25	
D	3/4"	15.2	2123,76	0,470 876	10,0 kg	3	36	11,5 kg	3	36	

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

EFFORTS DYNAMIQUES (VOIR NORMES A.S.T.M.)

ESSAI STD. MOD. MÉTHODE: _____

% RETENU SUR TAMIS $\frac{19 \text{ mm}}{(3/4")}$ NO 4: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ - VOLUME: _____

POIDS DU MARTEAU: _____ - HAUTEUR DE CHUTE: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____

PRESSIONS STATIQUES (SUivant NORMES)

TYPE D'ESSAI: _____

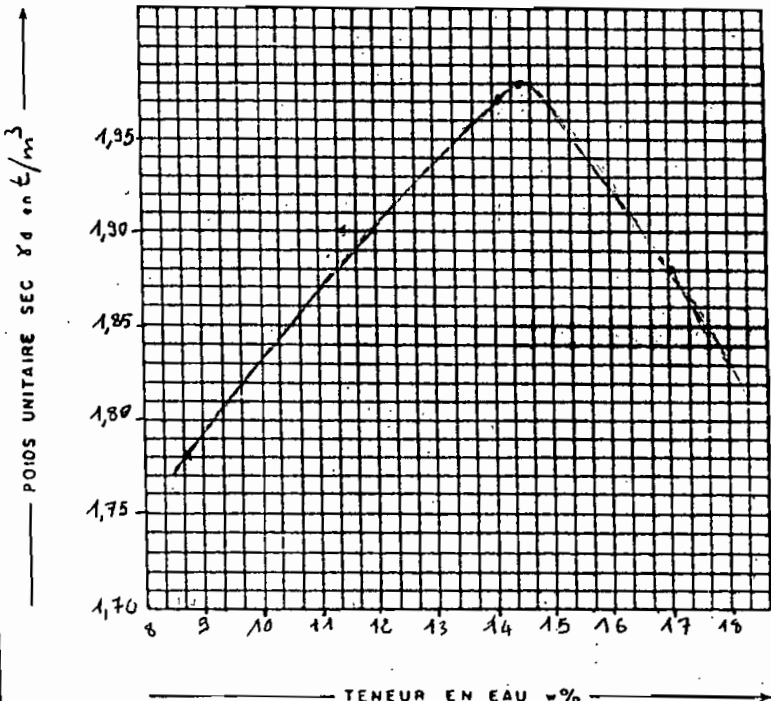
TAMIS DE RÉFÉRENCE: _____ % RETENU: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ VOLUME: _____

PISTON: DIAMÈTRE: _____ PRESSION: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____



RÉSULTATS DE L'ESSAI

γ_d maximum = 1,98 t/m³ - w% optimum = 14,50

POIDS UNITAIRES	ESSAI NO	% approximatif d'eau ajoutée	1	7	2	10	3	13	4	15	5	17	6
	POIDS DU SOL HUMIDE + MOULE	W1 (kg)		9525	9210	10200	10237	10105					
POIDS DU MOULE	TARE (kg)		5515	5515	5515	5515	5515						
POIDS DU SOL HUMIDE	W1 - TARE = WT (kg)		4010	4395	4685	4722	4590						
POIDS UNITAIRE TOTAL	$WT \times \frac{1000}{V}$ γT (t/m³)		1,89	2,07	2,206	2,22	2,16						
POIDS UNITAIRE SEC	$\gamma T / 1.0 + (w\% / 100) \times \gamma d$ (t/m³)		1,72	1,84	1,91	1,92	1,82						
TENEURS EN EAU	$w = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100$		1,78	1,90	1,975	1,98	1,88						
	POIDS DU RÉCIPENT	TARE (g)	244,44	233,85	242,03	246,47	244,65						
	POIDS DU SOL HUMIDE + RÉCIPENT	W1 (g)	927,89	974,81	897,97	889,54	975,56						
	POIDS DU SOL SEC + RÉCIPENT	W2 (g)	868,27	898,48	809,95	804,19	859,70						
	POIDS DE L'EAU	W1 - W2 = Ww (g)	59,62	82,33	88,02	88,35	115,86						
	POIDS DU SOL SEC	W2 - TARE = Ws (g)	623,83	654,63	567,86	554,72	615,05						
TENEUR EN EAU CORRIGÉ	$W = W1 \left(1 - \frac{m}{100}\right)$		8,7	11,45	15,50	16,50	17,14						

école polytechnique de thies

ESSAI DE COMPACTAGE

PROJET: DE FIN D'ETUDE

EMPLACEMENT: _____ ESSAI No: _____

CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU

DESCRIPTION: Graveleux latéritique

PROVENANCE: THIES (Antenne Télévision)

REMARQUES: amélioration 3% ciment

ESSAI PAR: _____ LE: _____ CALCULÉ PAR: _____ LE: _____ VÉRIFIÉ PAR: _____ LE: _____

NORMES A.S.T.M. POUR ESSAI PROCTOR	MÉTHODE	ESSAI SUR MATÉRIAU PASSANT LE TAMIS:	MOULE		$\gamma_T = W_T \times \rho_{1000} / V$	ESSAI STANDARD (A.S.T.M. D 698)			ESSAI MODIFIÉ (A.S.T.M. D 1557)		
			ϕ cm	VOLUME cm ³		POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE	POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE
A	NO 4	10.2	943,89	1,059 442	2,5 kg	3	25	3,0 kg	5	25	
B	NO 4	15.2	2123,76	0,470 876	6,5 kg	3	56	7,5 kg	5	56	
C	3/4"	10.2	943,89	1,059 442	4,5 kg	3	25	5,5 kg	5	25	
D	3/4"	15.2	2123,76	0,470 876	10,0 kg	3	56	11,5 kg	5	56	

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

ESSAI STD. MOD. MÉTHODE: _____

% RETENU SUR TAMIS ^{19 mm} (3/4") NO 4: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ - VOLUME: _____

POIDS DU MARTEAU: _____ - HAUTEUR DE CHUTE: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____

TYPE D'ESSAI: _____

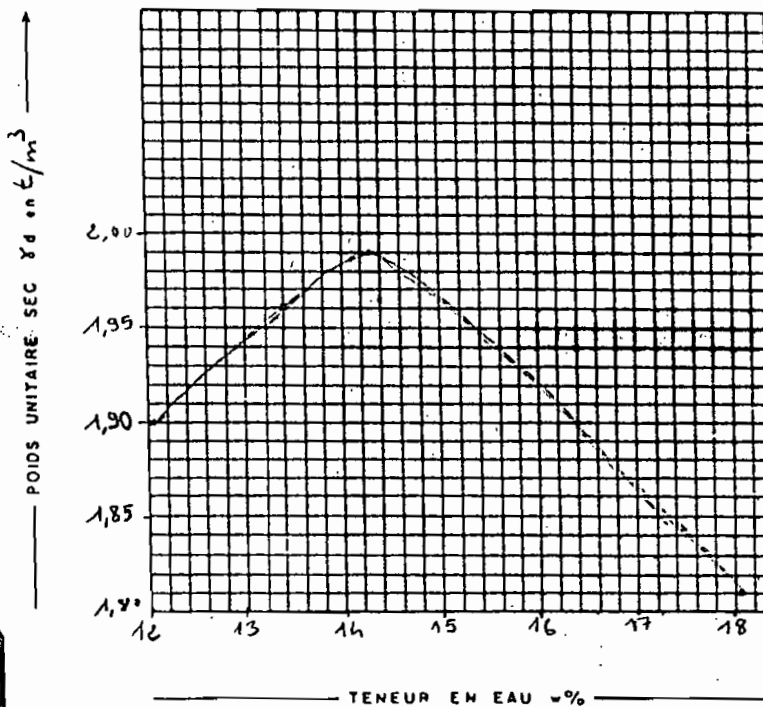
TAMIS DE RÉFÉRENCE: _____ % RETENU: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ VOLUME: _____

PISTON: DIAMÈTRE: _____ PRESSION: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____



RÉSULTATS DE L'ESSAI

γ_d maximum = 1,99 t/m³ - w% optimum = 14,50

POIDS UNITAIRES	ESSAI NO	% approximatif d'eau ajoutée	1	10	2	12	3	14	4	13,3	5	18°	6
		POIDS DU SOL HUMIDE + MOULE	W1 (kg)	9960	10150	10230	10238	10128					
	POIDS DU MOULE	TARE (kg)	5515	5515	5515	5515	5515						
	POIDS DU SOL HUMIDE	W1 - TARE = WT (kg)	4425	4635	4715	4783	4613						
	POIDS UNITAIRE TOTAL	$WT \times (\frac{1000}{V}) = \gamma_T$ (t/m ³)	2,04	2,18	2,22	2,25	2,17						
	POIDS UNITAIRE SEC	$\gamma_T / 1.0 + (w\% / 100) = \gamma_d$ (t/m ³)	1,84	1,90	1,91	1,94	1,81						
TENEURS EN EAU		$\gamma_d = \gamma_T \times \frac{1}{1 + \frac{w}{100}(\gamma_T - 1)}$	1,90	1,96	1,965	1,99	1,87						
		POIDS DU RÉCIPENT	TARE (g)	244,44	233,85	242,09	246,47	244,65					
		POIDS DU SOL HUMIDE + RÉCIPENT	W1 (g)	918,72	978,17	971,72	983,84	985,32					
		POIDS DU SOL SEC + RÉCIPENT	W2 (g)	835,73	882,41	870,79	882,44	865,06					
		POIDS DE L'EAU	W1 - W2 = Ww (g)	78,93	95,76	100,93	101,4	123,26					
		POIDS DU SOL SEC	W2 - TARE = Ws (g)	595,35	648,56	628,7	635,97	620,41					
	TENEUR EN EAU	$(Ww / Ws) \times 100 = w\%$	13,26	14,76	16,05	15,94	19,86						
		DE PLOMB	12,07	13,43	14,60	14,50	18,07						

école polytechnique de thies

ESSAI DE COMPACTAGE

PROJET: DE FIN D'ETUDE

EMPLACEMENT: _____ ESSAI No: _____

CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU: DESCRIPTION: Graveleux latéritique
 PROVENANCE: THIES (Antenne Télévision)
 REMARQUES: amélioration 4% de ciment

ESSAI PAR: _____ LE: _____ CALCULÉ PAR: _____ LE: _____ VÉRIFIÉ PAR: _____ LE: _____

NORMES A.S.T.M. POUR ESSAI PROCTOR	MÉTHODE	ESSAI SUR MATÉRIAU PASSANT LE TAMIS:	MOULE			ESSAI STANDARD (A.S.T.M. D 698)			ESSAI MODIFIÉ (A.S.T.M. D 1557)		
			Ø	VOLUME	γ _T = WT x por. / 1000	MARTEAU DE 2.5 kg - CHUTE DE 30.5 cm			MARTEAU DE 4.5 kg - CHUTE DE 45.7 cm		
						POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE	POIDS MINIMUM DE MATÉRIAU	NOMBRE DE COUCHES	NB DE COUPS PAR COUCHE
A	NO 4	10.2	943,89	1,059 442	2,5 kg	3	25	3,0 kg	5	25	
B	NO 4	15.2	2123,76	0,470 876	6,5 kg	3	56	7,5 kg	5	56	
C	3/4"	10.2	943,89	1,059 442	4,5 kg	3	25	5,5 kg	3	25	
D	3/4"	15.2	2123,76	0,470 876	10,0 kg	3	56	11,5 kg	3	56	

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

ESSAI STD. MOD. MÉTHODE: _____

% RETENU SUR TAMIS 19 mm (3/4") NO 4: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ VOLUME: _____

POIDS DU MARTEAU: _____ HAUTEUR DE CHUTE: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____

TYPE D'ESSAI: _____

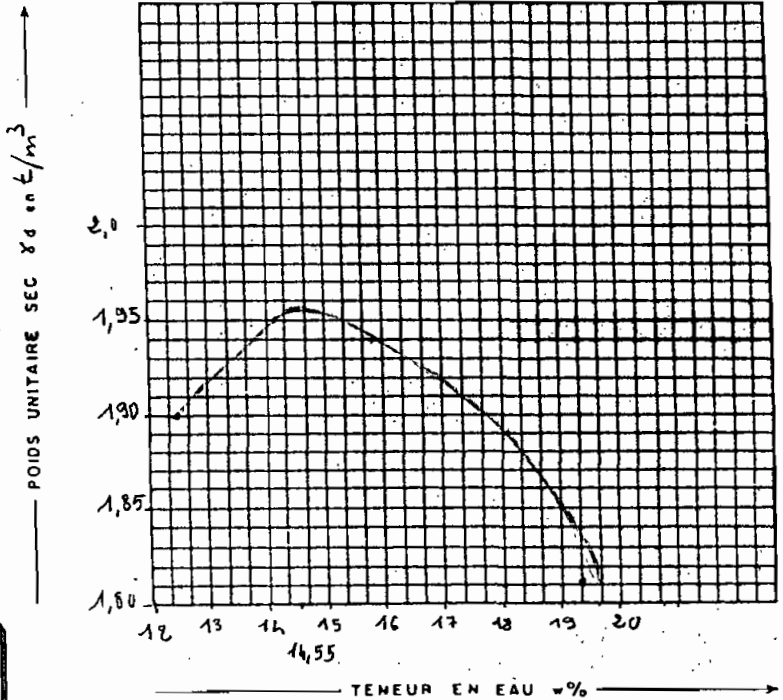
TAMIS DE RÉFÉRENCE: _____ % RETENU: _____

