

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

**PROJET
DE
FIN D'ÉTUDES**

GC.0290

TITRE GEOBETON CONSTRUCTION EN TERRE I
Synthese des projets
Laterite materiau de construction

Auteurs A.SALL- B.DIEYE-C.CISSE

Directeur Dr. Aliou DIACK

Co Directeur M.Sc A.M. NDIAYE

Genie: Civil

Date: Juin 1986

= SOMMAIRE =

- Ce document fait une synthèse du projet de recherche sur la Latérite comme matériau de construction.
- cette recherche faite à travers les cinq phases de projet de fin d'études est passée en revue -

←

TABLE DES MATIERES

<u>Titre</u>	<u>Page</u>
Phase I	7
Phase II	10
Phase III	20
Phase IV	23
Phase V	28

Le Projet de l'Ecole Polytechnique de Thiès -

Si il est dangereux d'être déconnecté de la mémoire du savoir faire qu'on prétend moderniser, il est aussi périlleux de détacher la recherche technologique de son contexte économique, culturel, et social. C'est pourquoi l'Ecole Polytechnique de Thiès a entrepris des recherches adaptées aux spécificités du Sénégal à travers cinq phases de Projet de Fin d'Etudes intitulées << LATERITE - MATERIAU DE CONSTRUCTION >>. Cette étude démarrée en 1980, a pour objectif principal de déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques de la latérite, matériau de base pour le géobéton, afin de les optimiser pour une utilisation meilleure dans la construction -

Pourquoi la latérite ?

- A cause de sa grande disponibilité dans presque toutes les régions du Sénégal
- Parce qu'il est un matériau au comportement très complexe, dû aux nombreux paramètres intervenant dans la fabrication et l'utilisation de briques -

Il existe plusieurs sortes de latérite, mais l'étude est limitée à deux latérites disponibles dans l'environnement du lieu de recherches (E.P.T) -

Disponibilité au Sénégal

Les sols ferrugineux couvrent environ les 2/3 de la superficie totale du Sénégal ou des épaisseurs de couche allant jusqu'à 10 m. Du fait de la déshydratation, de la dessiccation et du lessivage, ces sols se sont altérés pour la plupart pour former des sols latéritiques qui se reconnaissent à leur couleur rougeâtre ou brune. Suite à l'alternance de deux saisons sèche et humide en climat tropical et à des températures élevées, le processus de dessiccation favorise la cimentation par les respiricycles des particules de sols en éléments plus grossiers. Des formations latéritiques soumises à une telle transformation tendent à devenir de plus en plus compactées : c'est le phénomène de cuirassement.

Au Sénégal, nous distinguons trois zones d'affaissement de cuirasses latéritiques.

Le Sénégal oriental et la haute et moyenne vallée

des affaissements consistent en surfaces d'aplanissement présentes de part et d'autre de la vallée à des altitudes entre 150 m et 300 m.

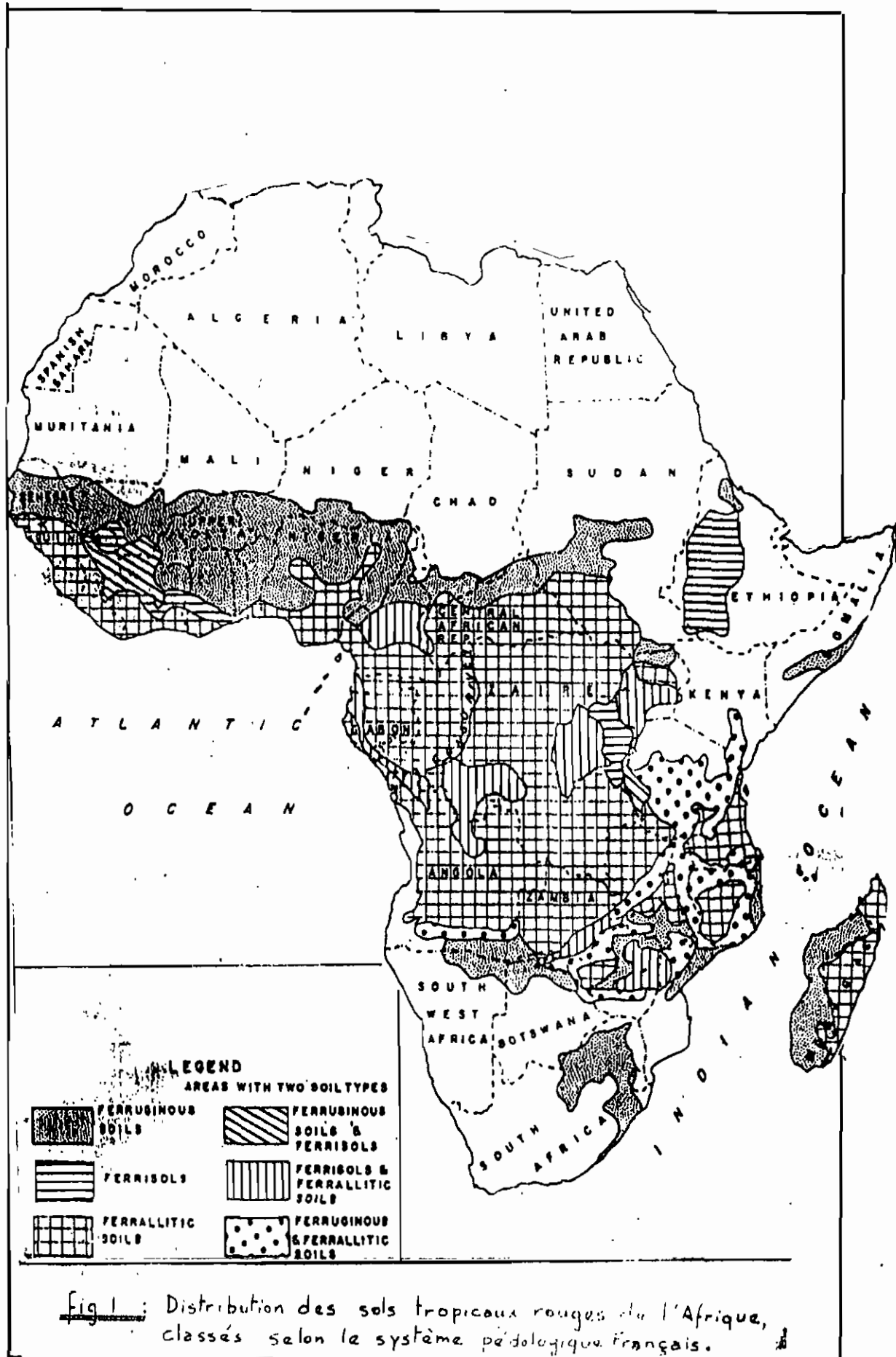
Les cuirasses ferrugineuses du continental terminal

On les retrouve sur une bande d'orientation Nord-Sud passant par le centre du pays et joignant la steppe

du ferlo au nord de la région du fleuve à la région casamangaise. La puissance des cuirasses est en général supérieure à 2 m.

Le plateau de Thiès et le massif de Ndhiass où les cuirasses affleurent avec une très forte puissance d'au moins une dizaine de mètres, constituant un potentiel assez important.

La carte à la figure 4 montre la disponibilité de la latérite (ferruginous soils).



la stabilisation

Construire en terre implique un choix fondamental entre :

- Utiliser la terre disponible sur place, donc concevoir le projet en tenant compte des propriétés de ce matériau

- Se procurer une terre de meilleure qualité

- Améliorer les caractéristiques de la terre locale, afin de créer un matériau convenant parfaitement.

Les deux premières solutions, n'étant pas toujours acceptables, cette dernière sera souvent la seule possibilité. Nous appelons STABILISATION DES SOLS, l'ensemble des procédés permettant d'améliorer leurs caractéristiques.

Cette stabilisation a donné naissance à toute une série de noms qui désignent, en fait, le même procédé. Ainsi on trouve les termes B.T.S (Béton de Terre Stabilisée), Terracrete, Géobéton, procédé Géoblock, Mecater, Terradamente et ...

- Méthodes de stabilisation

Les méthodes de stabilisation doivent répondre aux conditions suivantes :

- a) Utiliser comme élément de base la terre;

- b) Afin de conserver ses propriétés, le matériau stabilisé doit pouvoir résister à l'action des agents climatiques;

c) le processus de stabilisation doit agir de telle façon qu'il ait dans le matériau une friction interne et une cohésion suffisante pour qu'il puisse résister aux forces auxquelles il sera soumis ;

les principales méthodes de stabilisation sont les suivantes :

- la consolidation ;
- l'imperméabilisation ;
- le traitement chimique ;
- l'addition d'un agglomérat -

- Effets de la stabilisation

Elle répond à un nombre réduit d'objectifs :

- réduire le volume des vides entre les particules solides (porosité)
- colmater les vides que l'on peut supprimer (perméabilité)
- créer des liens ou améliorer les liaisons existantes entre les particules (résistance mécanique)

Les trois objectifs permettent d'améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau et de réduire sa sensibilité à l'action de l'eau : gonflement et retrait, diminution des qualités de cohésion et de rigidité, érosion, ...

* Dans le projet, la latérite a été stabilisée par addition d'un agglomérat, le ciment Portland CPA 325 -

Phase 1 : Projet de fin d'Etudes de M. Diagne
et Thiam (1980)

Objectifs : Déterminer

- les caractéristiques géotechniques des deux latérites en provenance de la carrière de Thico.
- l'influence du rajout de paille (Système traditionnel)
- les effets de la stabilisation à la chaux
- les effets de la stabilisation au ciment

Résultats

	limite de liquidité WL %	limite de plasticité Wp %	Indice de Plasticité IP	Coefficient d'uniformité Cu	Coefficient de courbure Cc	densité maximale d_{smax}
latérite rouge	40,2	15,5	24,7	23,68	1,415	1870
latérite brune	37,2	20,8	16,4	36,31	1,289	1785

- La latérite rouge présente de meilleures caractéristiques.
- la teneur en eau influence considérablement les résistances mécaniques.
 - la présence de la paille diminue les fissures de séchage, rend plus léger le matériau, augmente la ductilité mais entraîne une perte de résistance considérable (fig 1.1)
 - la stabilisation à la chaux ne donne pas des résultats remarquables comparativement au ciment.
 - le ciment donne des gains de résistance au delà de 4% (fig 1.3)

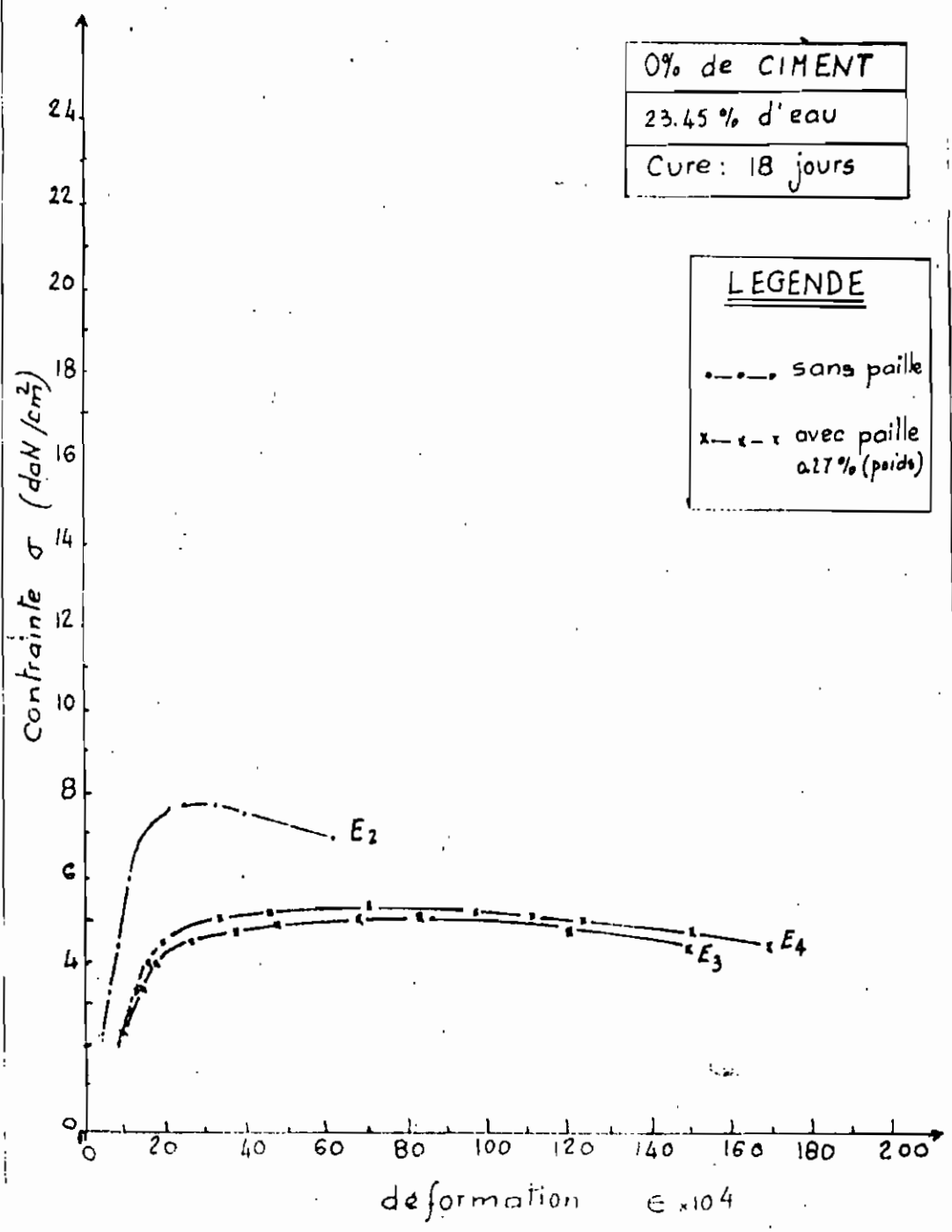


Fig.11 : Courbes contrainte-déformation
Influence de la paille sur la
résistance à la compression
(cylindres standards)

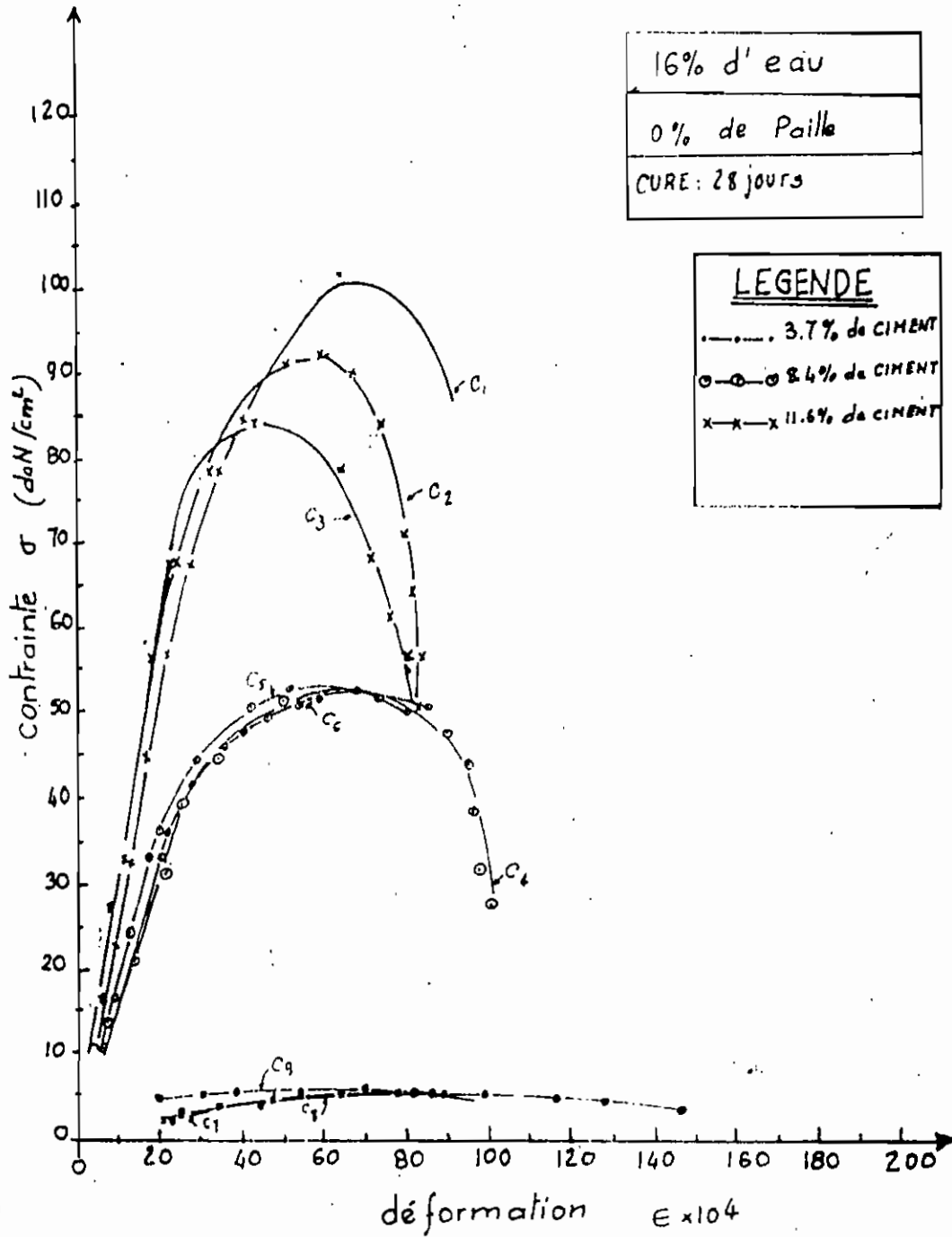


Fig. 1.3 : Courbes contrainte-déformation
Influence de la teneur en ciment sur la
résistance à la compression
(cylindres standards)

Phase 2 : Projet de Fin d'Etudes de M. Diakité
et Souma (1981)

Objectifs : Déterminer

- les caractéristiques physiques et mécaniques de la latérite rouge pour fin de classification
- la composition optimale des pourcentages pondéraux d'eau et de ciment et le mode de compactage
- l'influence de la paille et du mûrissement -

Résultats :

γ_{dopt} g/cm ³	W_{opt} %	D_{50}	D_{10}	C_u	C_c	WL %	WP %	IP %	M %
2.05	13,8	5.5	0.07	107.1	4.2	33	21.3	11.7	20

γ_{dopt} : densité sèche à l'optimum proctor

W_{dopt} : teneur en eau à l'optimum proctor

M : pourcentage du poids des éléments dont la dimension est inférieure à 0,4mm (mortier)

C_u : Coefficient d'uniformité

C_c : Coefficient de courbure

WL : limite de liquidité

WP : limite de plasticité

IP : Indice de plasticité

Classification selon Atterberg

$. 7 < I_p < 17$ plasticité moyenne

Classification à partir de l'abaque de Casagrande

. la laterite rouge est une grève argileuse

. la maniabilité augmente en fonction du rapport E/c tandis que la qualité du géobéton durci varie à l'inverse. En d'autres termes la plasticité augmente et le module de Young diminue, dans les proportions, la plasticité augmente avec la densité sèche, qui est fonction du taux de compactage et de la granulométrie, et de la teneur en ciment - fig (4.1) (4.2) (4.3) et tableau (4.1)

. A 16% d'eau le géobéton est peu maniable avec un affaissement nul au cône d'Abrams, ce qui représente la teneur en eau minimale. Mais comme l'optimum proctor est égal à 13,8% et qu'un écart de plus de 4% peut réduire sensiblement la résistance, alors un compromis des considérations de résistance, d'ouvrabilité, et d'économie a conduit au choix de souple (16% d'eau, 6% de ciment)

. les conditions de mûrissement influent sur les propriétés du géobéton. L'immersion permet un gain de résistance par rapport à un mûrissement continu dans l'air -

fig (4.6) (4.7) (4.8) (4.9)

. la paille augmente la plage plastique mais diminue considérablement la résistance -