MOULE: DIAMÈTRE: _____ VOLUME: _____

PISTON: DIAMÈTRE: _____ PRESSION: _____

NB DE COUCHES: _____ NB DE COUPS / COUCHE: _____

OBSERVATIONS: _____

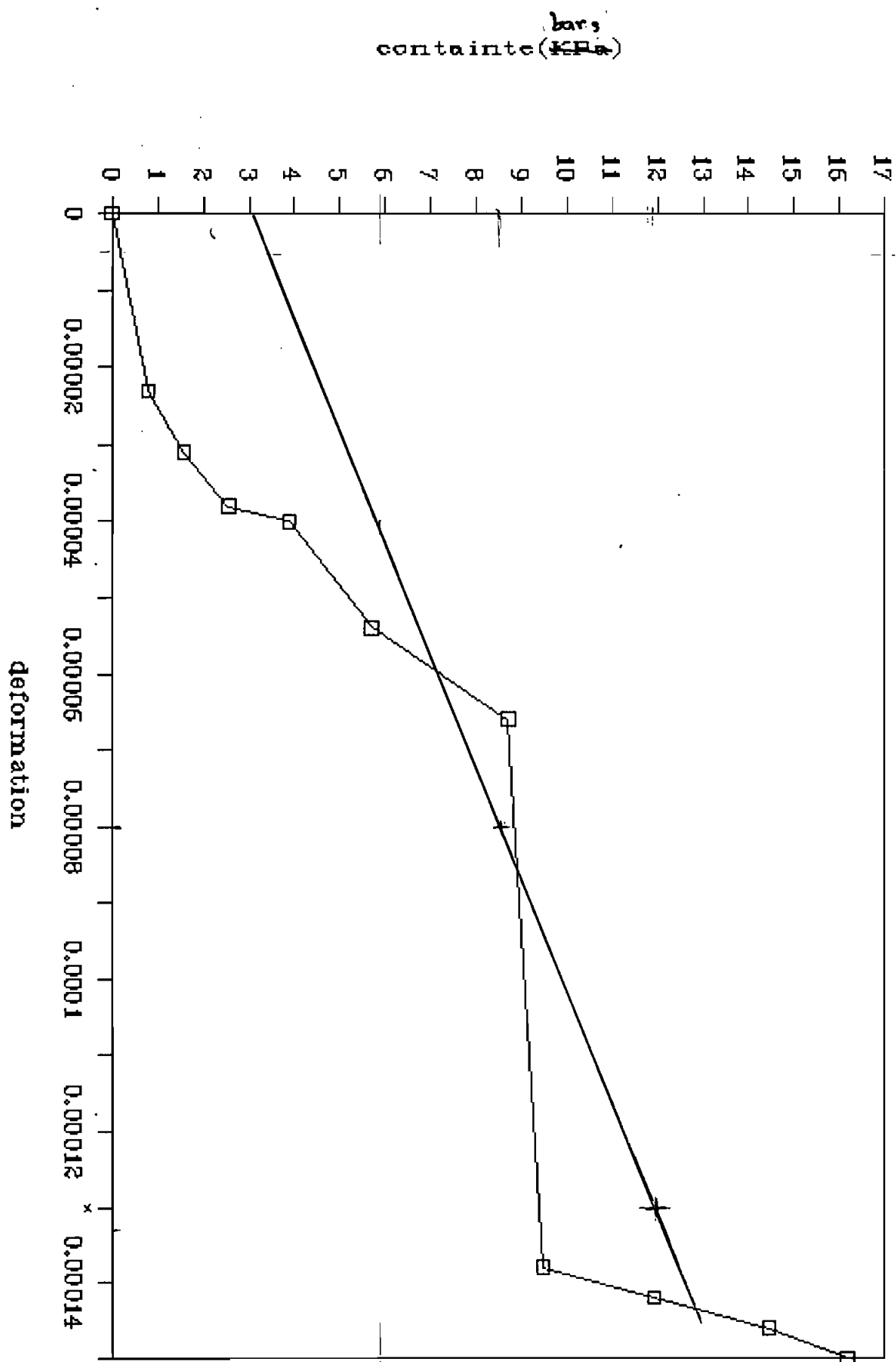


RÉSULTATS DE L'ESSAI

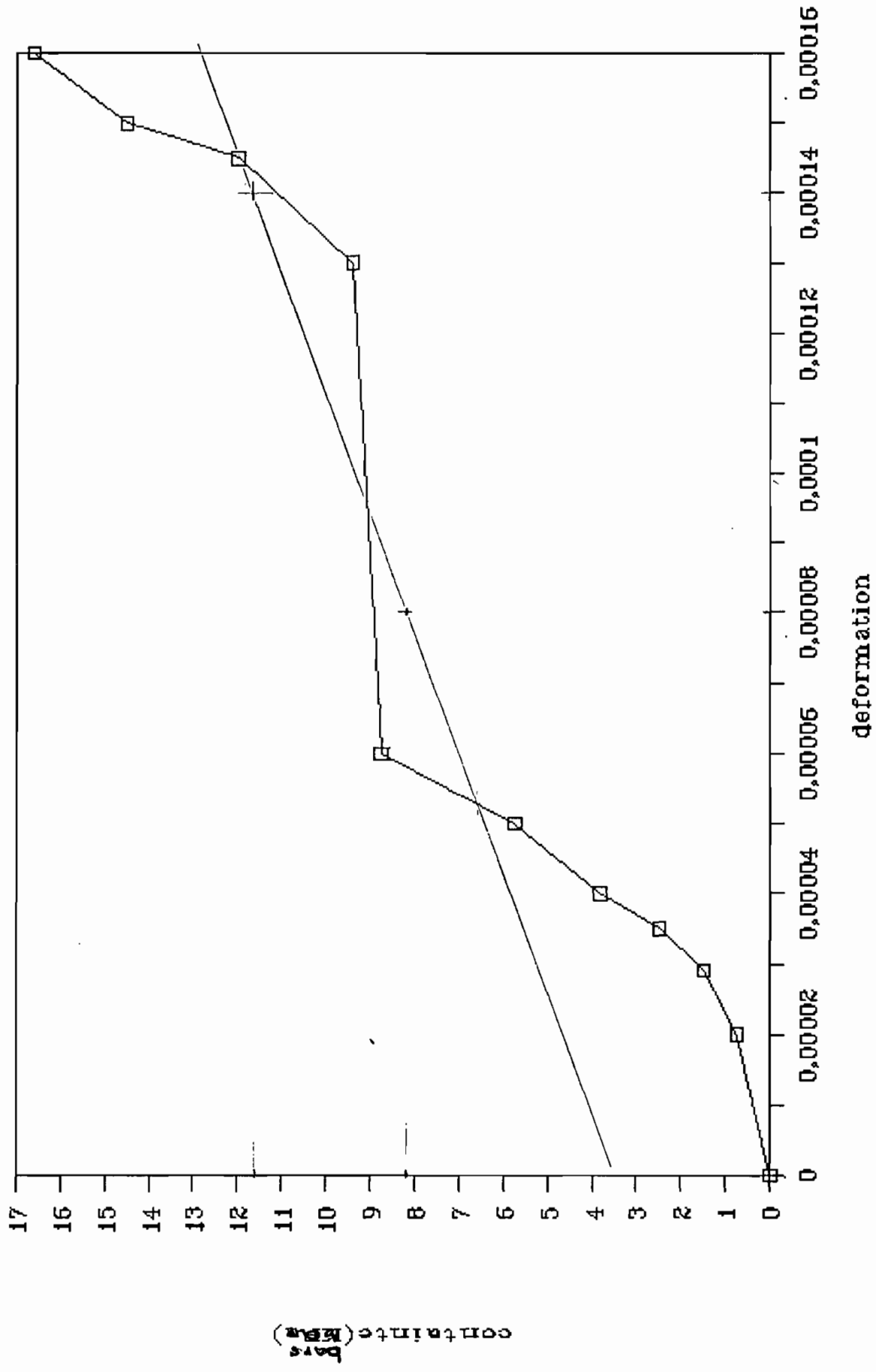
γ_d maximum = 1,957 t/m³ - w% optimum = 14,55

POIDS UNITAIRES	ESSAI NO	% approximatif d'eau ajoutée	1	10	2	13	3	15	4	17	5	19	6
		POIDS DU SOL HUMIDE + MOULE	W1 (kg)	9955	10160	10204	10154	10011					
	POIDS DU MOULE	TARE (kg)	5515	5515	5515	5515	5515						
	POIDS DU SOL HUMIDE	W1 - TARE + WT (kg)	4440	4645	4689	4639	4496						
	POIDS UNITAIRE TOTAL	WT x (1000/V) γ _T (t/m³)	2,09	2,19	2,21	2,18	2,12						
	POIDS UNITAIRE SEC	γ _T / (1.0 + (w%/100)) γ _d (t/m³)	1,84	1,89	1,88	1,82	1,75						
TENEURS EN EAU		γ _d = γ _T x 1000 / (1 + w%)	1,90	1,95	1,94	1,89	1,81						
		POIDS DU RÉCIPENT	TARE (g)	244,44	233,85	242,09	246,47	244,65					
		POIDS DU SOL HUMIDE + RÉCIPENT	W1 (g)	956,66	973,39	931,38	960,00	961,80					
		POIDS DU SOL SEC + RÉCIPENT	W2 (g)	870,74	873,96	829,10	841,58	836,14					
		POIDS DE L'EAU	W1 - W2 + Ww (g)	85,92	99,43	102,18	118,42	125,66					
		POIDS DU SOL SEC	W2 - TARE + Ws (g)	626,3	640,11	587,01	595,11	591,49					
	Teneur en Eau	(Ww/Ws) x 100 = w %	13,72	15,53	17,41	19,90	21,24						
		w	12,48	14,13	15,84	18,11	19,33						