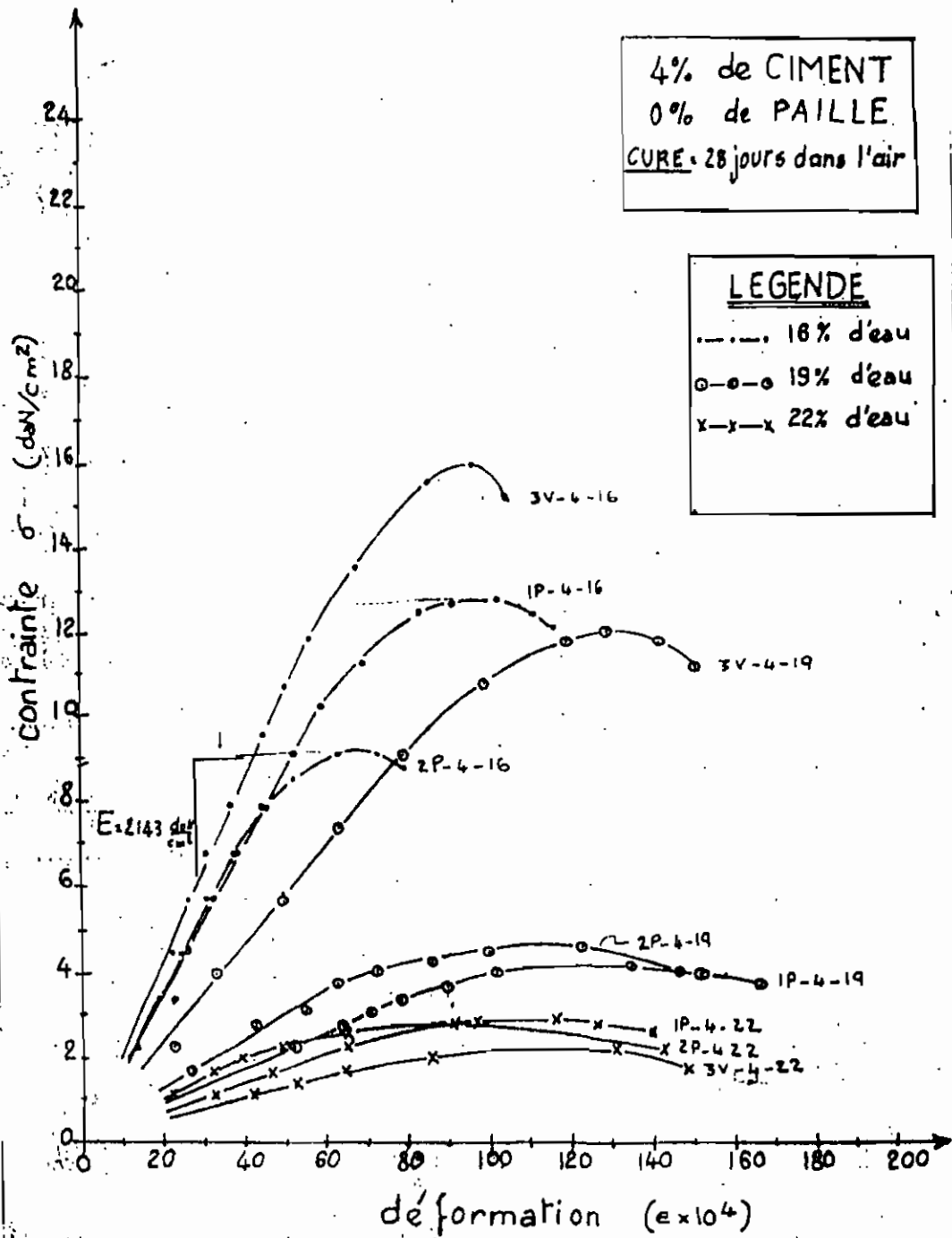


Fig 4.1: Courbes contrainte-déformation
Influence de la teneur en eau et du compactage

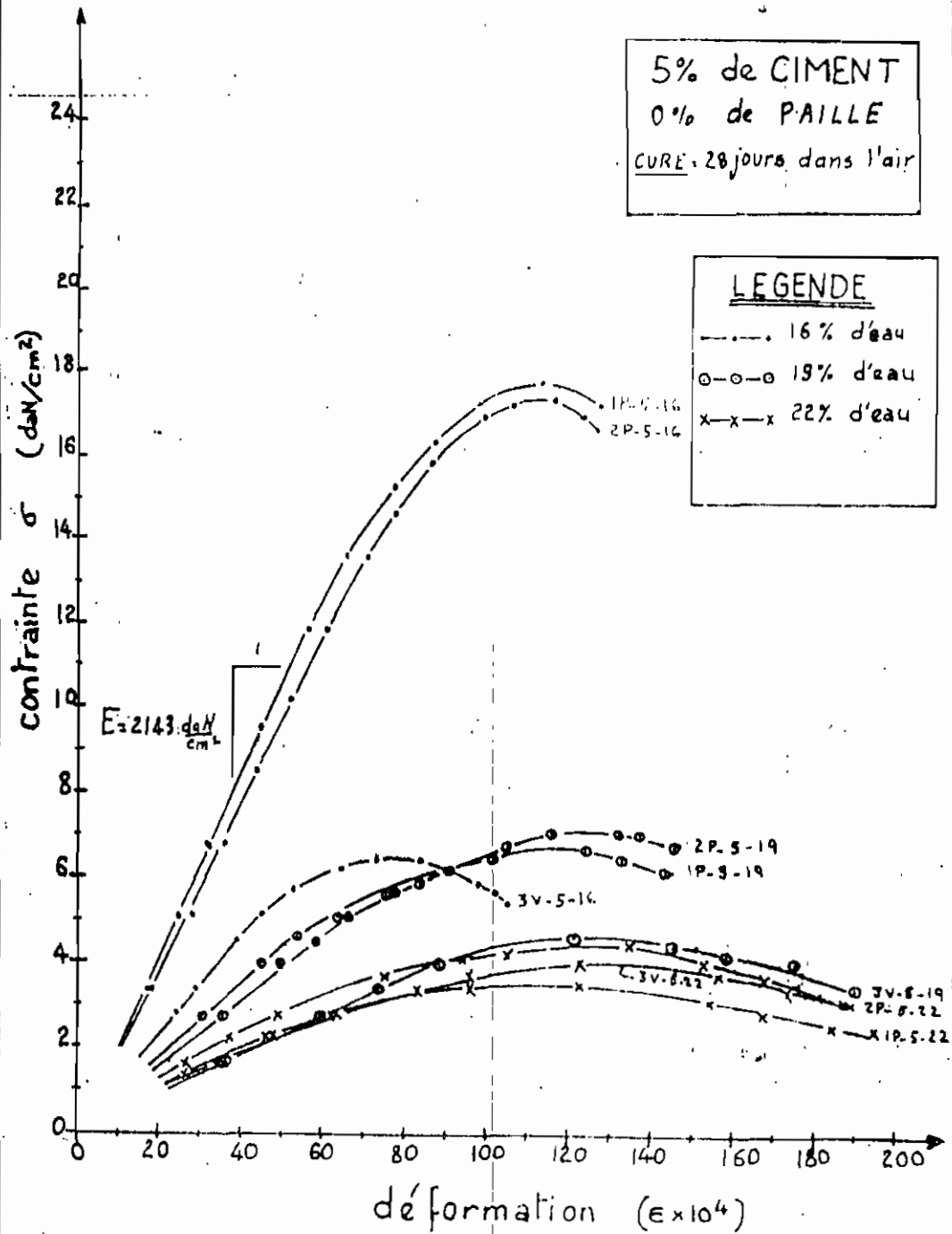


Fig 4.2 : Courbes contrainte-déformation
Influence de la teneur en eau et du compactage

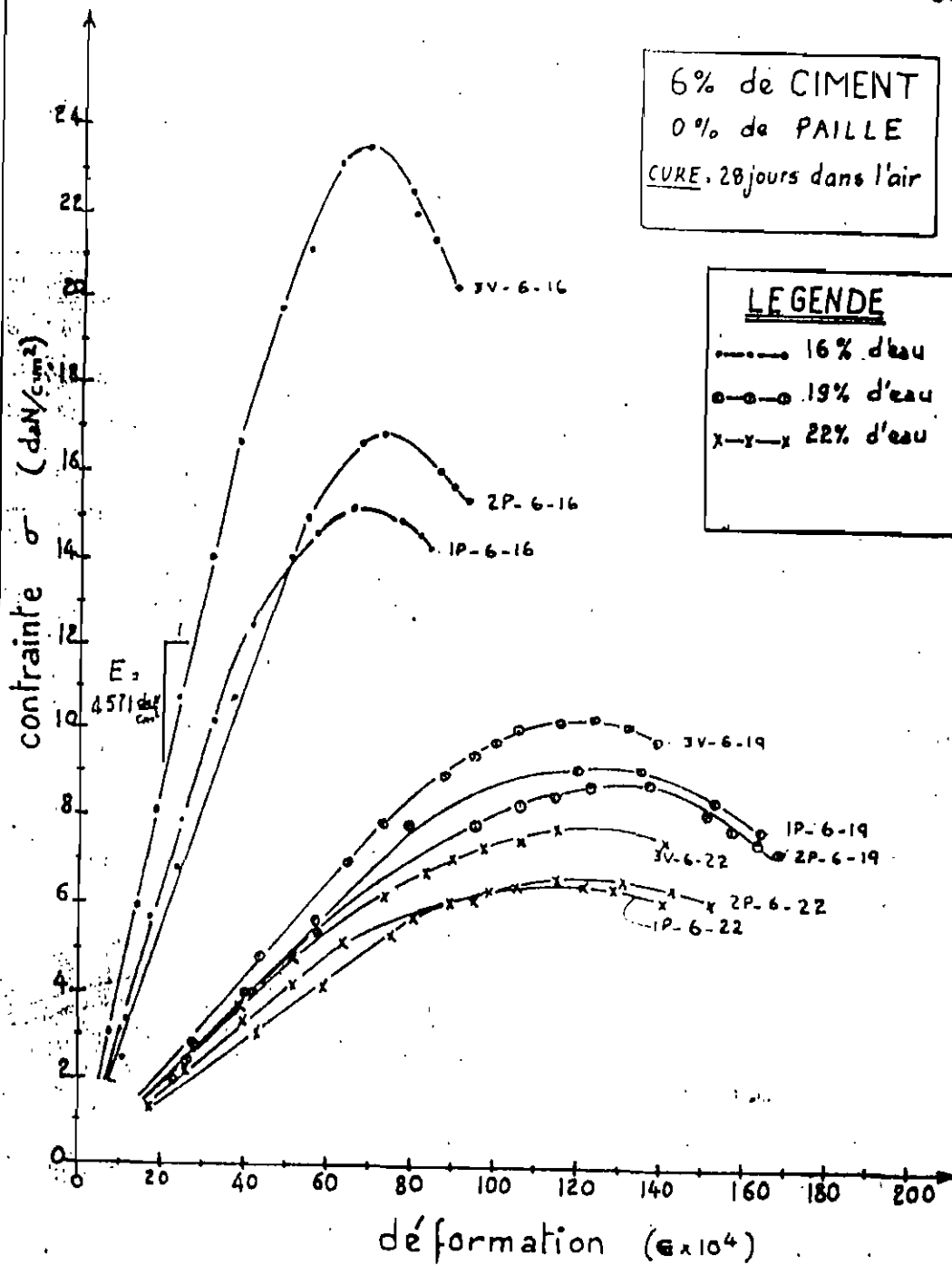


Fig 4.3: Courbes contrainte-déformation
Influence de la teneur en eau et du compactage

TABLEAU 4-1: Influence de la densité sèche
sur la résistance (voir tableau A-19)

Désignation	Densité sèche à 28 jours δ_d (g/cm ³)	Résistance max. à 28 jours R_{max} (daN/cm ²)
3V - 4 - 16	1.93	15.6
1P - 4 - 16	1.93	12.8
2P - 4 - 16	1.81	9.1
3V - 4 - 19	1.99	12.1
2P - 4 - 19	1.85	4.6
1P - 4 - 19	1.85	4.2
2P - 4 - 22	1.85	2.8
1P - 4 - 22	1.82	2.9
3V - 4 - 22	1.80	2.2
1P - 5 - 16	1.97	17.8
2P - 5 - 16	1.95	17.4
3V - 5 - 16	1.74	6.4
2P - 5 - 19	1.87	7.1
1P - 5 - 19	1.86	6.7
3V - 5 - 19	1.90	4.6
2P - 5 - 22	1.82	4.4
3V - 5 - 22	1.82	4.0
1P - 5 - 22	1.83	3.5
3V - 6 - 16	1.93	23.7
2P - 6 - 16	1.87	16.9
1P - 6 - 16	1.86	15.3
3V - 6 - 19	1.99	10.4
1P - 6 - 19	1.98	9.2
2P - 6 - 19	1.97	8.8
3V - 6 - 22	1.92	7.9
2P - 6 - 22	1.91	6.7
1P - 6 - 22	1.94	6.6

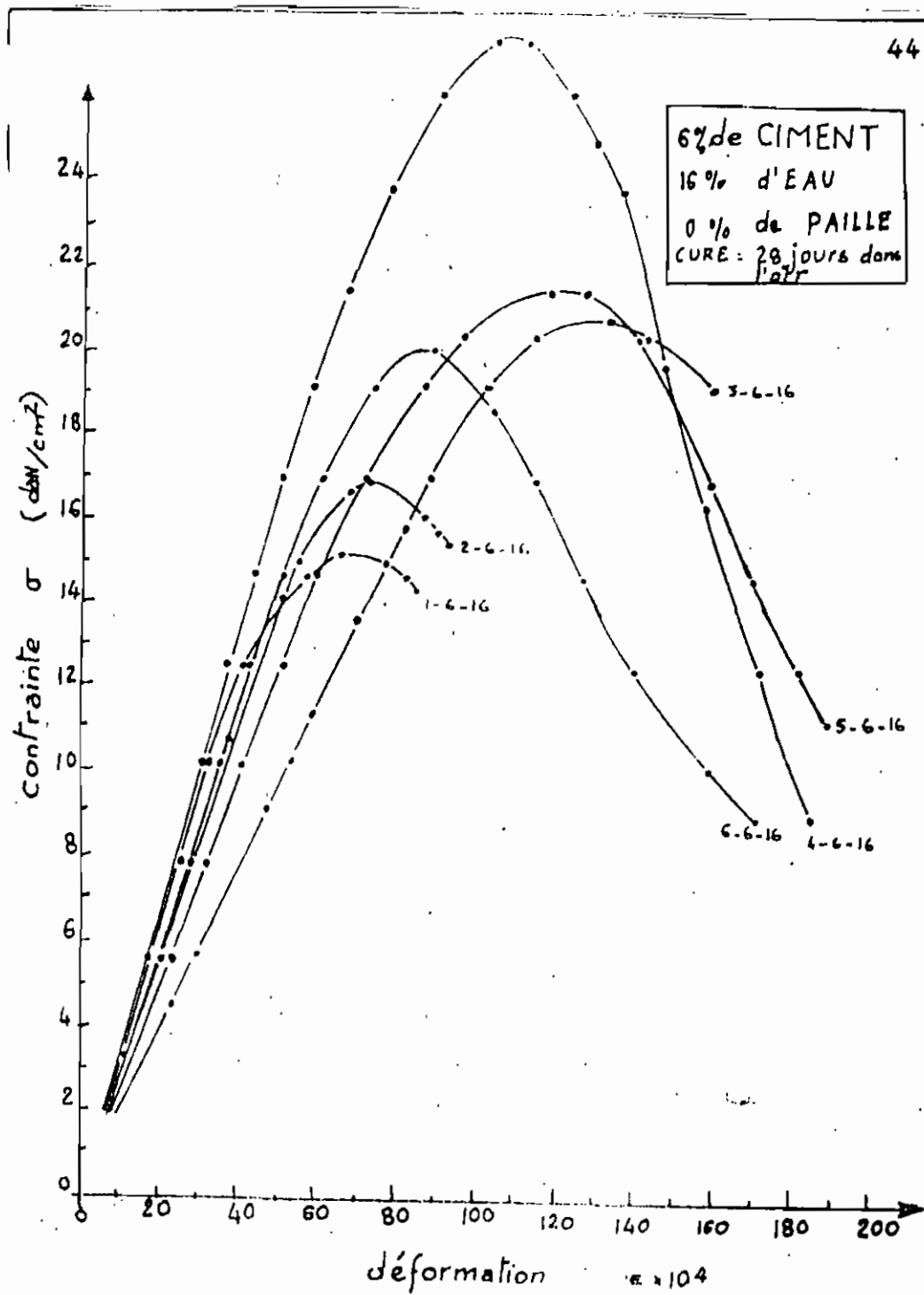


Fig. 4.6: Courbes contrainte - déformation

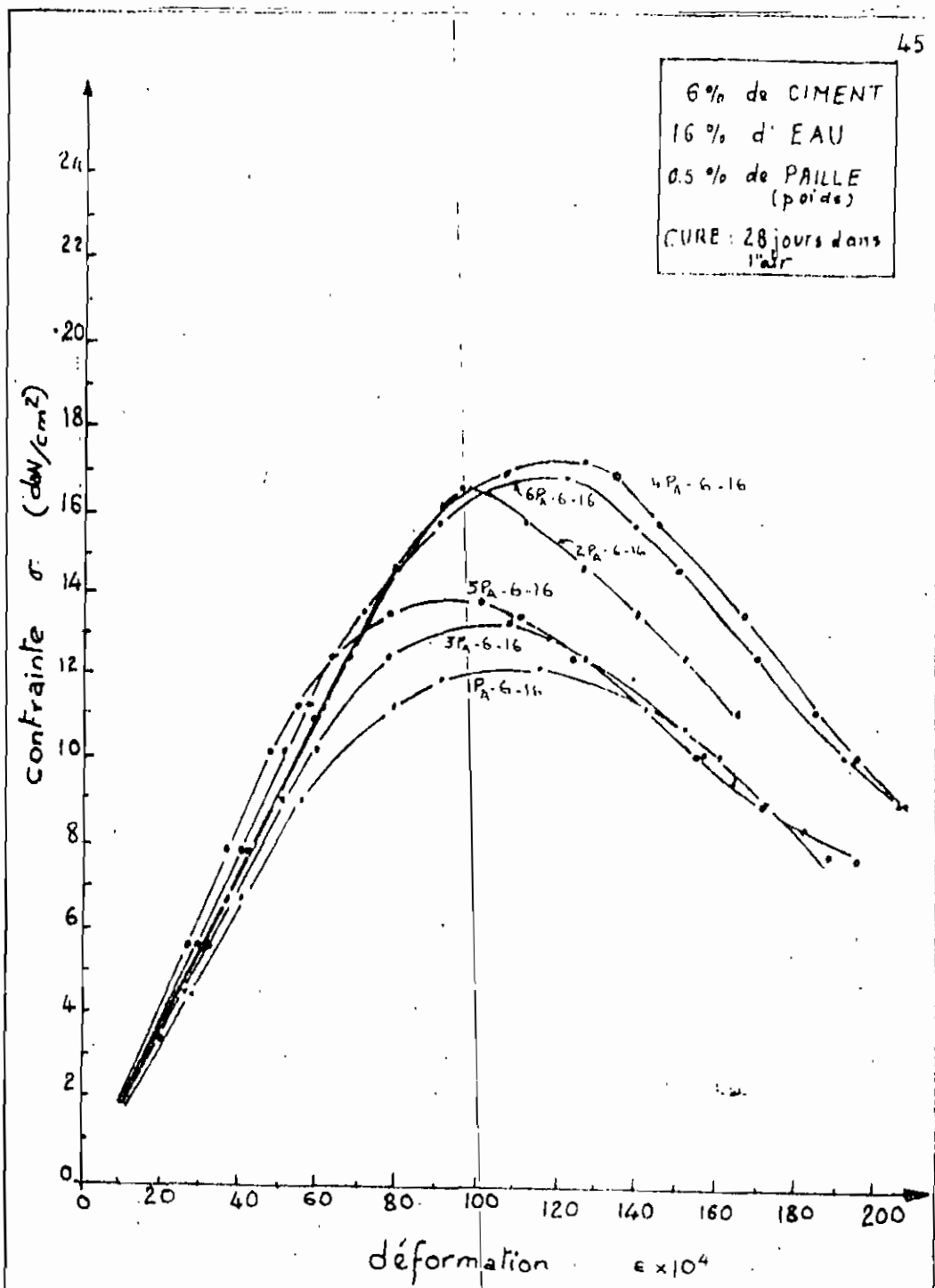


Fig 4.7: Courbes contrainte - déformation

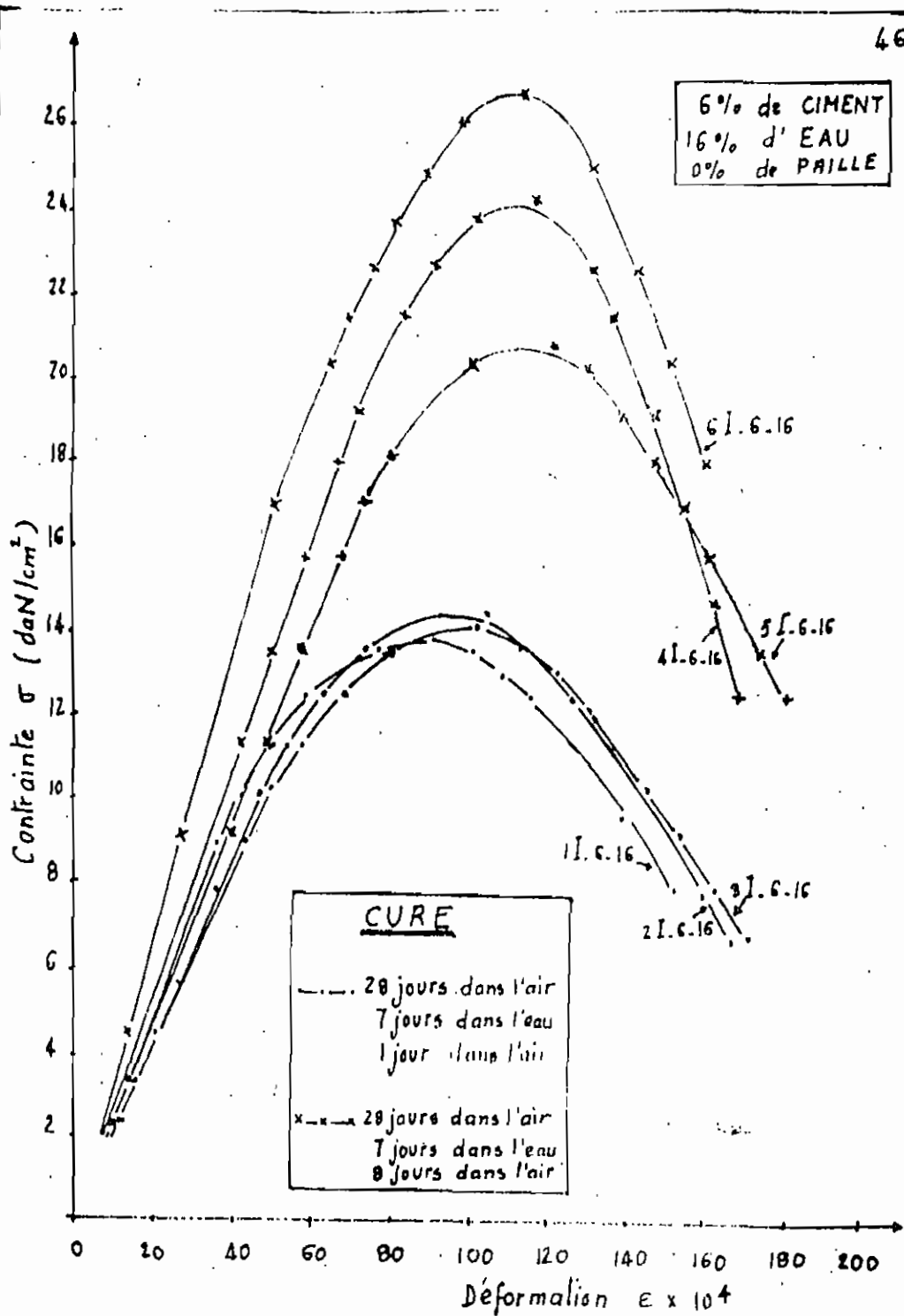


Fig A.8: Courbes Contrainte - Déformation
 Influence de 7 jours d'immersion sur la résistance
 à la compression (cylindres standards)