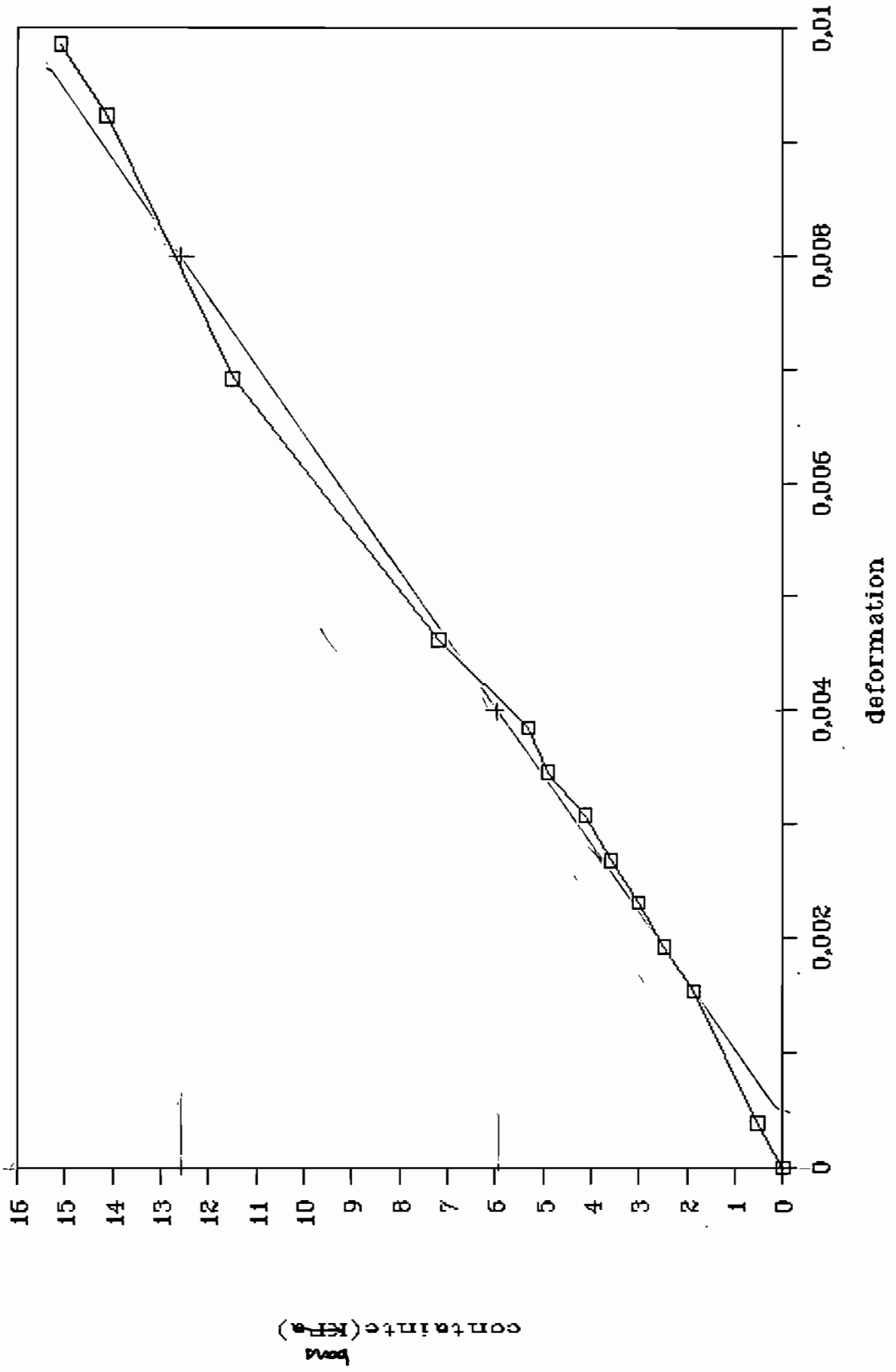
0% immediat 1



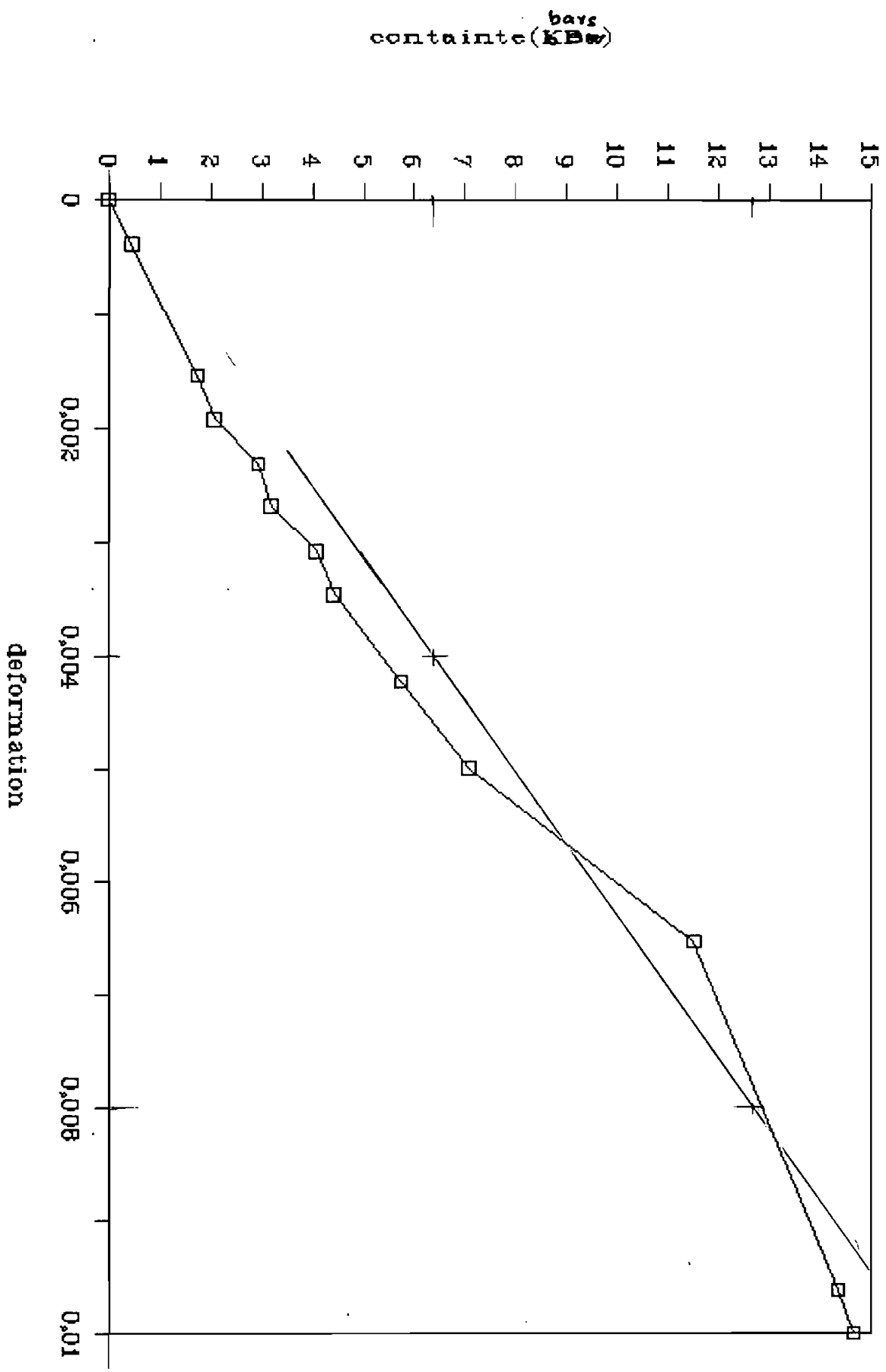
0% immediat 2



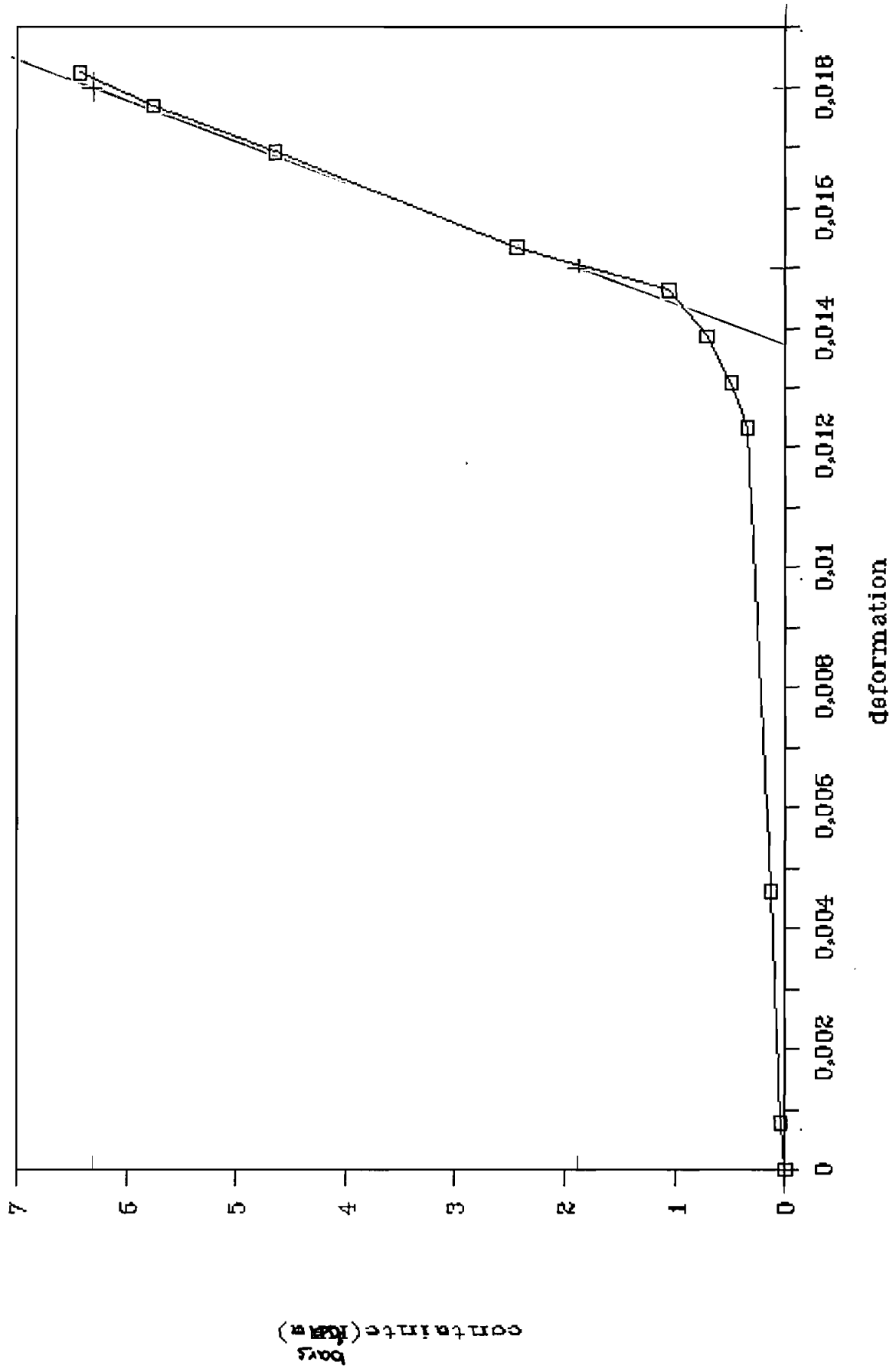
1% immediat 1



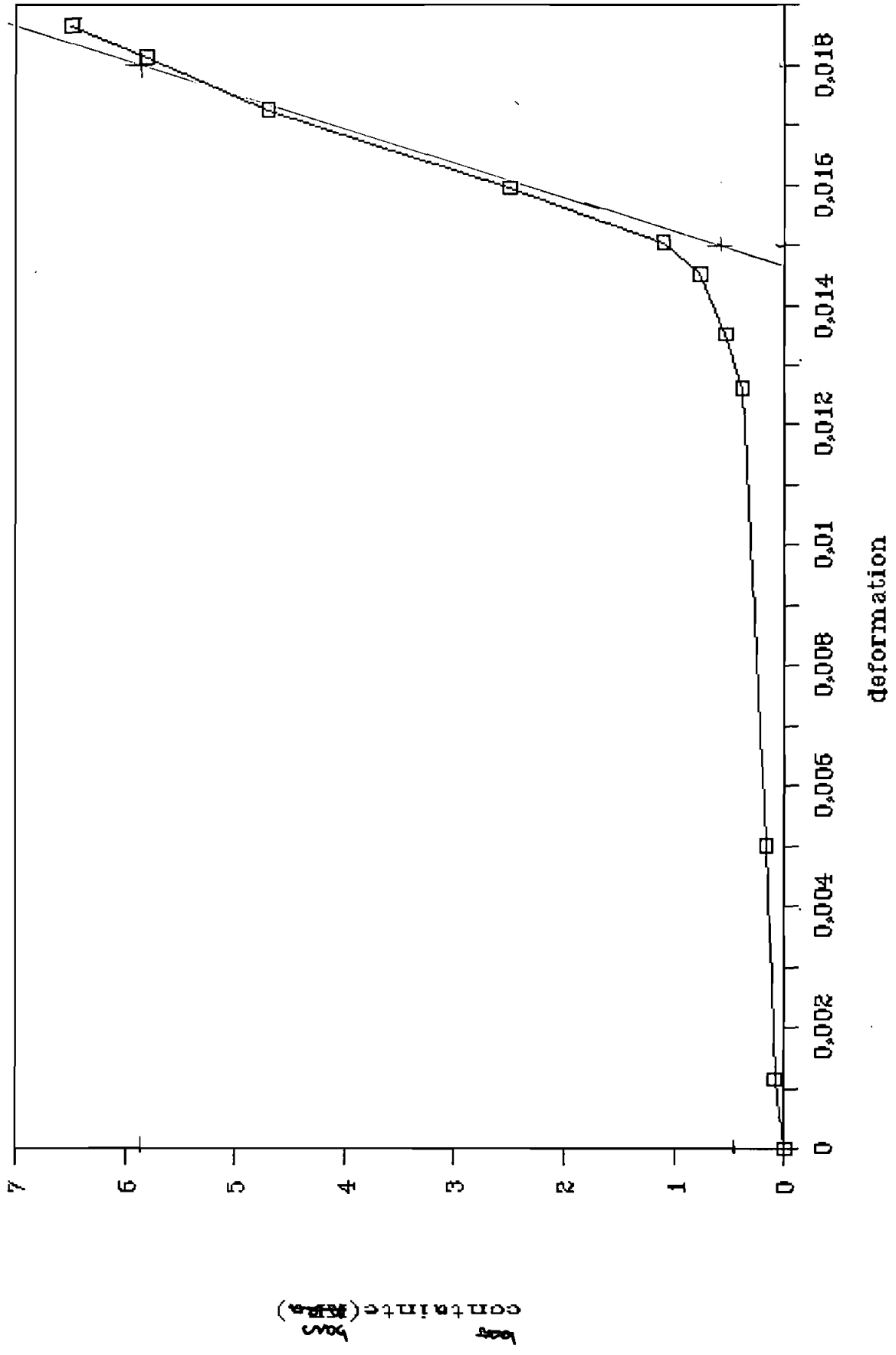
1% immediat 2



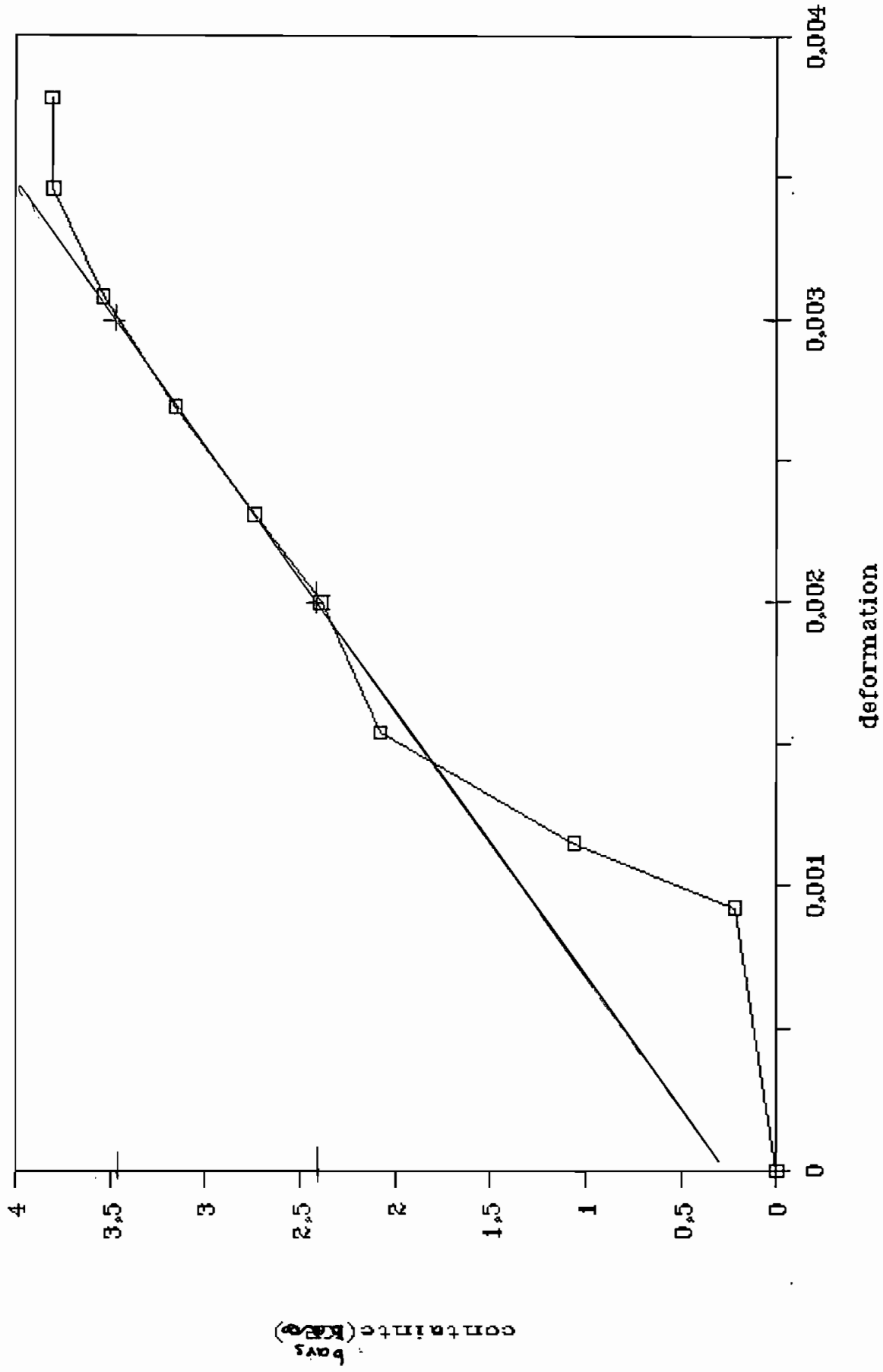
2% immediat 1



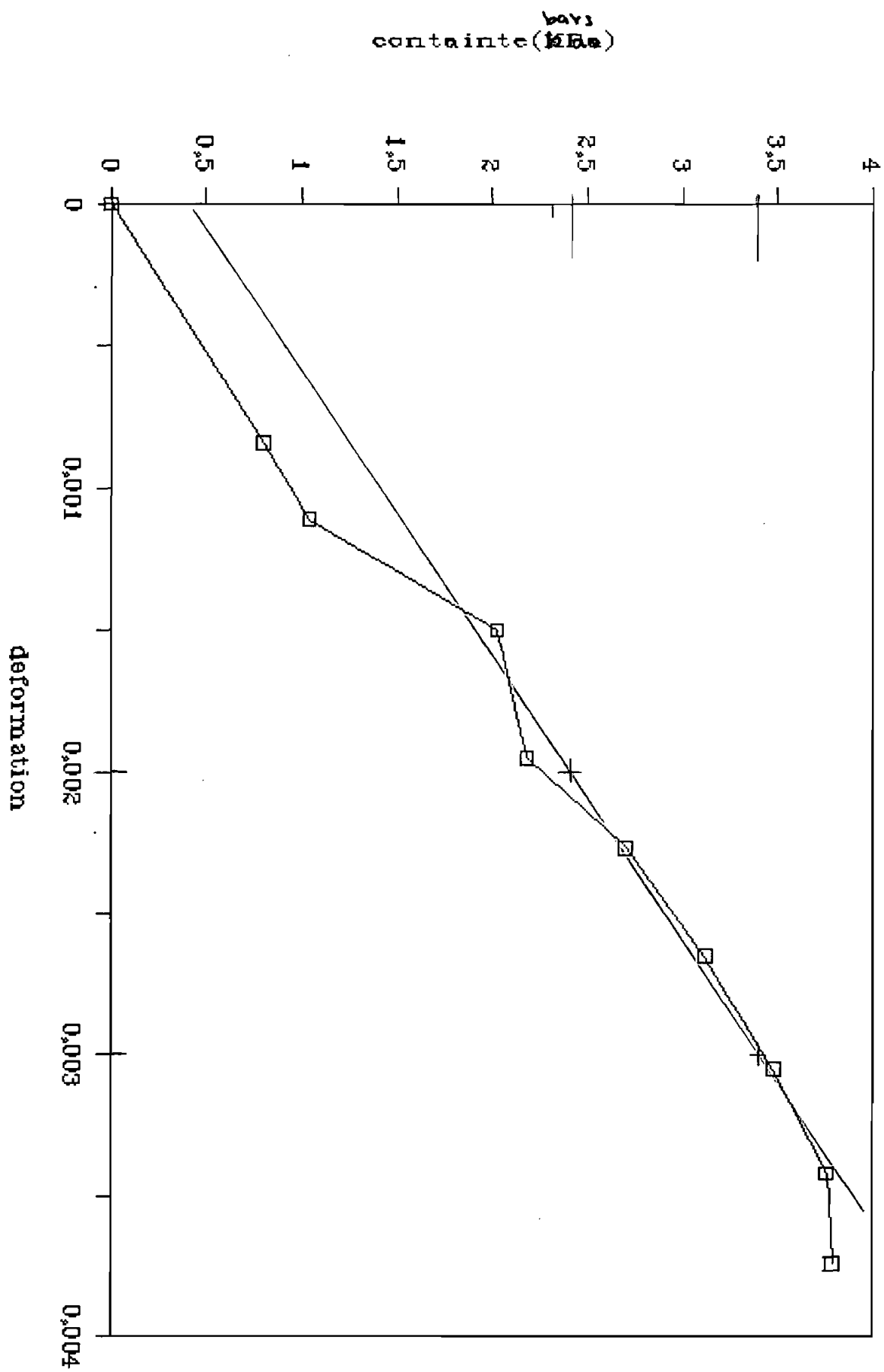
2% immediat 2



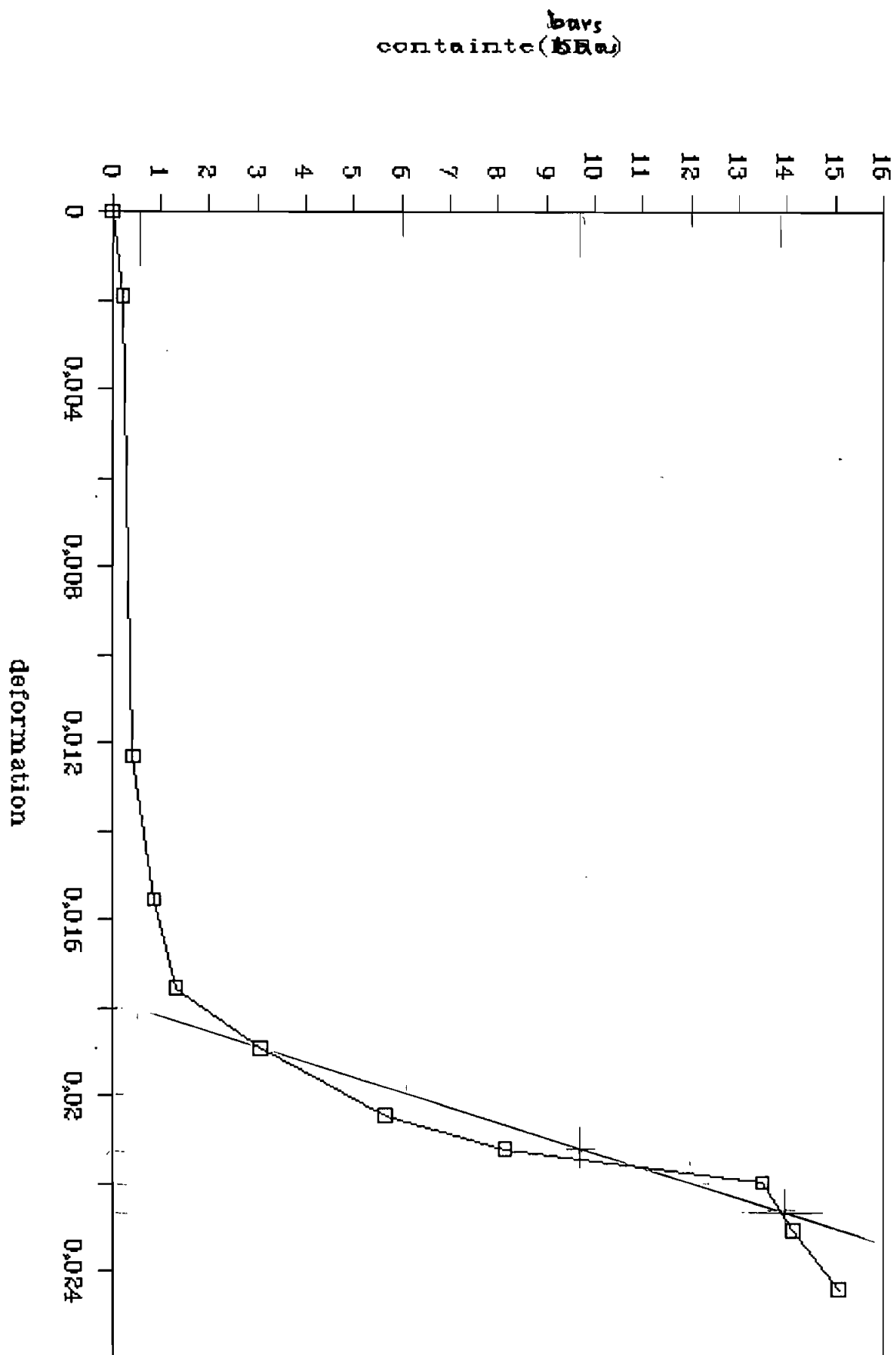
3% immediat 1



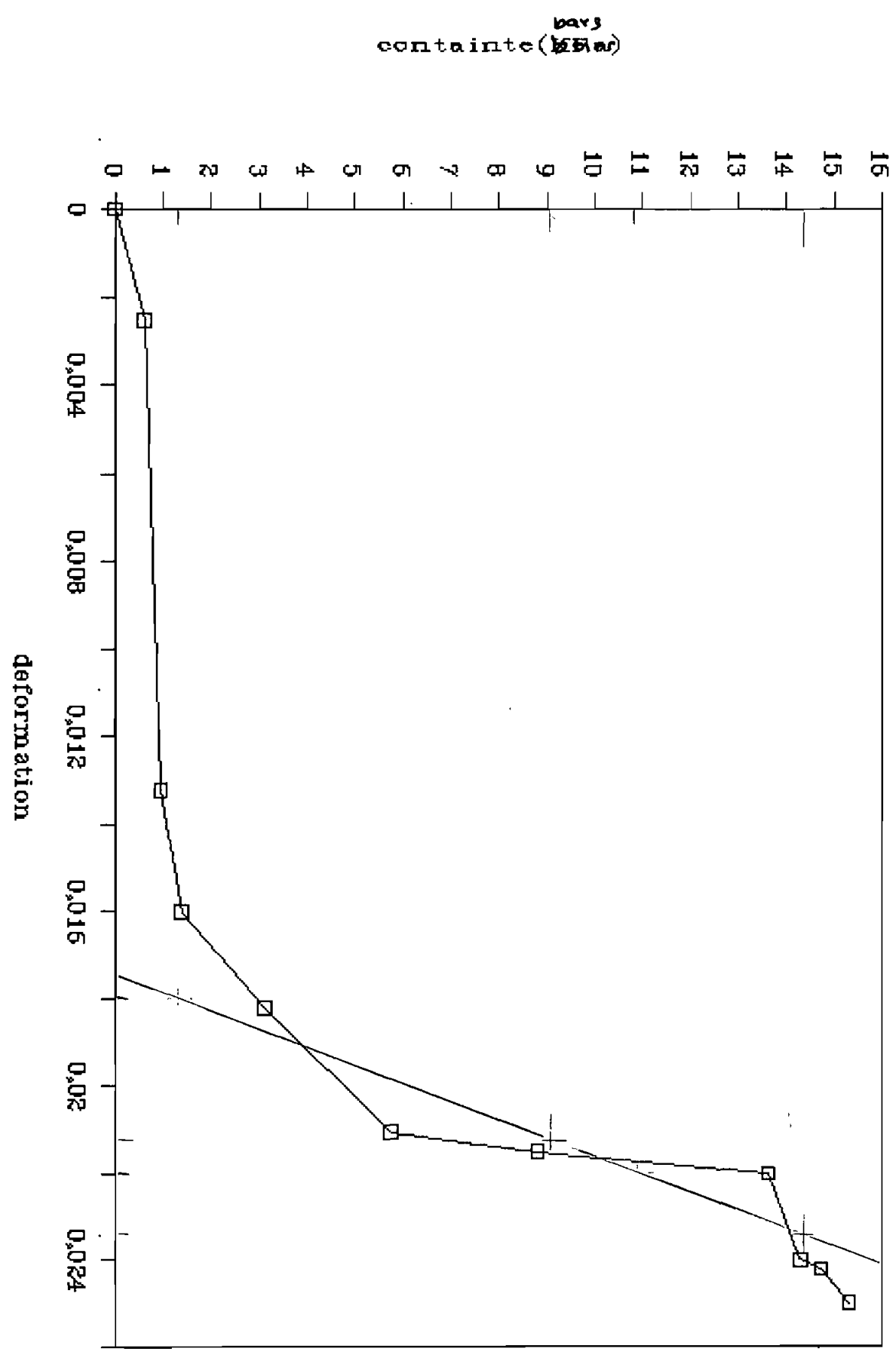
3% immediat 2



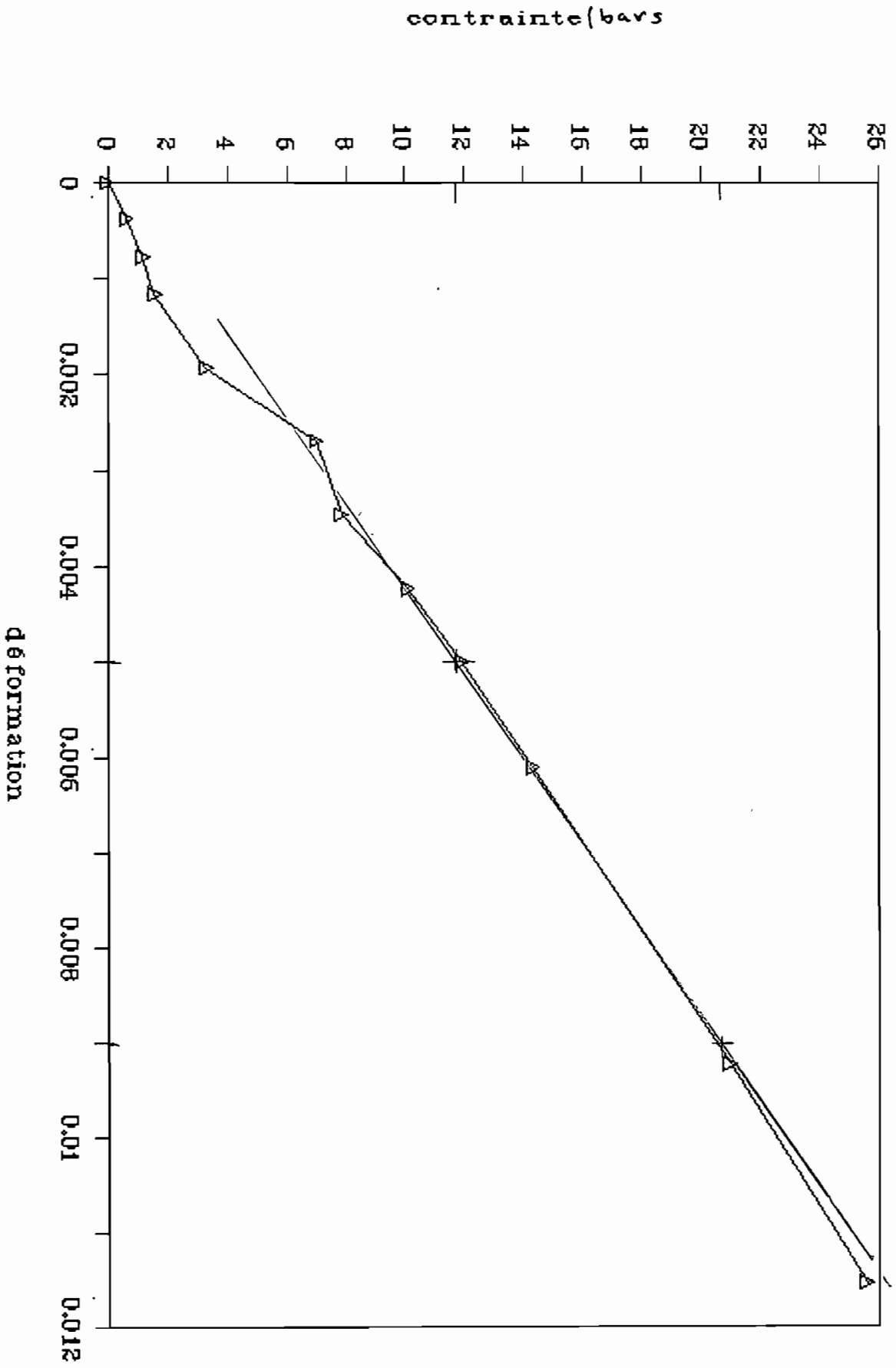
4% immédiat 1



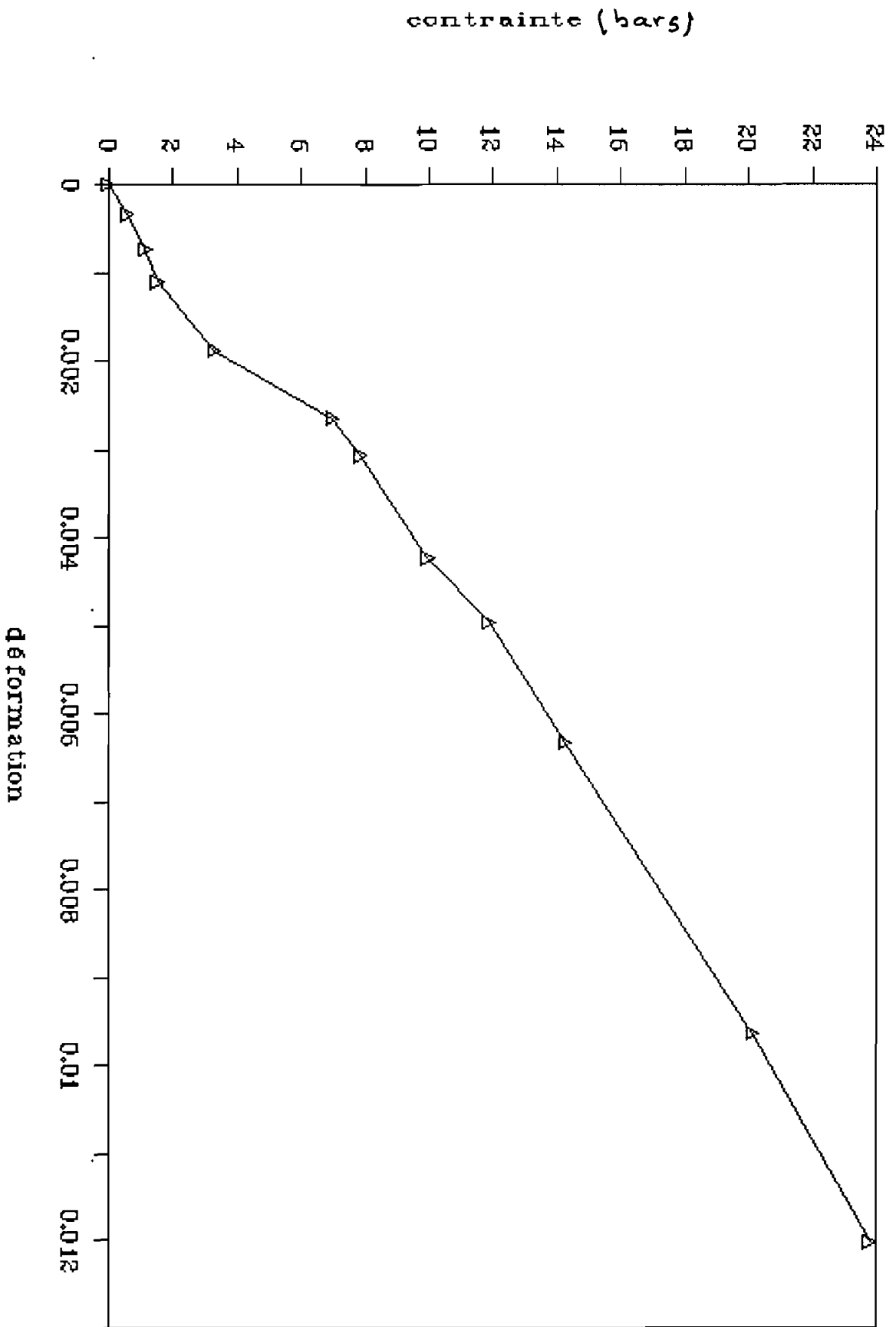
4% immediat 2



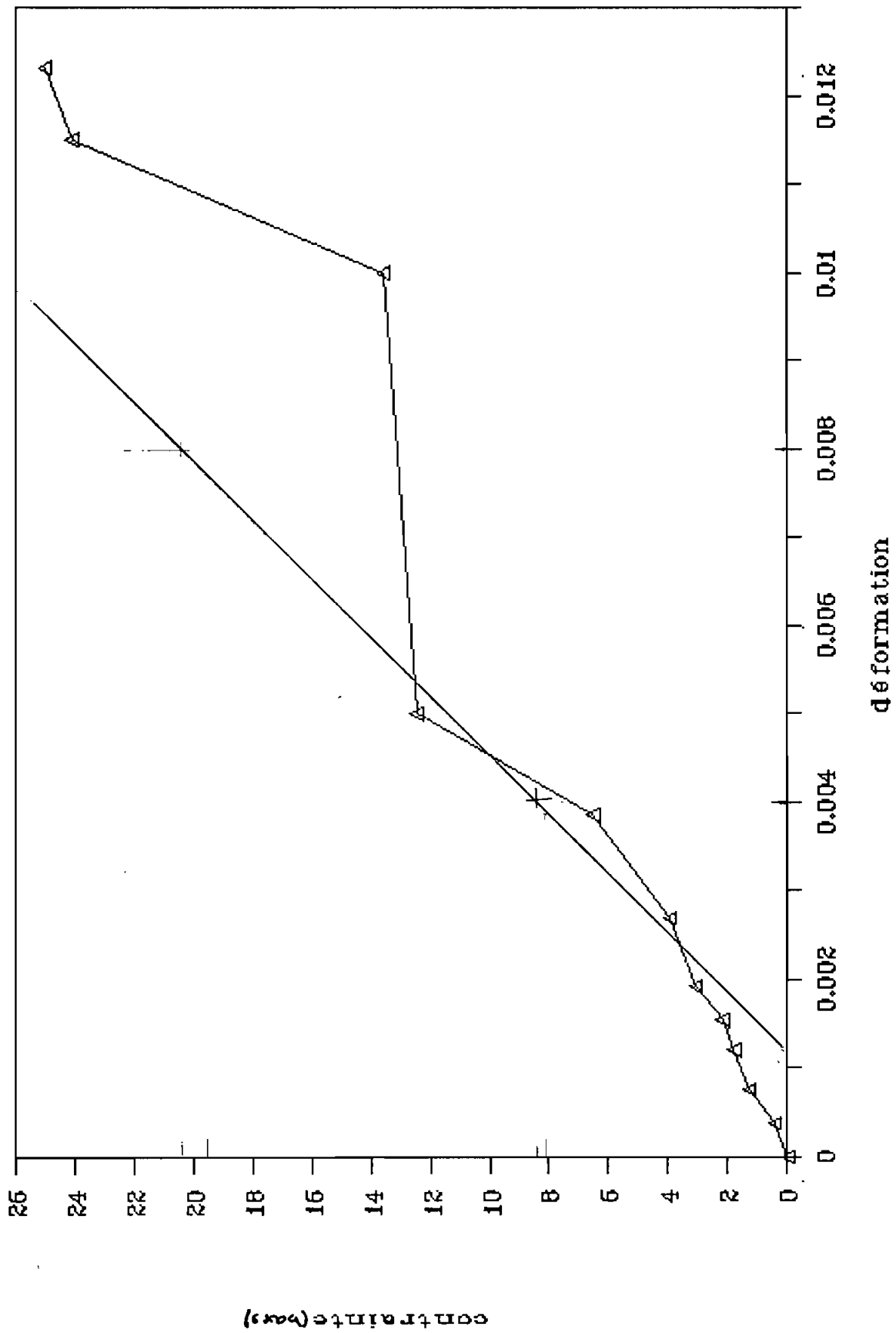
0% 2 jours à l'air 1



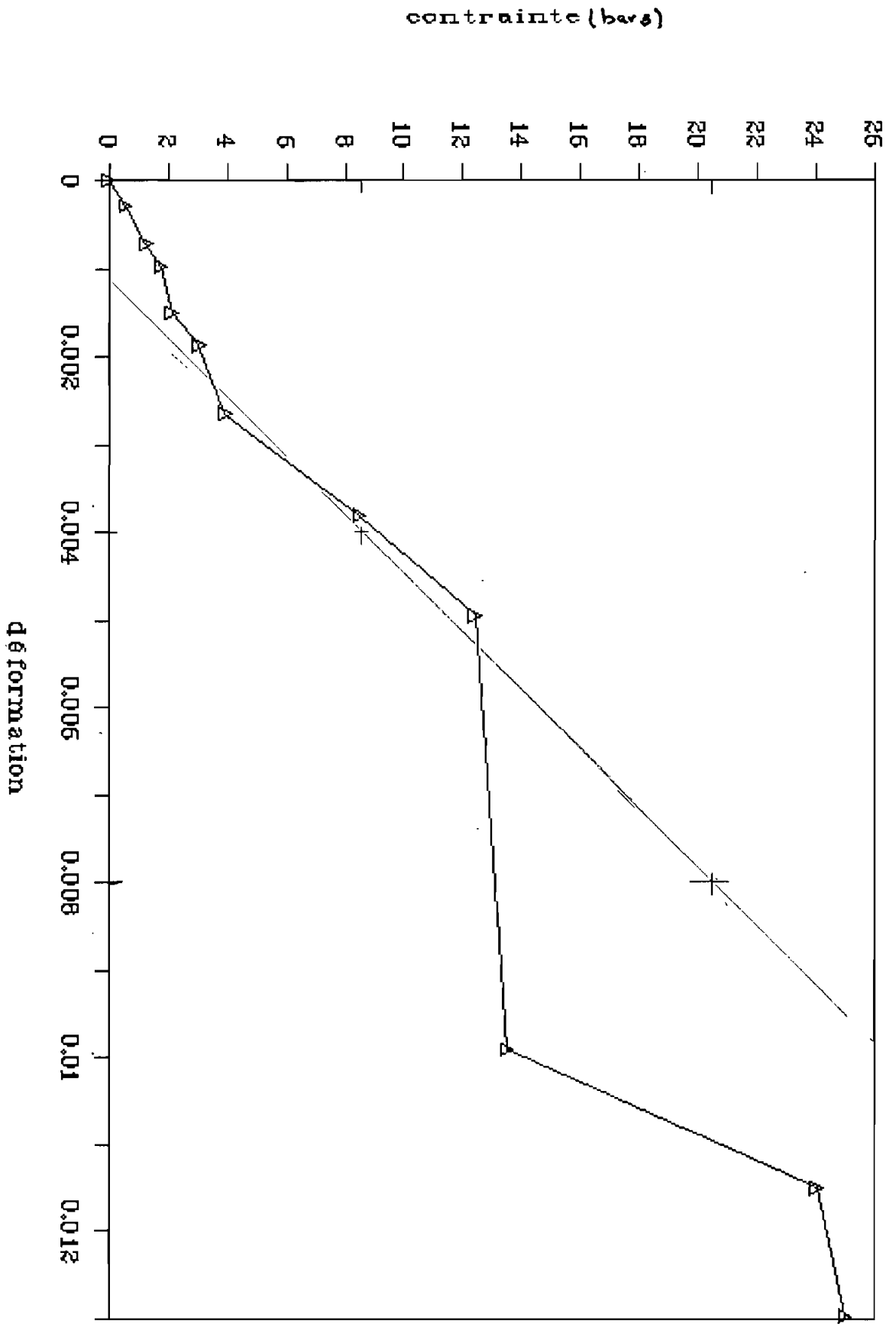
0% 2jours à l'air 2



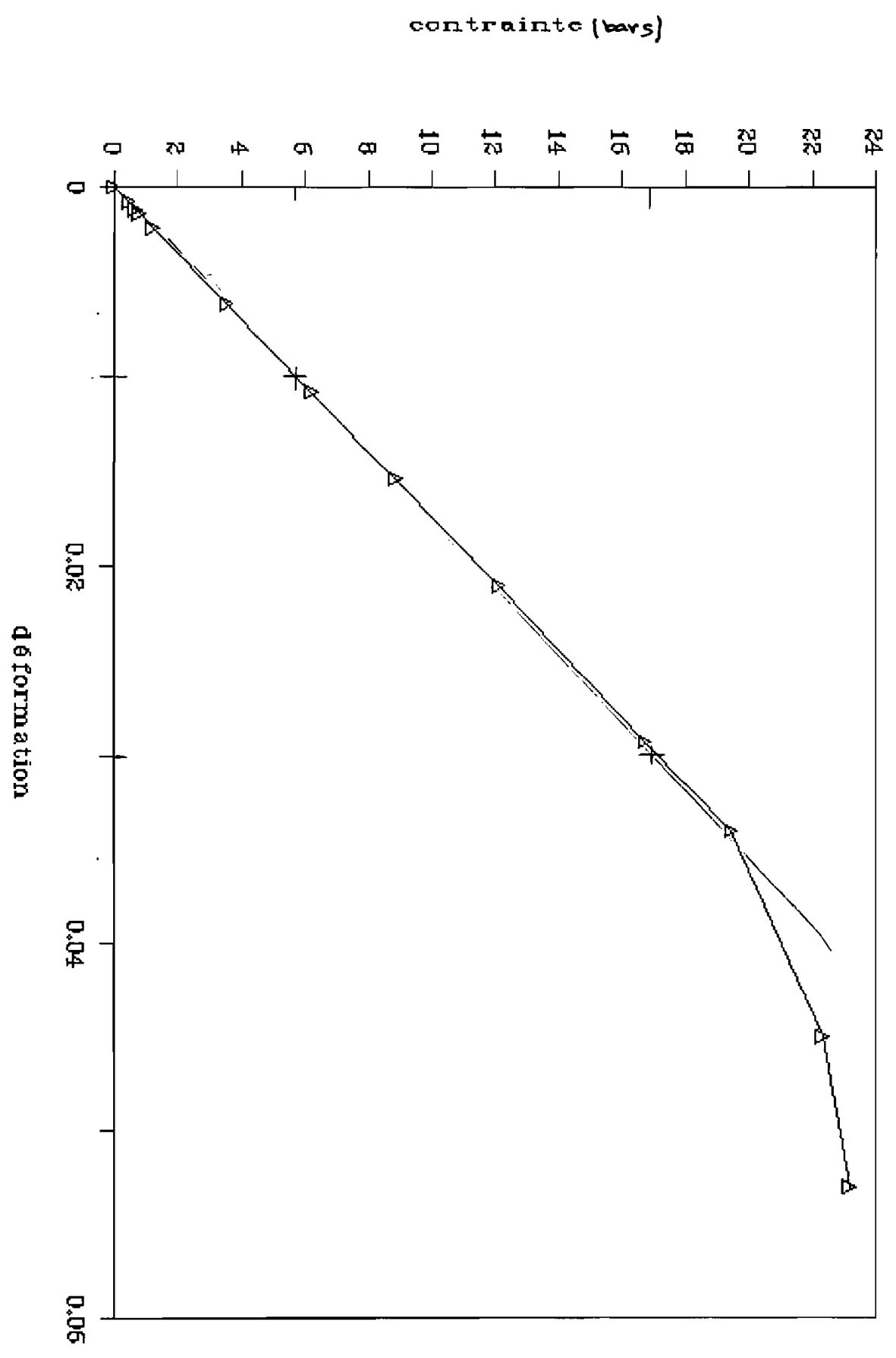
1% 2 jours à l'air 1



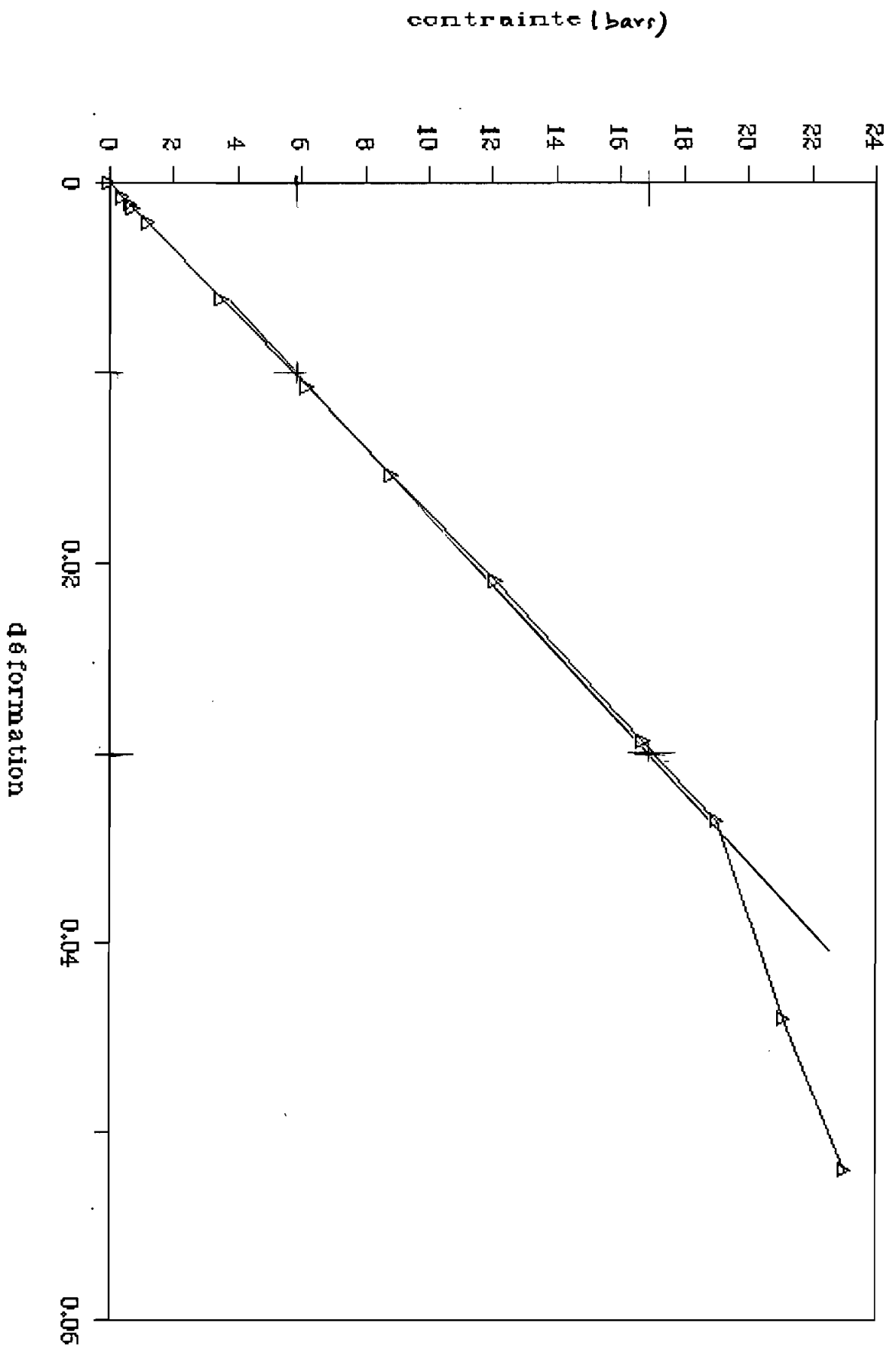
1% 2 jours à l'air 2



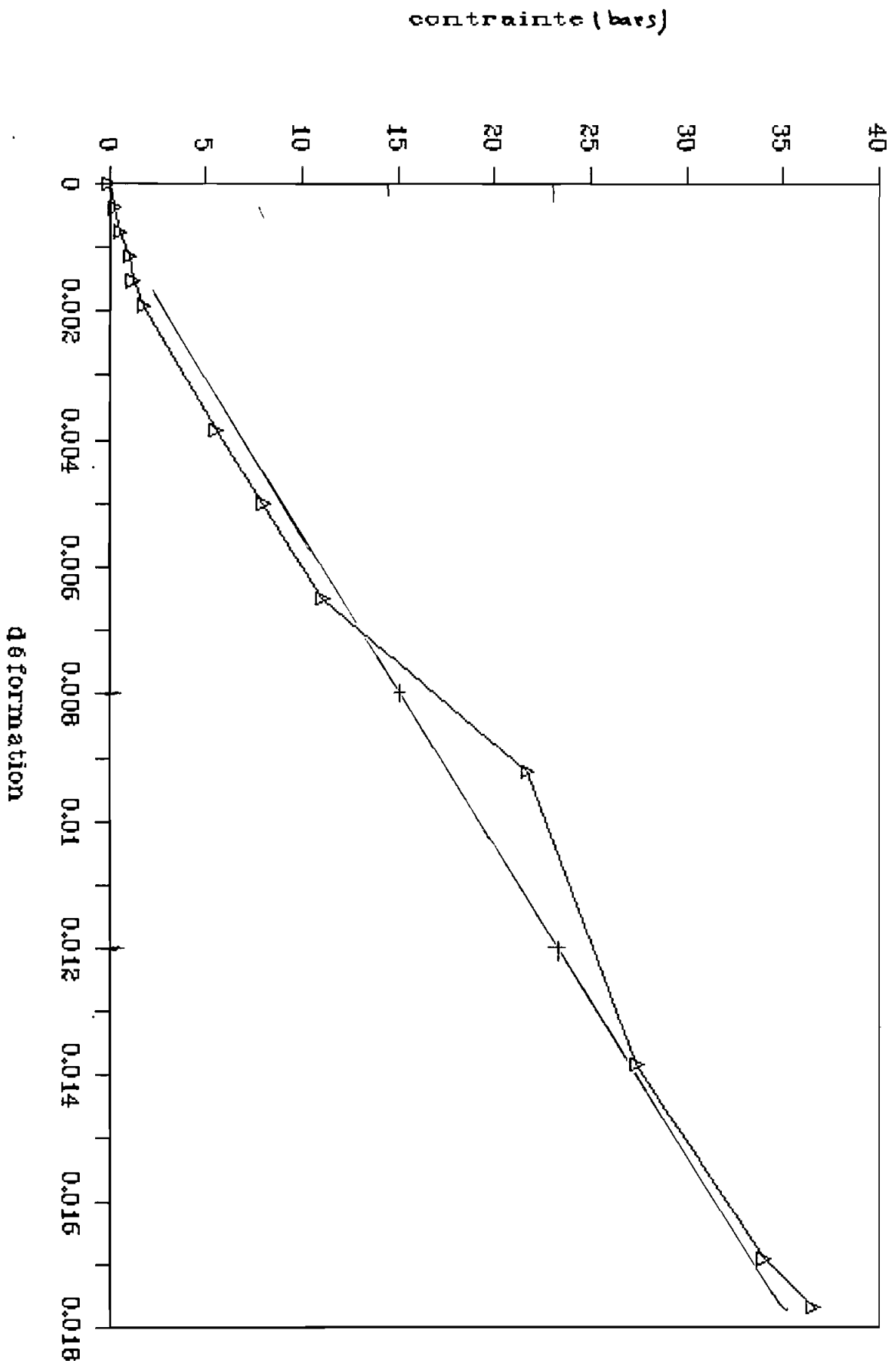
2% 2 jours à l'air 1