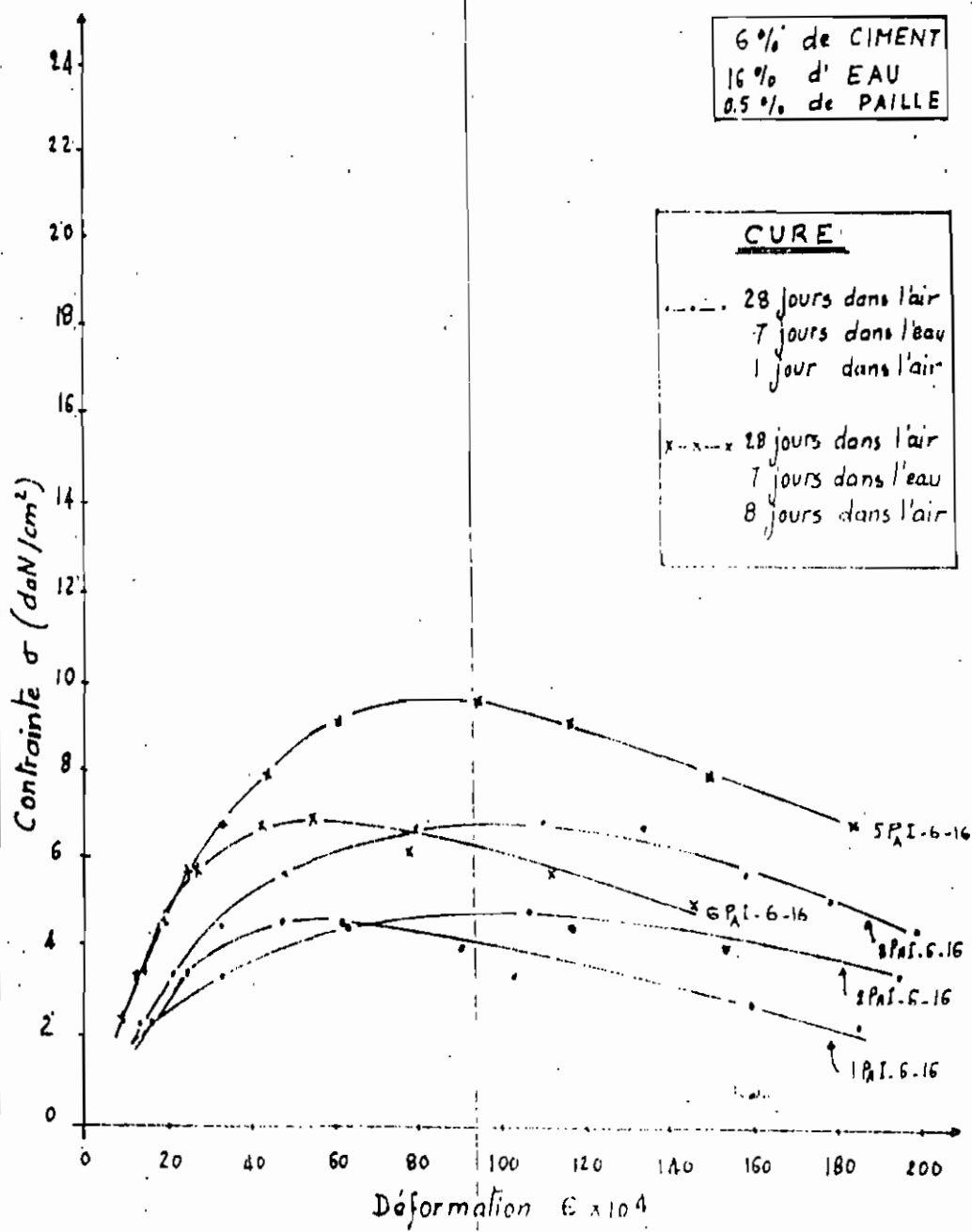


Fig 4.9 : Contraite . Déformation

Influence de 7 jours d'immersion sur la résistance à la compression (cylindres standards)

Phase 3 - Projet de M^{re} Cheikh Fall et A. Guette
(1982)

Objectifs :

- Confirmer les résultats obtenus dans les phases précédentes
- Déterminer le comportement du géobéton à la tension et à l'érosion
- Essais sur briques
- Analyse structurale d'une toiture en cupole -

Résultats :

Les études ont été faites sur la latérite brune au lieu de la latérite rouge comme initialement prévu.

δ_d opt	w% opt	D ₆₀	D ₁₀	C _u	C _c	WL	WP	IP	M	% Passant 200
1,38	15,2	4,8	1,2	4,98	0,044	44,0	24,46	19,54	6	<5%

Indice d'agrégation	IA = 1,25...
Sensibilité au remaniement	Sensible
gonflement	Presque pas de gonflement -

La latérite brune semble être à un stade intermédiaire entre les latérites normales et les latérites à problème -
Mais elle est classée parmi les latérites normales car IA dépasse peu la limite qui est égale à 1

D'après la classification unifiée des Etats-Unis adaptée aux latérites, nous avons un sol graveleux non étalé avec peu de fines -

- La superposition des courbes contraintes-déformations de deux sortes de latérite montre une baisse de capacité à la compression de la latérite brune par rapport à la latérite rouge - Ceci permet de confirmer que certaines caractéristiques géotechniques (densité sèche, granulométrie) influencent considérablement la résistance - fig(3.2)

- L'essai brésilien effectué sur des cylindres de latérite rouge stabilisée donne une capacité à la tension de $0,15 \text{ MPa}$ - Ce qui correspond à $9,1\%$ de la capacité moyenne à la compression égale à $1,65 \text{ MPa}$

- Simulation avec un jet, de vitesse $7,43 \text{ m/s}$, de pression $27,60 \text{ kN/m}^2$ pendant 33 heures, sur une brique. L'augmentation de $0,4 \text{ m}$ du trou aménagé montre que le géobéton résiste à l'action des précipitations -

- Du fait de la redistribution des contraintes, la résistance à la compression des briques est égale à $1,33$ fois celle des cylindres

- L'analyse structurale de la coupole montre que les niveaux de résistance atteints sont tout à fait suffisants
Solicitations maximum $\rightarrow 0,13 \text{ MPa}$ en compression
 $0,061 \text{ MPa}$ en tension

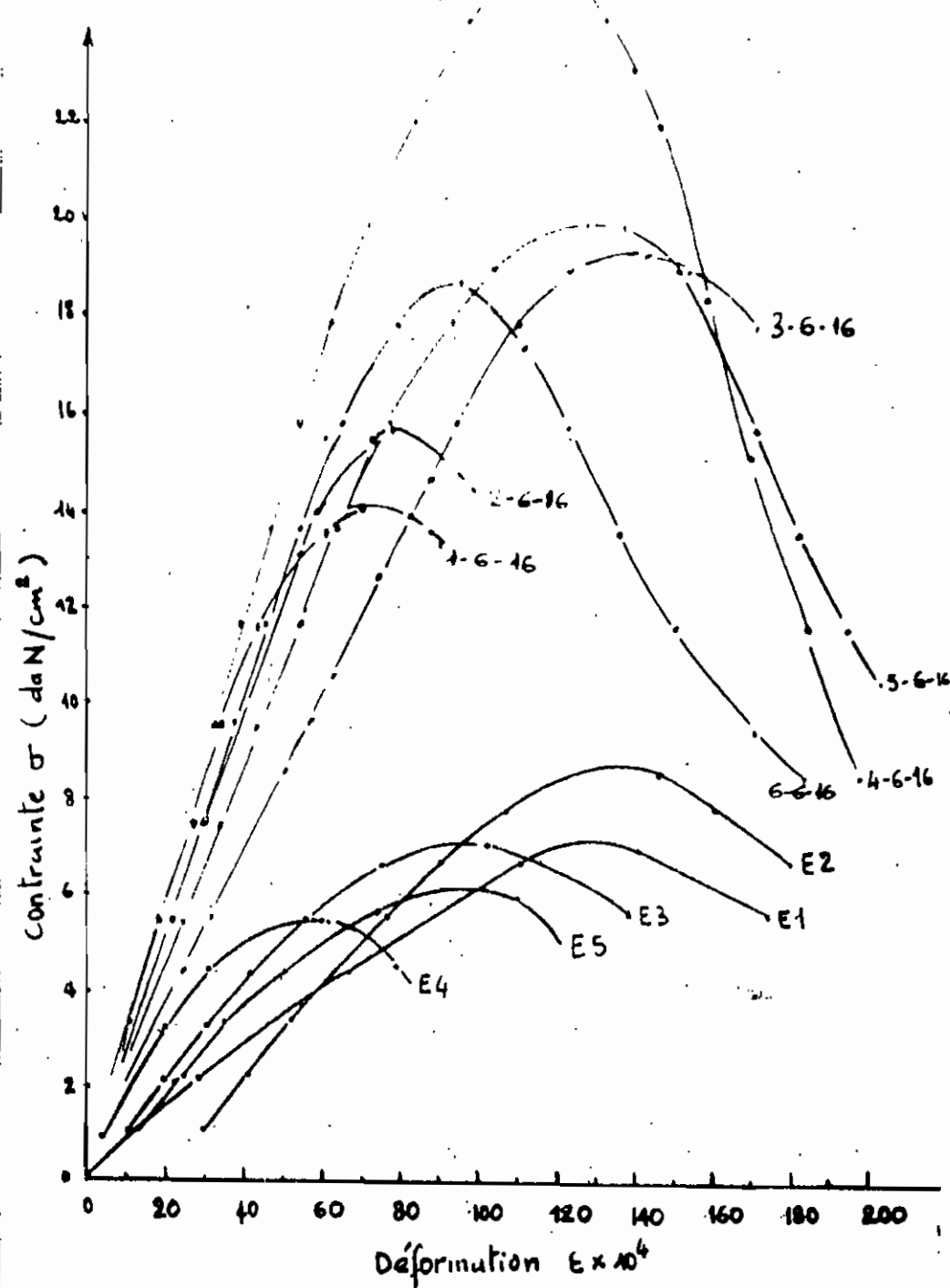


Fig 3.2 Courbes contrainte-déformation

Phase 4 : Projet de fin d'Études de
M^r A Diallo et M^r Gueye

Objectifs :

- Confirmer les résultats obtenus dans les phases ~~précédentes~~
- Chercher à améliorer les caractéristiques géotechniques qui contrôlent la résistance
- Analyse structurale d'une coupole.