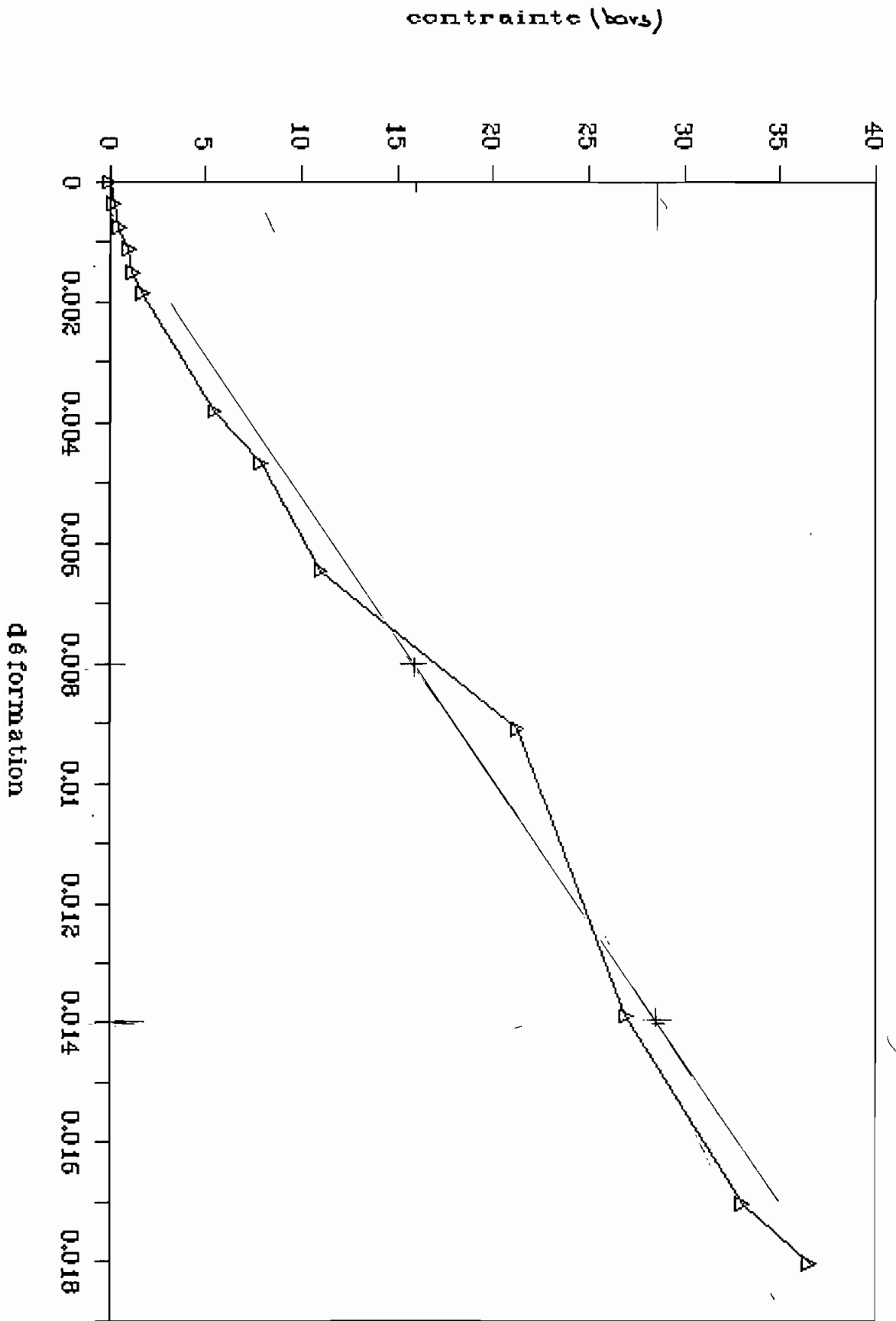
2% 2 jours à l'air 2



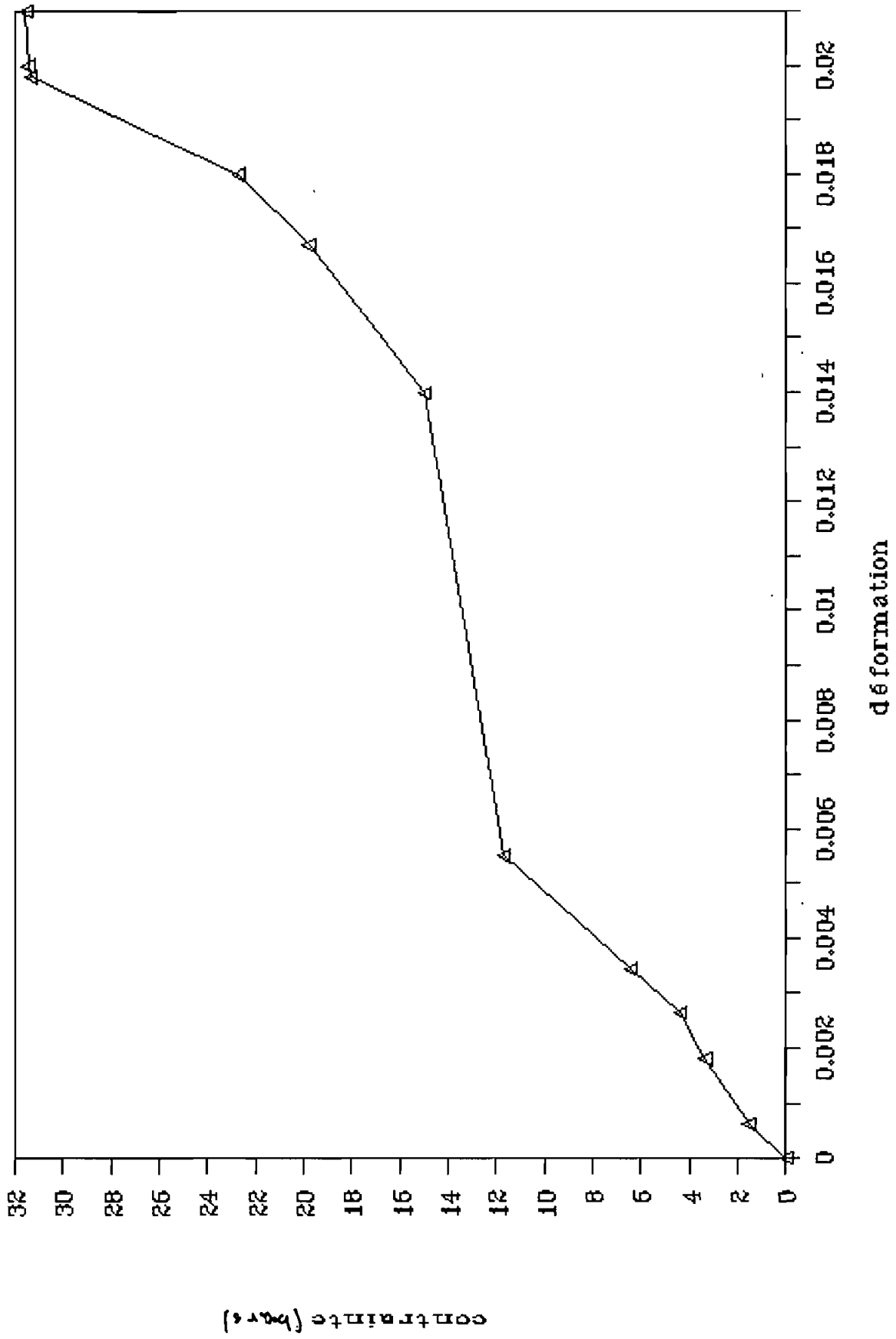
3% 2 jours à l'air 1



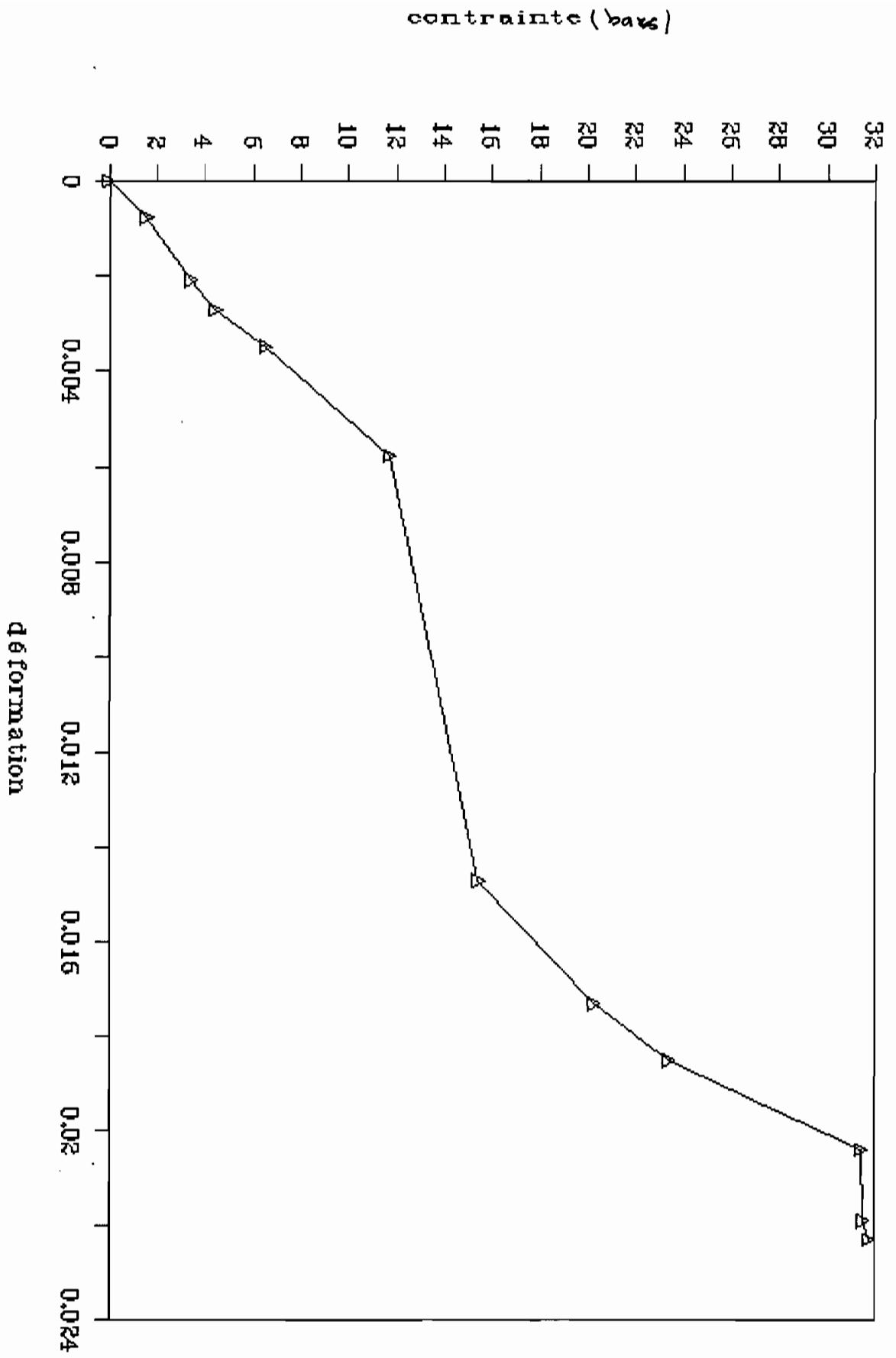
3% 2 jours à l'air 2



4% 2 jours à l'air 1



4% 2 jours à l'air 2



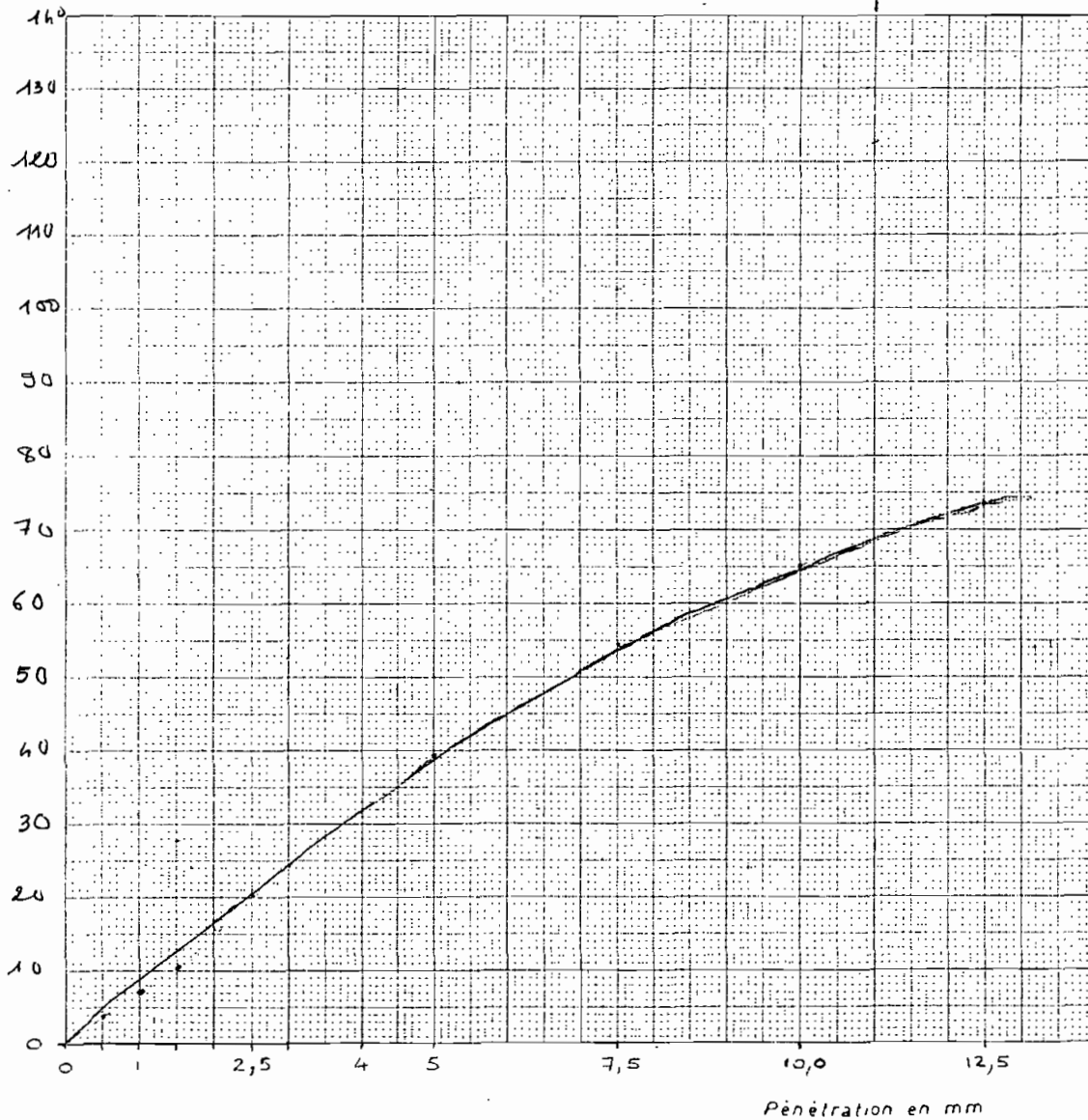
école polytechnique de thies

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

N° de l'essai : 025 - 025

Pression sur le piston en kg/cm²



courbes contrainte - pénétration

P. B. Avril 85

PROJET : Fin d'études
 LOCALISATION : Thies (Télévision)
 SONDRAGE : ECHANTILLON no.
 DESCRIPTION : Gravelon latéritique
 CALCULÉ PAR : I.SALL LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE :
 % retenu sur tamis :
 Nombre de coups par couche :
 Remarques :

ESSAI no. (descr.: 0% immédiat)
 W% finole = %; $\gamma_s = t/m^3$
 P(2,5) = 20,03 kgf/cm²; CBR = 28,6
 P(5) = 39,26 kgf/cm²; CBR = 37,4 37,4