Résultats :

- Nous avons une confirmation des résultats précédents -
- A teneur en ciment fixe, la résistance est fonction de la densité sèche, fig (5.9), qui varie avec la granulométrie et la pression de compactage -
- les courbes fig (5.10) (5.11) (5.12) montrent l'influence de l'apport de sable et/ou la pression de compactage sur les résistances -
- L'analyse structurale montre que la résistance en compression des briques est suffisante (2 MPa)
Nous pouvons conclure que ce sont les sollicitations de tension qui déterminent l'aptitude des briques en géobéton à être utilisées pour la construction -

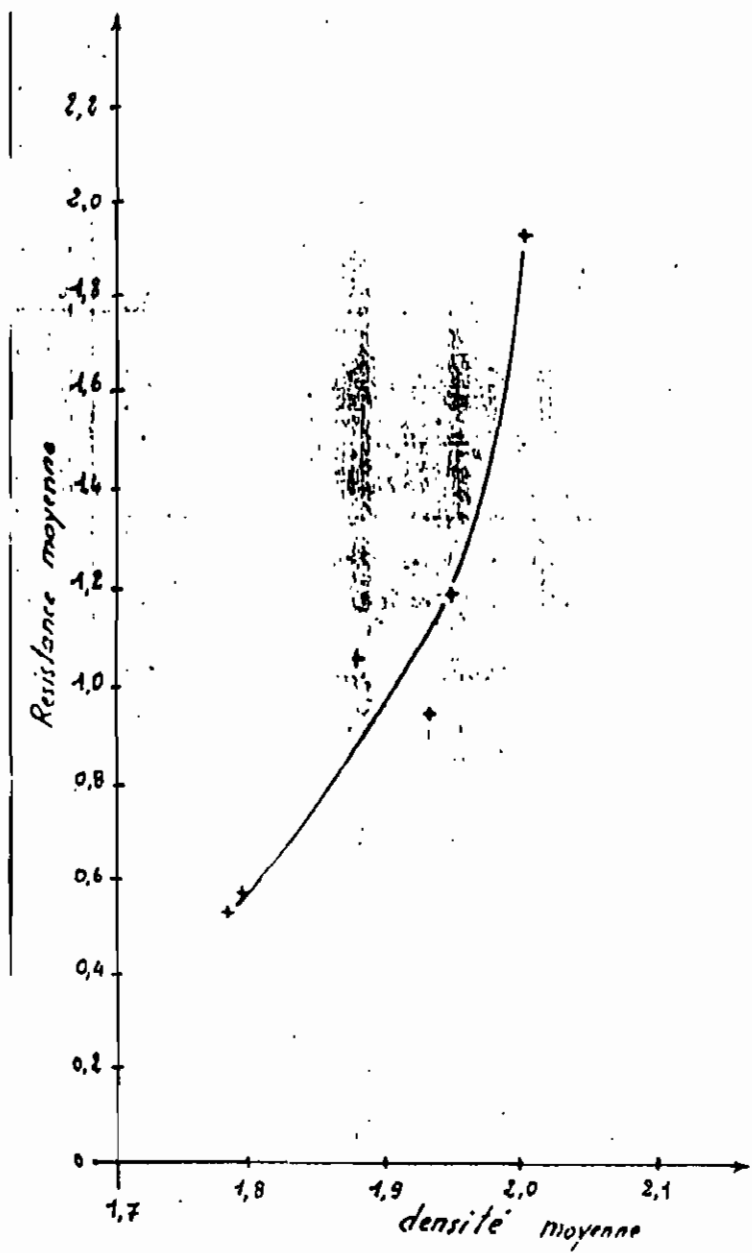


Fig 5.9 : Courbe Résistance - Densité
Influence de la densité

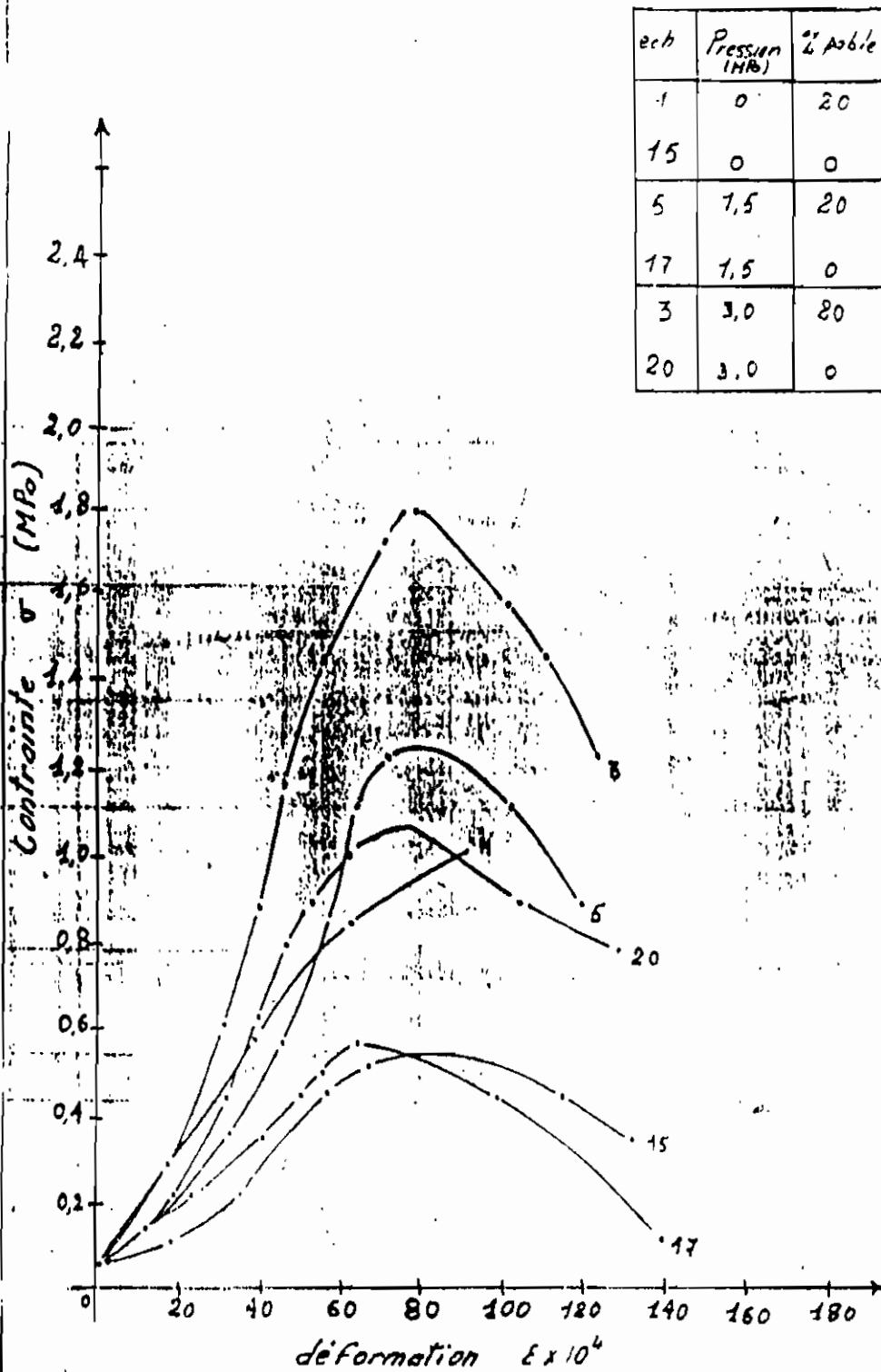


Fig. 5.10: Courbes Contrainte-déformation

Influence du sable

(cylindres standards)

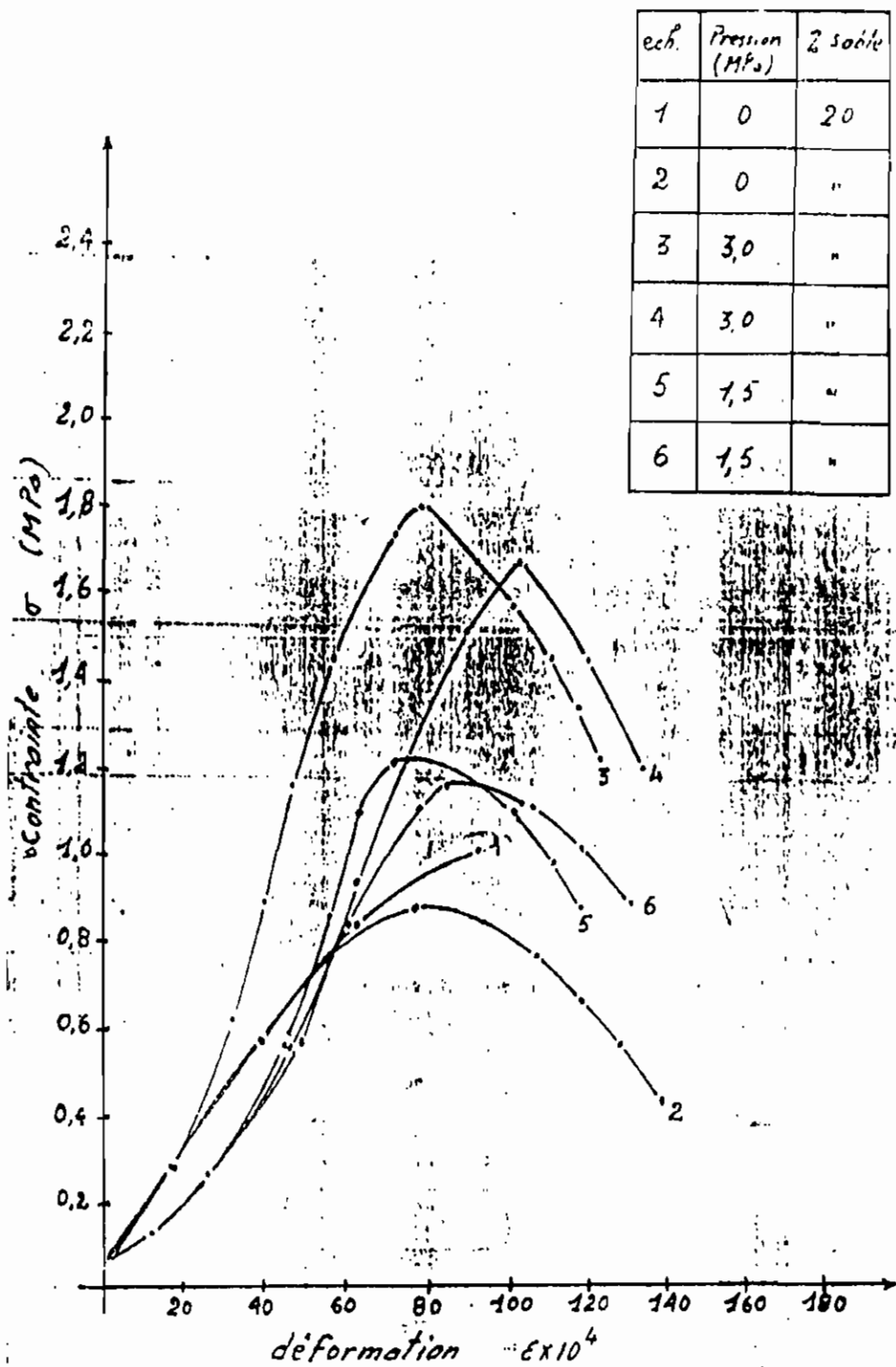


Fig. 5.21 : Courbes Contrainte - déformation

Influence de la pression de compactage

(cylindres standards)

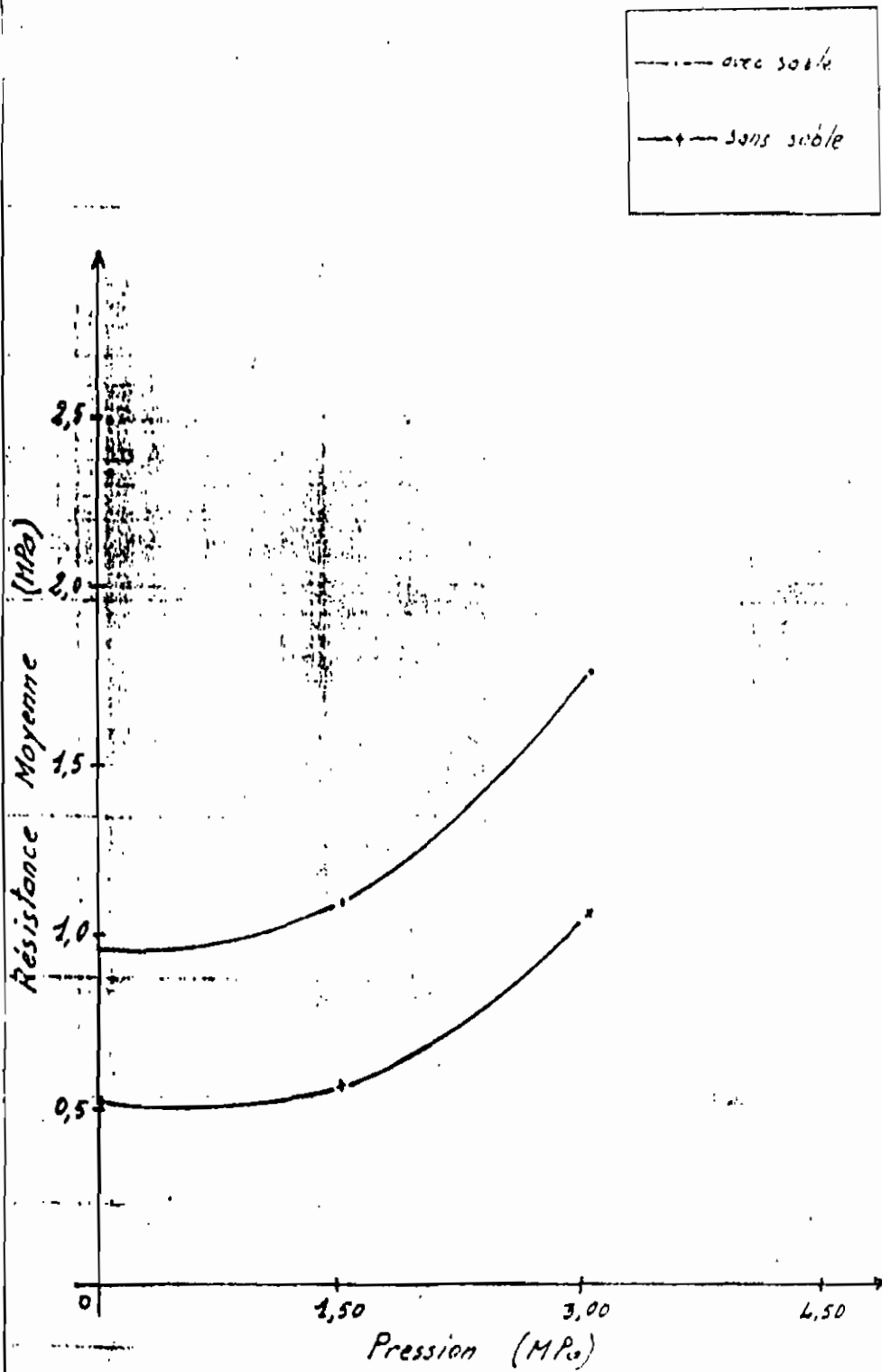


Fig. 5.22: Courbe Résistance - Pression
Influence du sable et de la pression
 (cylindres standards)

Phase 5 : Projet de Fin d'Etudes de
M^r D. Diagne et A.H. Diouf
1984

Objectifs :

- Vérifier les résultats obtenus sur les phases précédentes
- Identifier les paramètres qui influencent la résistance en compression et le comportement des latérites, afin de les contrôler et de proposer des améliorations
- Analyse statistique des résultats

Résultats :

- le tableau (5.1) donne un récapitulatif des caractéristiques géotechniques des latérites rouge et brune
- la résistance en compression augmente avec la teneur en ciment de 4% à 14%. Mais au delà, la résistance n'étant plus contrôlée par la pâte, un gain substantiel de résistance n'est plus assuré. [rupture au niveau des granulats] fig (5.1)
- les latérites peuvent être améliorées au moyen d'apports ou de coupures granulaires - la courbe Fig (6.3) donne le pourcentage de sable optimal - les figures (6.4) (6.5) montrent les courbes granulométriques des latérites améliorées -
- L'étude statistique donne les probabilités auxquelles on peut s'attendre pour un dosage fixé et une résistance fixée (Tableau 5.3) -

Tableaux des caractéristiques géotechniques

Tableau 5.1

	γ_{opt}	$w_{opt}^{\%}$	D_{60}	D_{10}	C_u	C_c
Laterite rouge	2.05	13.8	5.5	0.07	107.1	4.2
Laterite brune	1.88	15.2	4.8	1.2	4.98	0.044

Tableau 5.1 (suite)

	$w_L^{\%}$	$w_p^{\%}$	I_p	Densité en vase (g/cm^3)	Densité pilonnée (g/cm^3)	Durabilité % peales
Laterite rouge	33	21.3	11.7	1.55	1.80	53.06
Laterite brune	44	24.46	19.54	1.41	1.72	57.46

Tableau 5.1 (suite) laterite brune.

Indice d'agrégation	$I.A = 1.25$
Sensibilité au remaniement	sensible
Gonflement	$< 10\%$ de la hauteur initiale.

34.