ESSAI no. (descr.:)
 W% finole = %; $\gamma_s = t/m^3$
 P(2,5) = kgf/cm²; CBR =
 P(5) = kgf/cm²; CBR =

ESSAI no. (descr.:)
 W% finole = %; $\gamma_s = t/m^3$
 P(2,5) = kgf/cm²; CBR =
 P(5) = kgf/cm²; CBR =

(* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques :

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

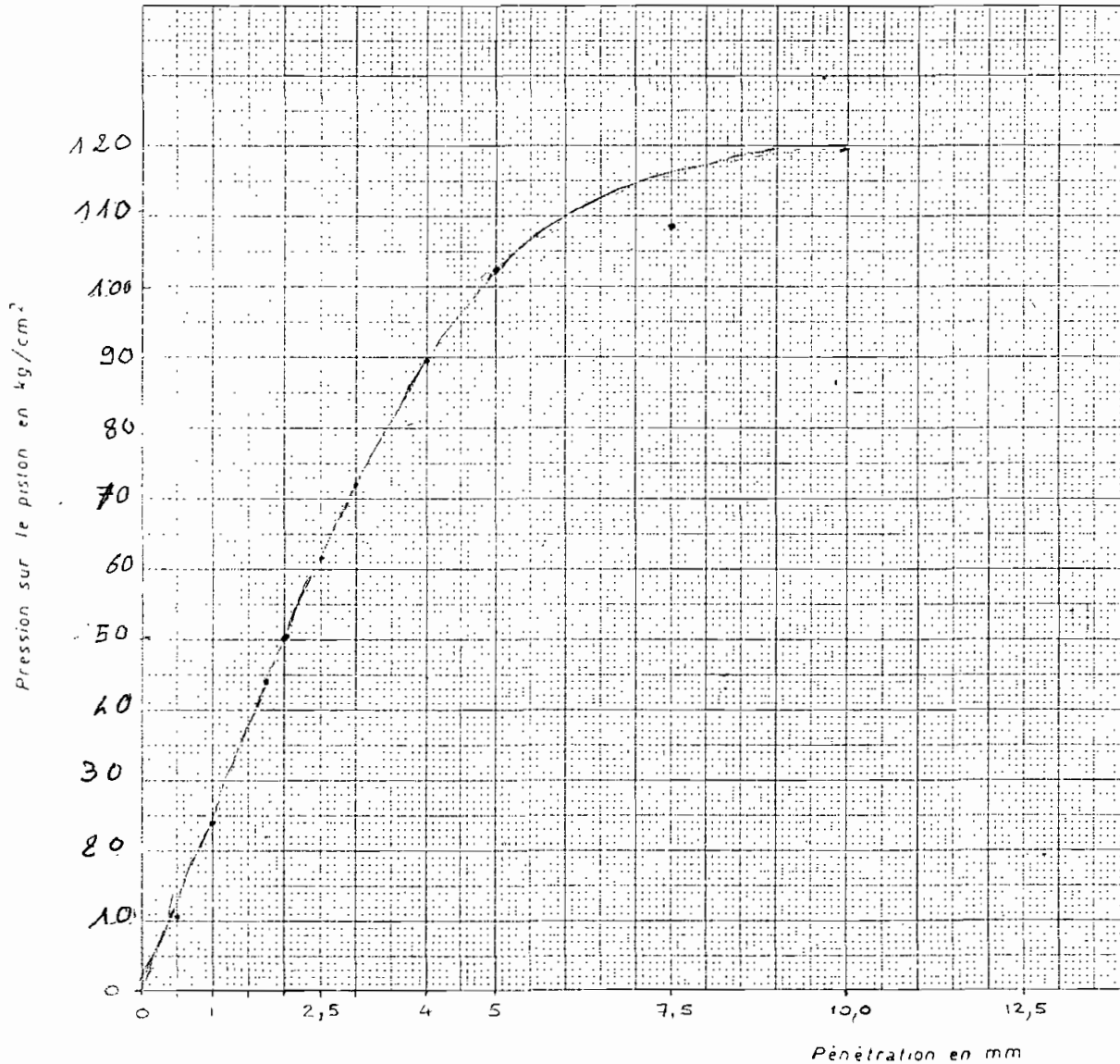
$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »



courbes contrainte - pénétration

PROJET :	
LOCALISATION :	
SONDAGE :	ECHANTILLON no.
DESCRIPTION :	
CALCULÉ PAR :	LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE : _____
 % retenu sur tamis = _____
 Nombre de coups par couche = _____
 Remarques : _____

ESSAI no. _____ (descr.: 1° immédiat)
 W% finale = _____ % ; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = 41,9 kgf/cm² ; CBR = 88,4
 P(5) = 102,5 kgf/cm² ; CBR = 97,6 97,6

ESSAI no. _____ (descr.: _____)
 W% finale = _____ % ; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____
 P(5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____

ESSAI no. _____ (descr.: _____)
 W% finale = _____ % ; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____
 P(5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____
 (* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques : _____

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

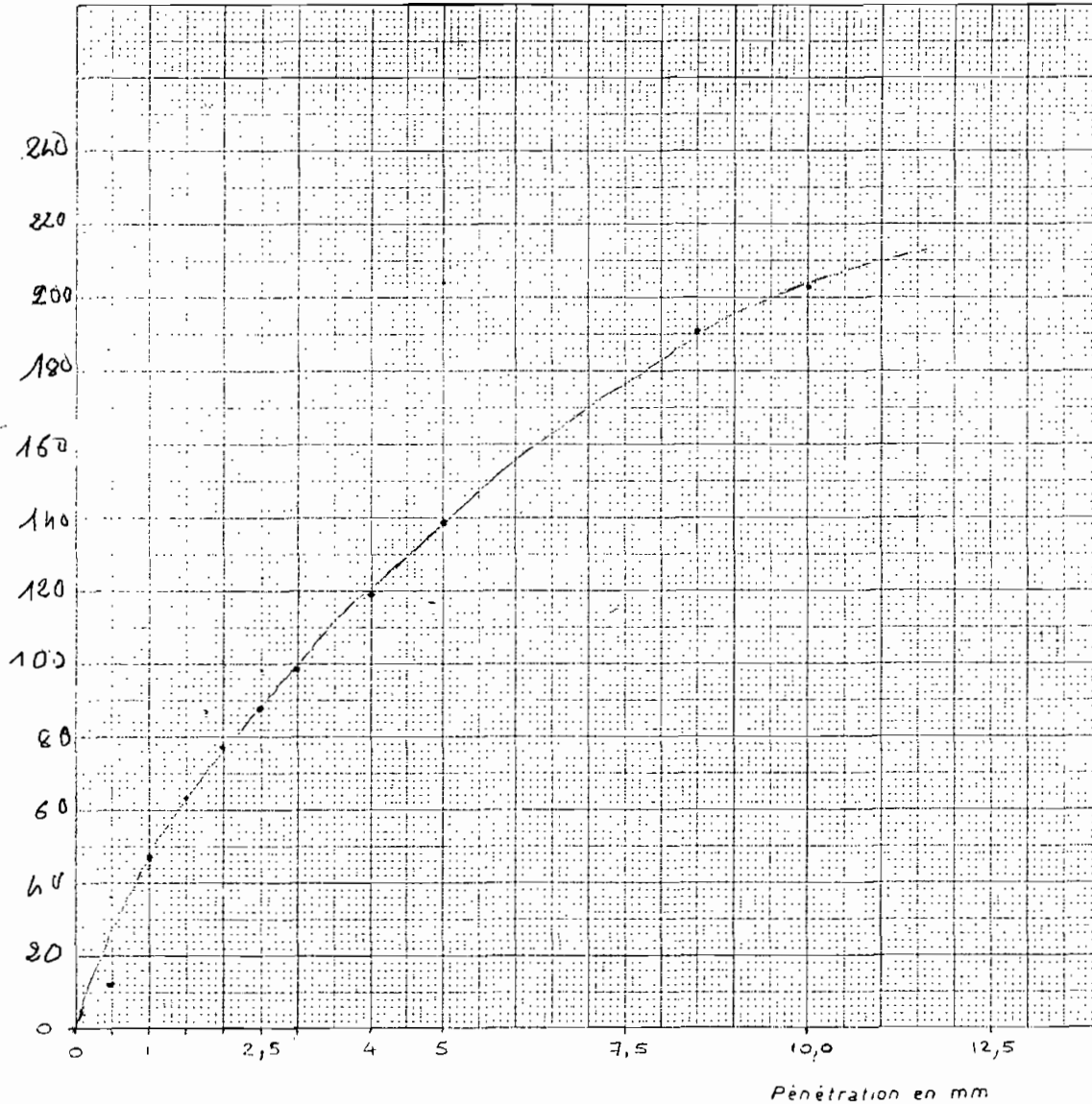
école polytechnique de thès

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Placemètre des sols

Pression sur le piston en kg/cm²



courbes contrainte - pénétration

PROJET : FIN d'étude
 LOCALISATION :
 SONDRAGE : ECHANTILLON no.
 DESCRIPTION :
 CALCULÉ PAR: I Saïl LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE :
 % retenu sur tamis =
 Nombre de coups par couche =
 Remarques :