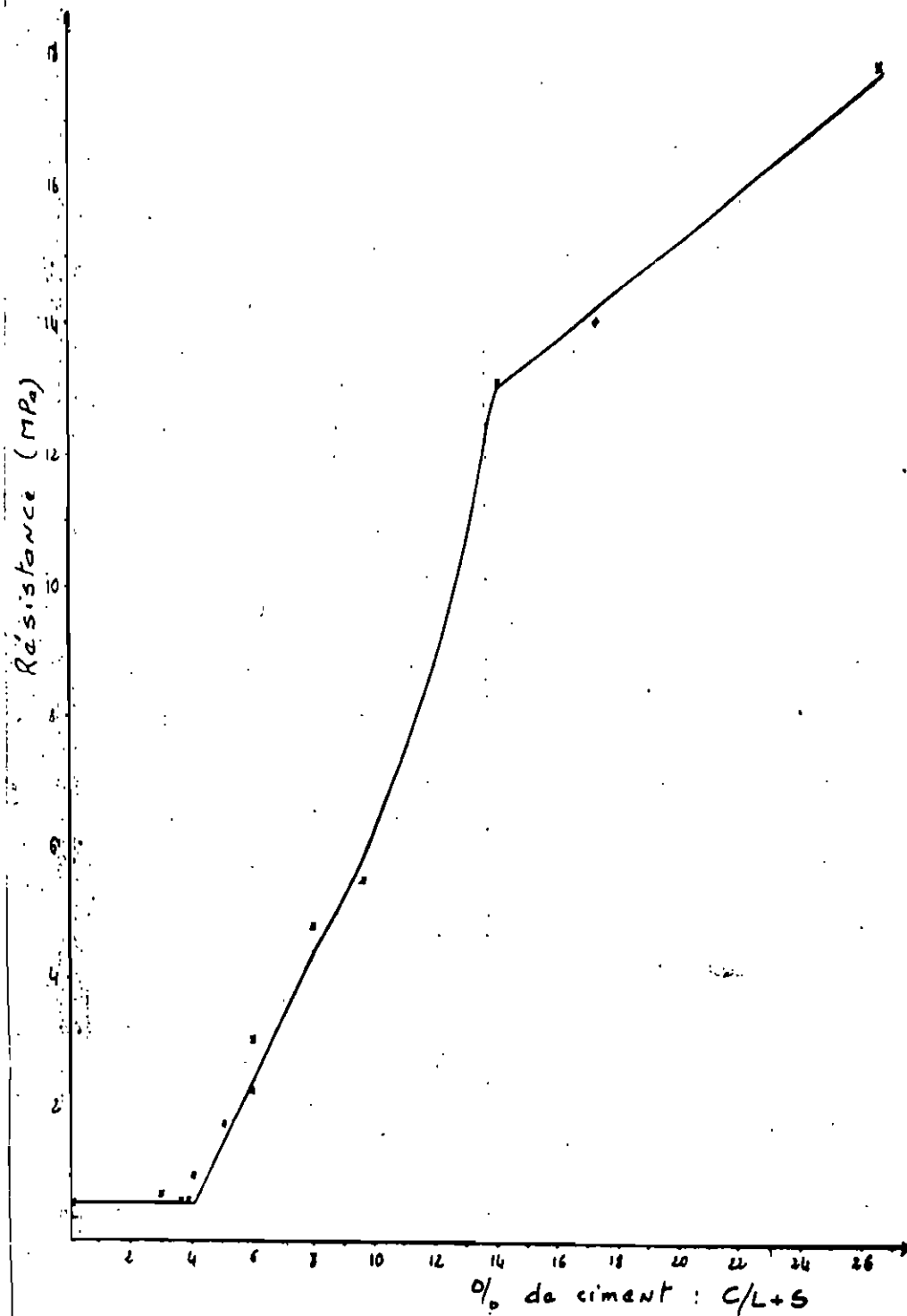


FIG 6.1 Courbe : Résistance versus pourcentage de ciment

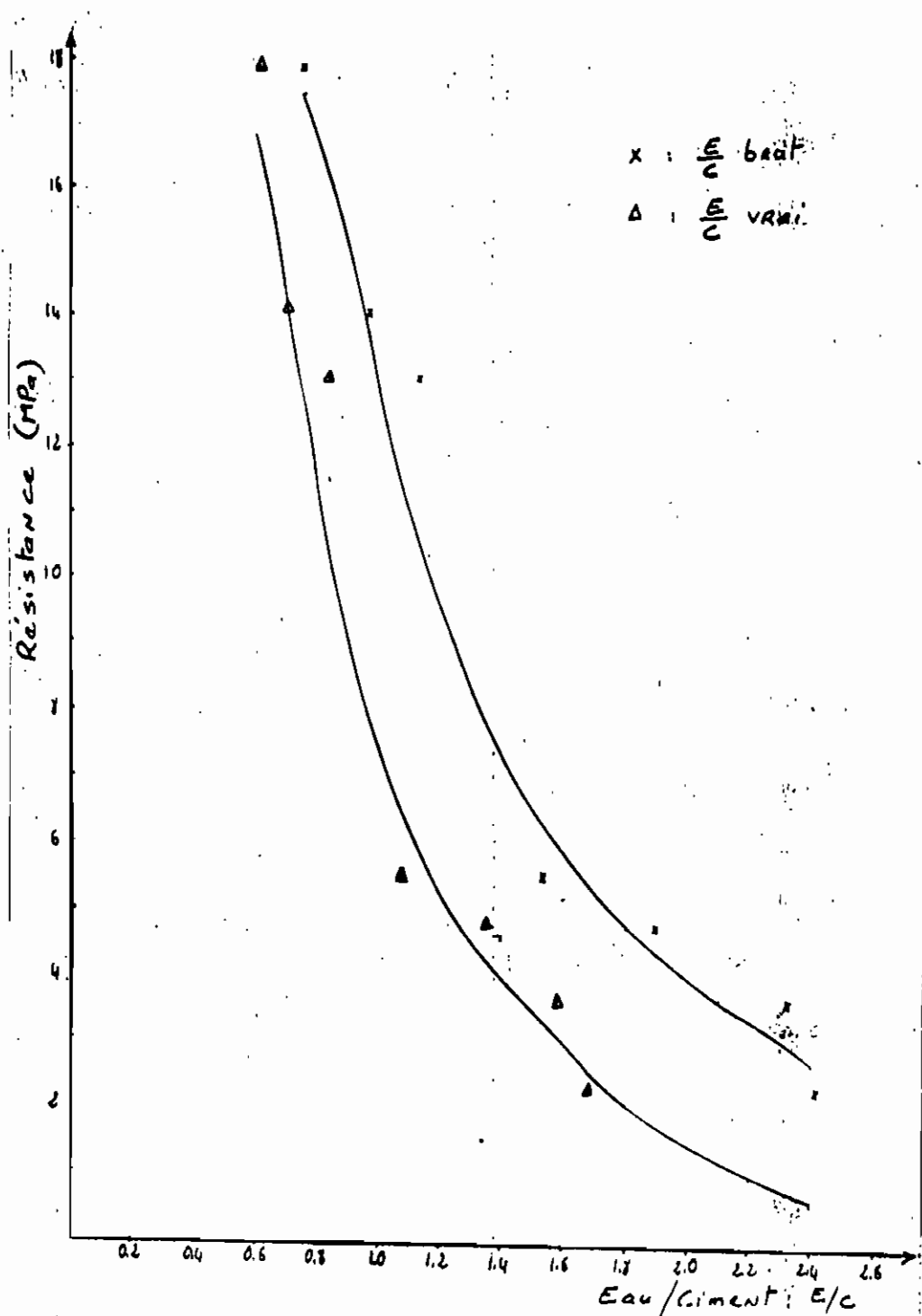


FIG 6.2 Courbes résistance versus eau/ciment

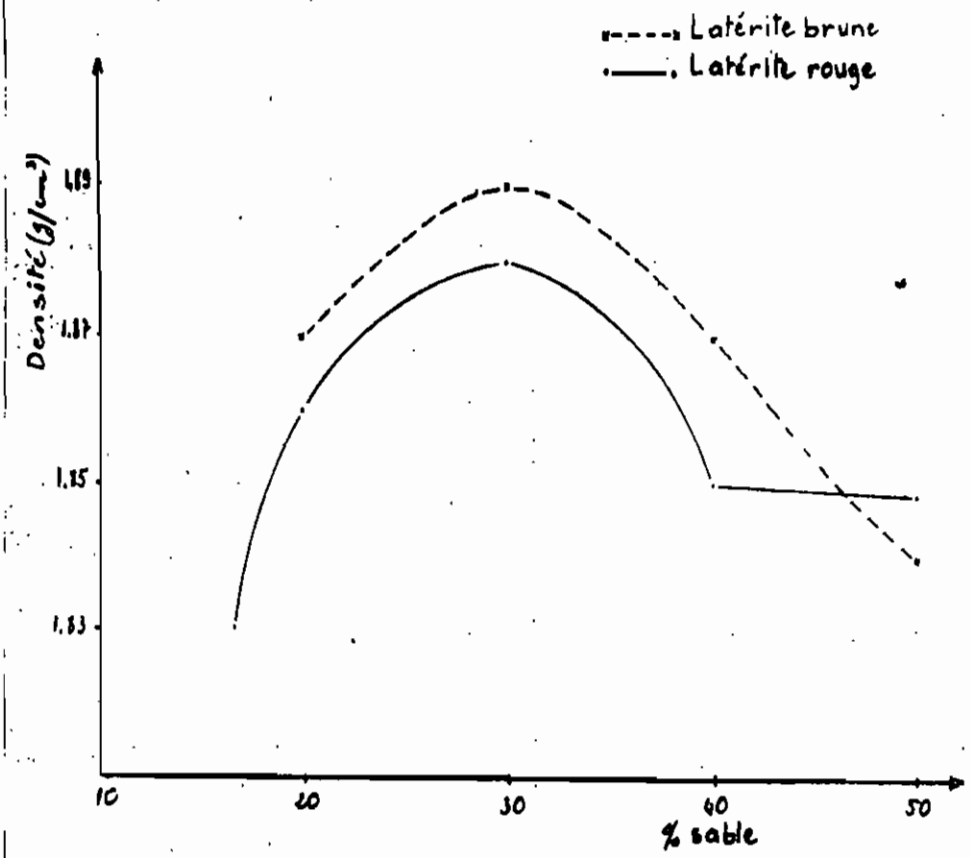


FIG 63 Courbe de la densité versus pourcentage de sable pour la latérite brune améliorée et pour la latérite rouge améliorée

	Densité en vrac (g/cm ³)	Densité pilonnée (g/cm ³)
Latérite brune brute	1.41	1.72
Latérite rouge brute	1.55	1.80

Tableau 5.2 Densité en vrac et densité pilonnée des latérites brune et rouge non améliorées (brutes)

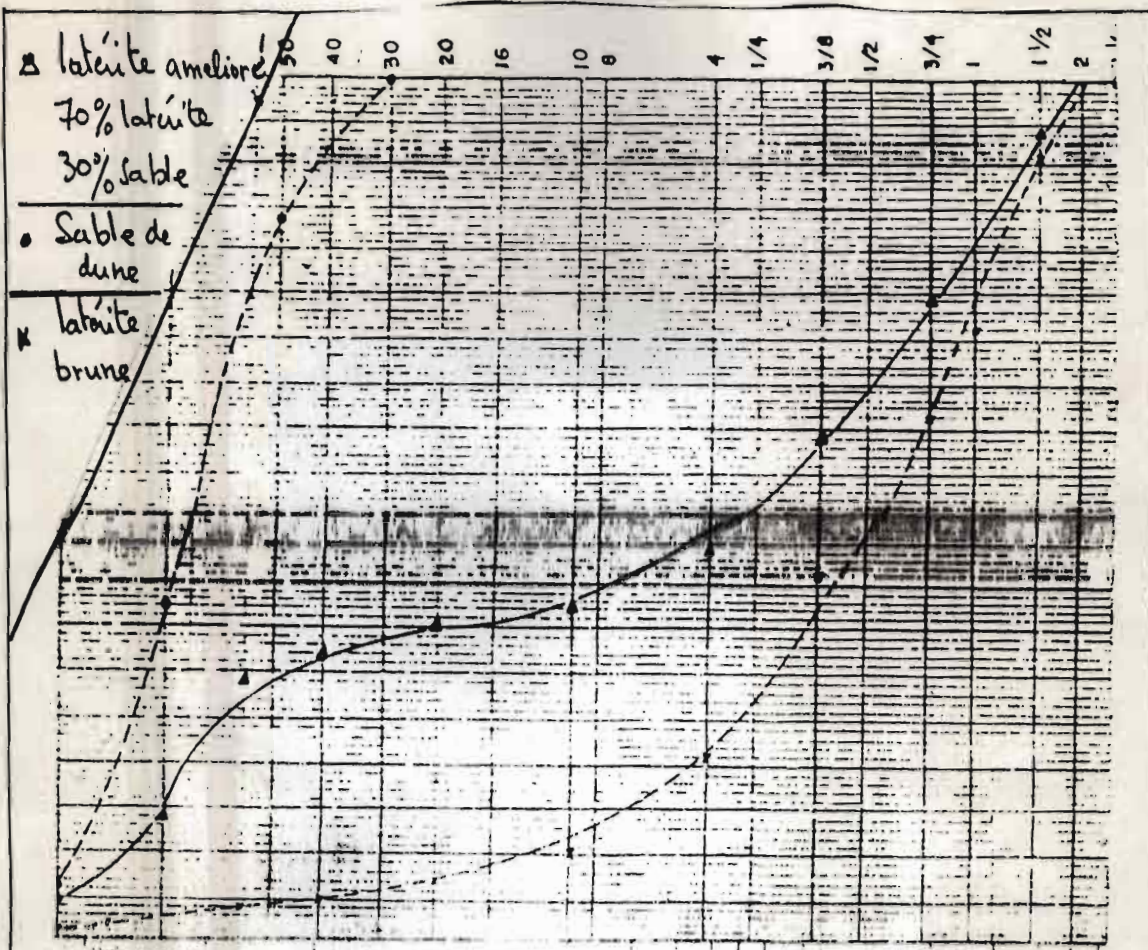


Fig 6.4 Courbe granulométrique de la latérite améliorée -

Probabilités garanties pour les résistances 0,5 et 1,0 MPa

Tableau 5.3

Type de latérite	Posage en ciment	Moyenne \bar{x}	Ecart type σ	Résistance Spécifiée	Probabilité garantie
latérite brune	6%	1,145	0,843	0,5	77,8%
		1,145	0,843	1,0	56,8%
latérite rouge	6%	1,443	0,612	0,5	93,8%
		1,443	0,612	1,0	76,4%
latérite rouge et brune	6%	1,287	0,757	0,5	85%
				1,0	64,8%