ESSAI no. (descr.: 2% immédiat)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = 88,4 kgf/cm² ; CBR = 189,2
 P(5) = 138,8 kgf/cm² ; CBR = 132,2 132,2

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm² ; CBR =
 P(5) = kgf/cm² ; CBR =

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm² ; CBR =
 P(5) = kgf/cm² ; CBR =
 (* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques :

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \text{ et } \frac{P(5)}{1,05}$$

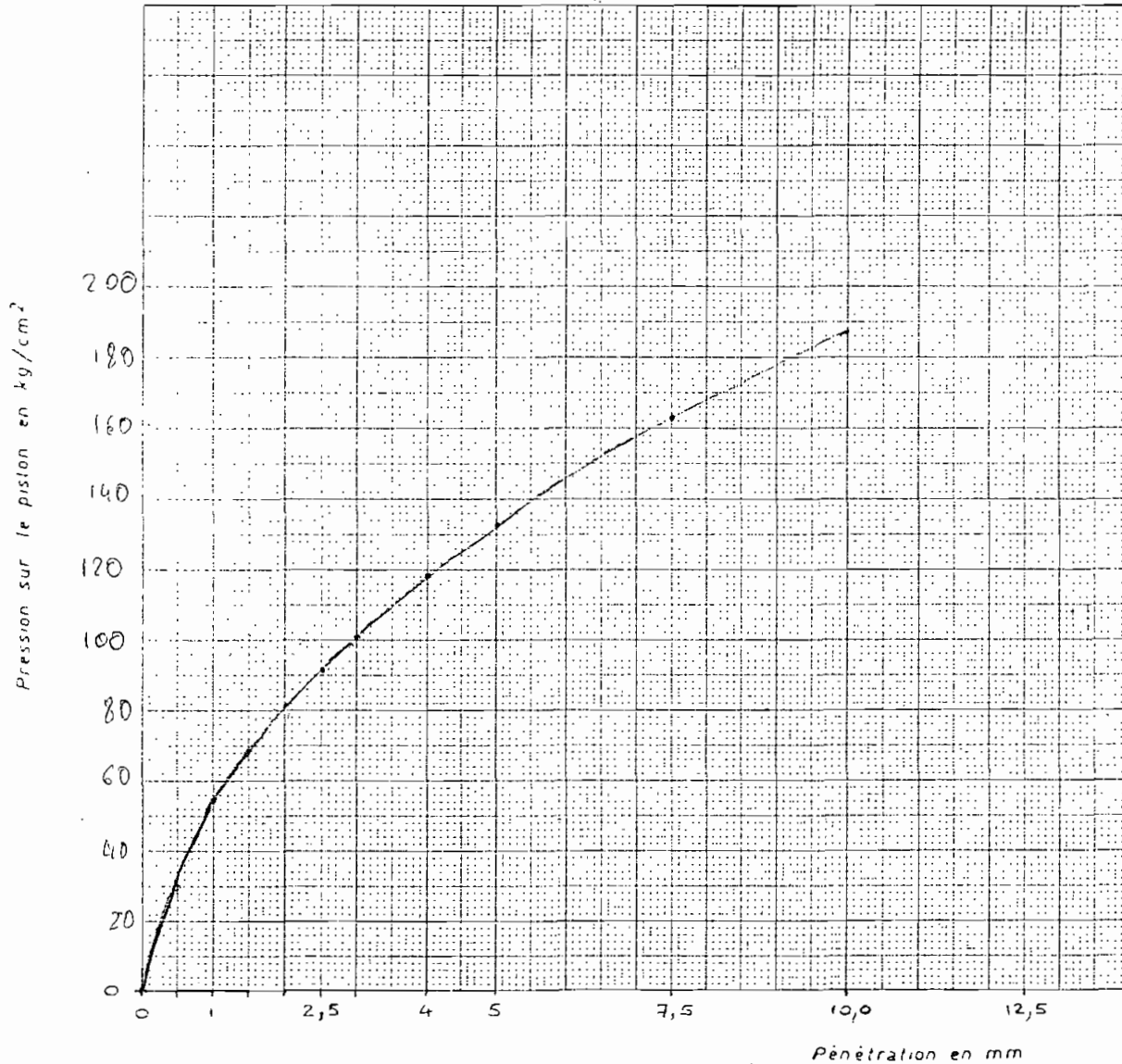
P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

école polytechnique de thès

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Planimétrie des sols



courbes contrainte - pénétration

1.00 Avril 85

PROJET :	FIN d'études
LOCALISATION :	Thès (TÉLÉVISION)
SONDAGE :	ECHANTILLON no.
DESCRIPTION :	Graveleux lateritique
CALCULÉ PAR :	I. SALL LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE : D
 % retenu sur tamis 3/4 = 9
 Nombre de coups par couche = 56
 Remarque* :

ESSAI no. (descr.: 3% immédiat)
 W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³
 P(2,5) = 92,45 kgf/cm² ; CBR = 132,0
 P(5) = 133,23 kgf/cm² ; CBR = 126,8

132,0

ESSAI no. (descr.: ...)
 W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³
 P(2,5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...
 P(5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

ESSAI no. (descr.: ...)
 W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³
 P(2,5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...
 P(5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

(* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc)
 Remarques:

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

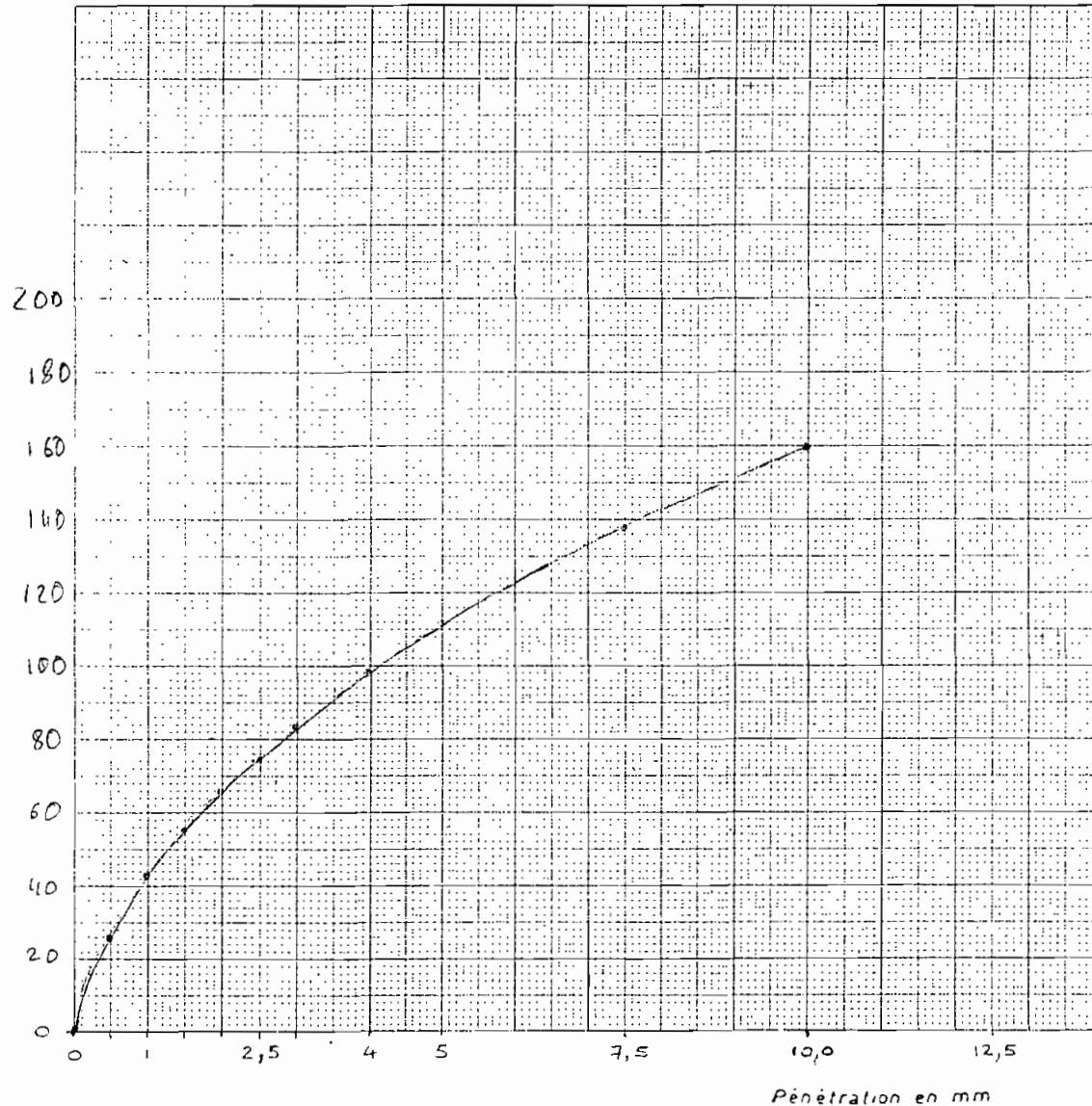
école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Plat tamisier des sables

Pression sur le piston en kg/cm²



courbes contrainte - pénétration

C.B.R. modif 6/5

PROJET : FIN d'étude
 LOCALISATION : Thiers (Télévision)
 SONDRAGE : ECHANTILLON no.
 DESCRIPTION : Gravelsaux latérianes
 CALCULÉ PAR : I SALL LE

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE : D
 % retenu sur tamis =
 Nombre de coups par couche = 56
 Remarques :

ESSAI no. (descr.: 4°/6 immédiat)
 W% finale = %; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = 75,26 kgf/cm²; CBR = 107,5
 P(5) = 111,03 kgf/cm²; CBR = 105,7 107,5

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = %; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm²; CBR =
 P(5) = kgf/cm²; CBR =

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = %; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm²; CBR =
 P(5) = kgf/cm²; CBR =
 (* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques :

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

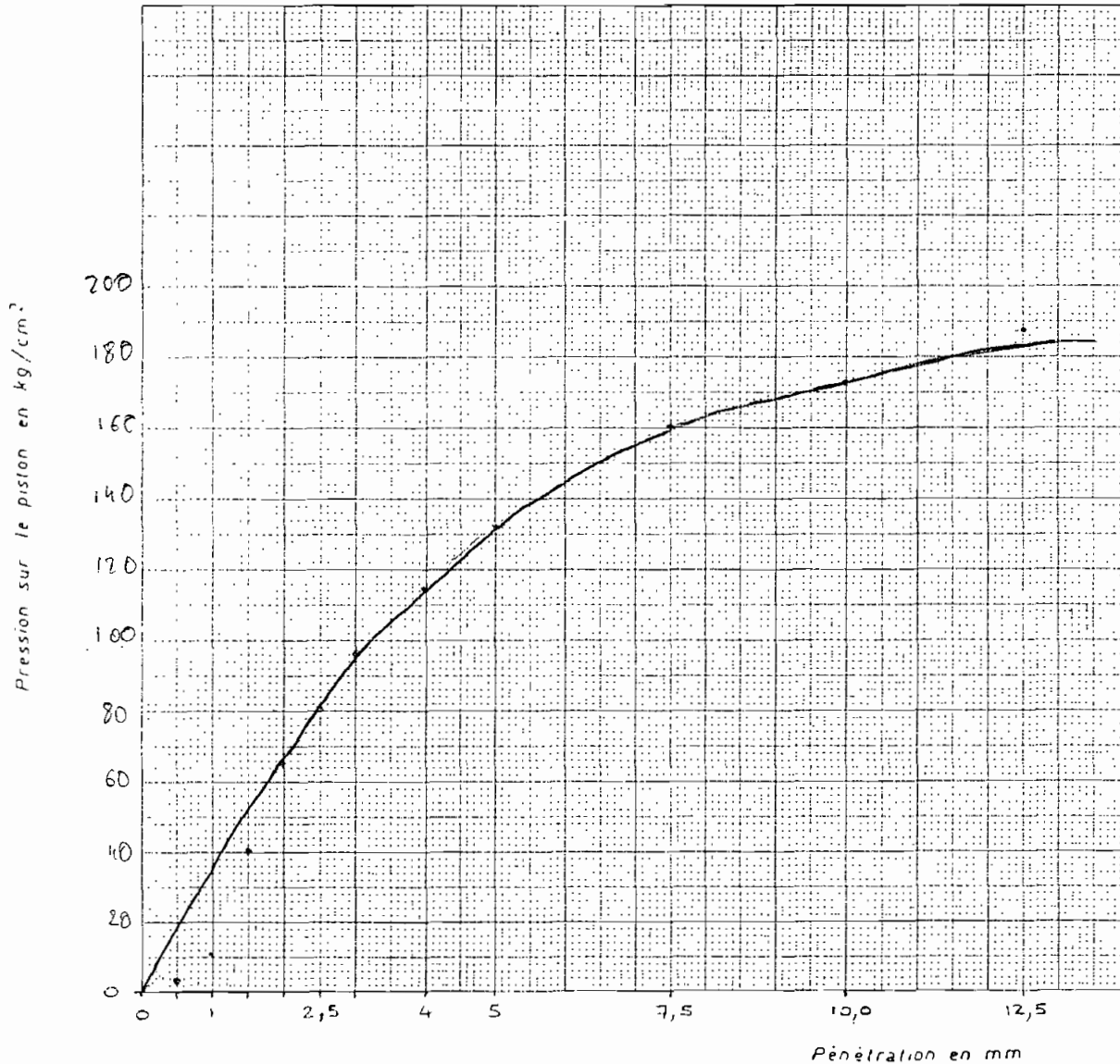
$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »



courbes contrainte - pénétration

PROJET : Fin d'étude

LOCALISATION :

SONDAGE : ECHANTILLON no.

DESCRIPTION :

CALCULÉ PAR : I. Sall LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE : ...
 % retenu sur tamis = ...
 Nombre de coups par couche = ...

Remarques :

ESSAI no. (descr.: 0% à 2 jours)

W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³

P(2,5) = 82,00 kgf/cm² ; CBR = 117,1

P(5) = 131,90 kgf/cm² ; CBR = 125,6

ESSAI no. (descr.: ...)

W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³

P(2,5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

P(5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

ESSAI no. (descr.: ...)

W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m³

P(2,5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

P(5) = ... kgf/cm² ; CBR = ...

(* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)

Remarques :

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

F. B. Avril 75

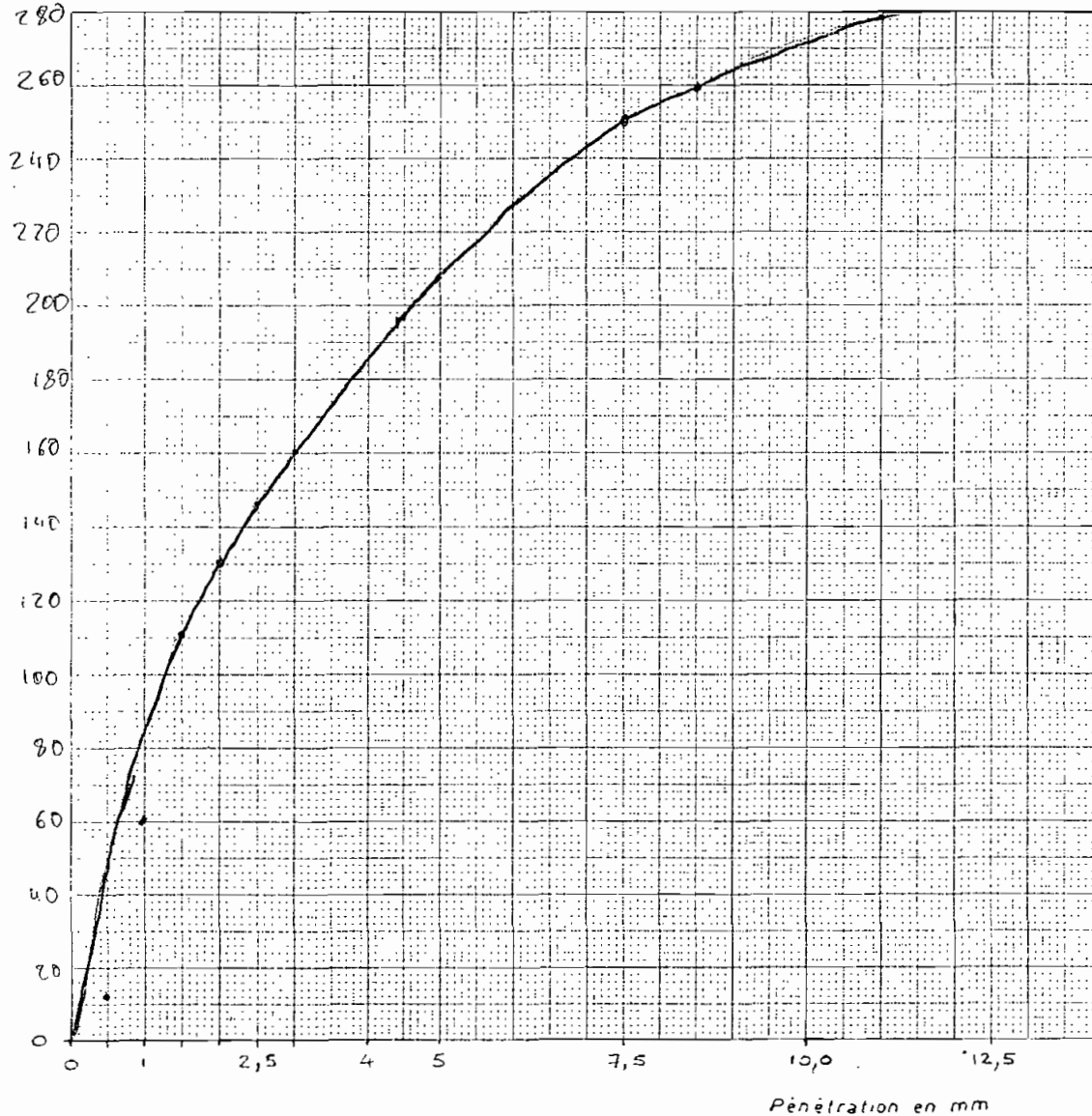
école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Placemètre des sols

Pression sur le piston en kg/cm²



courbes contrainte - pénétration

P. 100 - Avril 85

PROJET :	Fins d'étude
LOCALISATION :	
SONDAGE :	ECHANTILLON no.
DESCRIPTION :	
CALCULÉ PAR :	I. SALL LE :
COMPACTAGE	STD. <input type="checkbox"/> MOD. <input type="checkbox"/> MÉTHODE :
	% retenu sur tamis ... =
	Nombre de coups par couche =
Remarques :	

ESSAI no.	(descr.: 1% à 2 jours)	
W% finale =	... %; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) =	14630 kgf/cm ² ; CBR = 209	209
P(5) =	208,00 kgf/cm ² ; CBR = 198	
ESSAI no.	(descr.: -)	
W% finale =	... %; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) =	... kgf/cm ² ; CBR =	
P(5) =	... kgf/cm ² ; CBR =	
ESSAI no.	(descr.: -)	
W% finale =	... %; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) =	... kgf/cm ² ; CBR =	
P(5) =	... kgf/cm ² ; CBR =	
(* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)		
Remarques :		

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

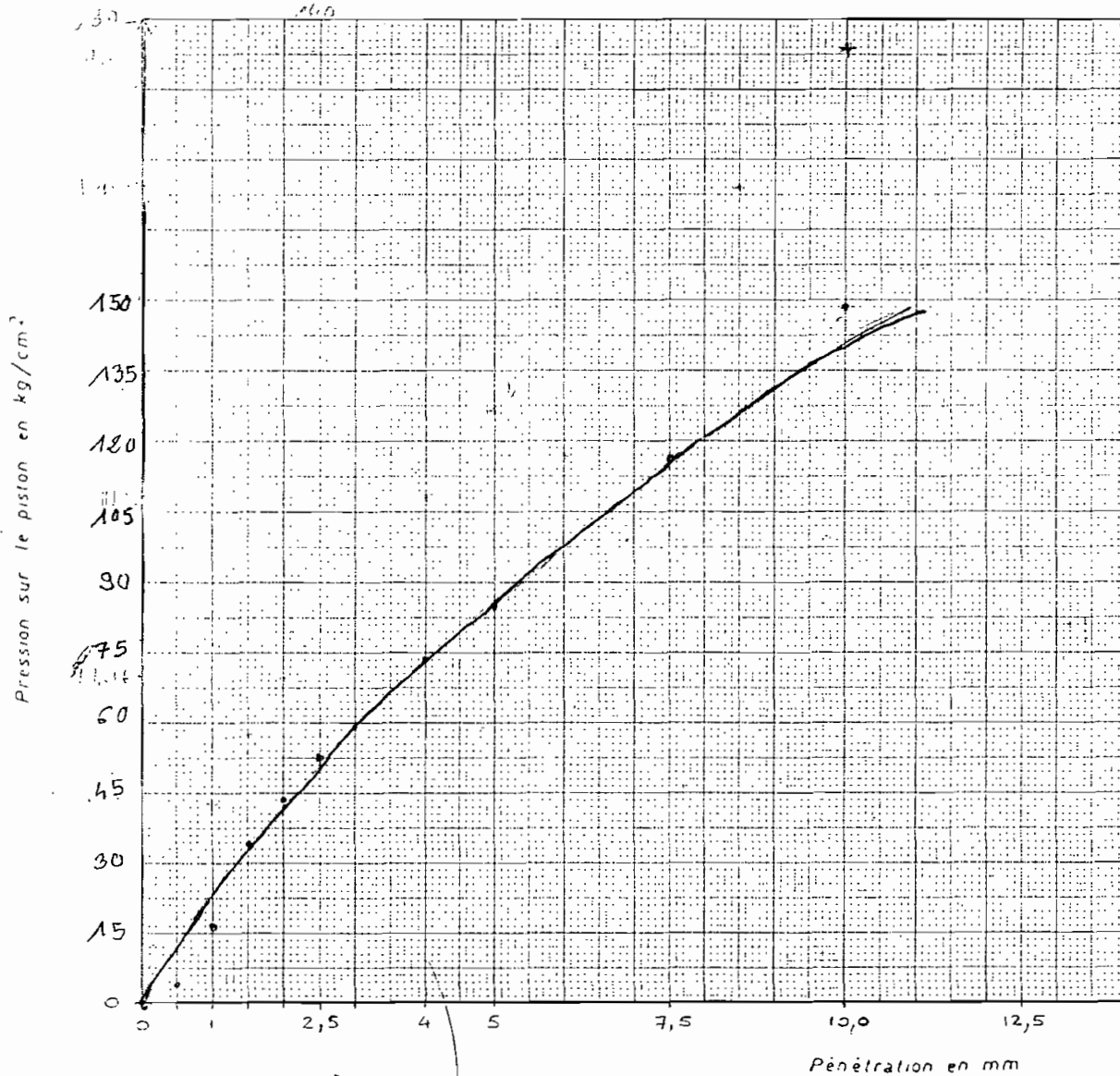
P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Placem. 2. les sols



courbes contrainte - pénétration

PROJET : Fin d'études
 LOCALISATION : Thiers (Télévision)
 SONDAGE : ECHANTILLON NO.
 DESCRIPTION : Gravelier latérale
 CALCULÉ PAR : I. SALL LE :

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE :
 % retenu sur tamis =
 Nombre de coups par couche =
 Remarques :

ESSAI no. (descr.: 2% 2 jours à l'air)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = 51 kgf/cm² ; CBR = 78,9
 P(5) = 86 kgf/cm² ; CBR = 81,9 81,9

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm² ; CBR =
 P(5) = kgf/cm² ; CBR =

ESSAI no. (descr.:)
 W% finale = % ; $\gamma_s =$ t/m³
 P(2,5) = kgf/cm² ; CBR =
 P(5) = kgf/cm² ; CBR =
 (* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques :

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

P. 10. 10.1 15

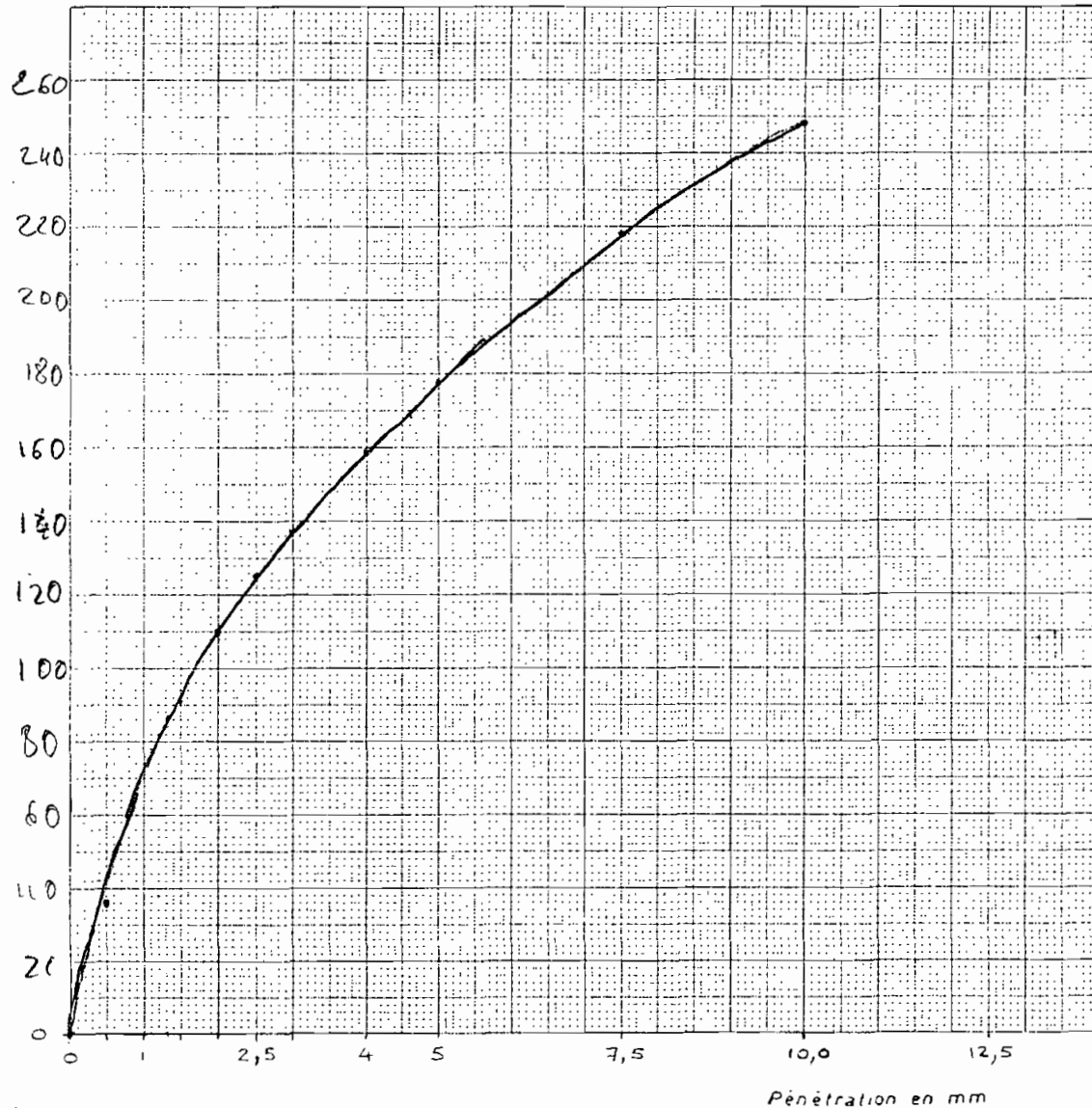
école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »

Muscinière des sols

Pression sur le piston en kg/cm²



courbes contrainte - pénétration

PROJET : <u>Fin d'étude</u>	
LOCALISATION :	
SONDAGE :	ECHANTILLON no.
DESCRIPTION :	
CALCULÉ PAR : <u>J. Sall</u> LE :	
COMPACTAGE STD. <input type="checkbox"/> MOD. <input type="checkbox"/> MÉTHODE :	
% retenu sur tamis =	
Nombre de coups par couche =	
Remarques :	
ESSAI no. (descr.: <u>3% a 2 jours air</u>)	
W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) = <u>124,52</u> kgf/cm ² ; CBR = <u>177,9</u>	
P(5) = <u>178,50</u> kgf/cm ² ; CBR = <u>170</u>	
ESSAI no. (descr.:)	
W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) = ... kgf/cm ² ; CBR =	
P(5) = ... kgf/cm ² ; CBR =	
ESSAI no. (descr.:)	
W% finale = ... % ; $\gamma_s =$... t/m ³	
P(2,5) = ... kgf/cm ² ; CBR =	
P(5) = ... kgf/cm ² ; CBR =	
(a essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)	
Remarques :	

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

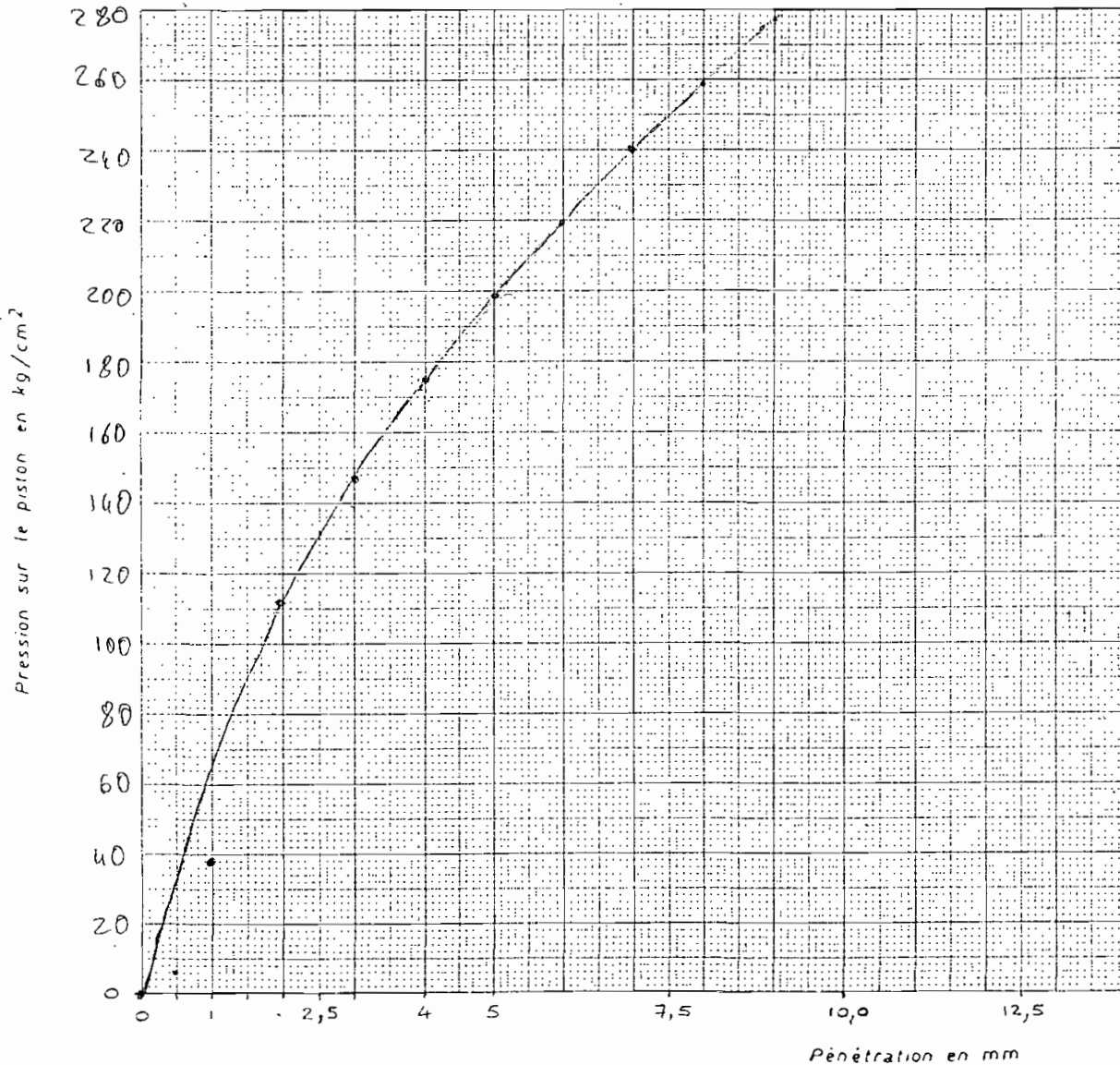
P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.

P. 10 Ann. 83

école polytechnique de thiers

Essai C.B.R. (Californian Bearing Ratio)

Ou « indice de portance californien »



courbes contrainte - pénétration

PROJET : FIN d'étude
 LOCALISATION : _____
 SONDAGE : _____ ECHANTILLON no. _____
 DESCRIPTION : _____
 CALCULÉ PAR : J Sall LE : _____

COMPACTAGE STD. MOD. MÉTHODE : _____
 % retenu sur tamis : _____ = _____
 Nombre de coups par couche : _____
 Remarques : _____

ESSAI no. _____ (descr.: 4% à 2 jours à l'air)
 W% finale = _____ %; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = 132,0 kgf/cm² ; CBR = 188,6 188,6
 P(5) = 198,0 kgf/cm² ; CBR = _____

ESSAI no. _____ (descr.: _____)
 W% finale = _____ %; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = 132,00 kgf/cm² ; CBR = 188,6 188,6
 P(5) = 198,00 kgf/cm² ; CBR = _____

ESSAI no. _____ (descr.: _____)
 W% finale = _____ %; $\gamma_s =$ _____ t/m³
 P(2,5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____
 P(5) = _____ kgf/cm² ; CBR = _____
 (* essai immédiat, après imbibition, dessiccation, durée, etc.)
 Remarques : _____

Note: P(2,5) et P(5) sont pris sur les courbes corrigées s'il y a lieu. Le C.B.R. est égal au plus fort des deux rapports :

$$\frac{P(2,5)}{0,70} \quad \text{et} \quad \frac{P(5)}{1,05}$$

P(2,5) étant la pression correspondant à un enfoncement de 2,5 mm et P(5) celle correspondant à un enfoncement de 5 mm.