

ECOLE POLYTECHNIQUE
DE
THIES

GENIE
CIVIL
1980

G.C.0382

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE . La laterite - materiau de
construction

AUTEUR

Elhadj Mamadou MOUSSA
THIAM

Mamadou DIAGNE

DIRECTEUR DE PROJET

Roger LUPIEN

CO-DIRECTEUR

Fernand MORIN

1. 1 1 1 1

DE DIE A

Mon très cher et regretté Compagnon Mouhammadou Moustar DIAGNE

REMERCIEMENTS

J'adresse de vifs remerciements à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce projet, en premier lieu mon coéquipier El Hadji THIAM qui présentera d'ailleurs une thèse complémentaire à celle-ci et mon directeur de projet Roger LUPJAN qui a toujours été à nos côtés même lors des travaux purment manuels et qui n'a manqué de porter une attention particulière à toutes nos entreprises.

Je remercie également Mr MORIN professeur à l'E.P. et M.M. N'DONG et ARIBENUTE ingénieurs au C.E.R.E.E.Q. qui nous ont beaucoup aidés en mettant à notre disposition toute la documentation disponible.

Je remercie tout particulièrement Mademoiselle Aminata GUEYE secrétaire Dactylo à l'E.P.T. qui a dépensé toute son énergie pour la mise au page de cette thèse.

— / — SOMMAIRE — — — — —

Le but de ce projet est de faire une étude de la résistance de la latérite pour son utilisation dans la construction, pour cela la procédure suivante a été suivie.

- Etude des caractéristiques de deux latérites en provenance de la carrière de Thiès, cette partie nous a permis de choisir une des latérites pour la suite du projet.
- Essais de résistance de la latérite pure sur 17 échantillons à différentes teneurs en eau.
- Essais de résistance de la latérite construite avec paille sur 5 échantillons.
- Essais de résistance de la latérite stabilisée au ciment avec 9 échantillons à différents dosages.

Le sujet est purement expérimental et tout le travail a été effectué à l'aide du matériel des laboratoires de mécanique des sols et de béton de l'E.P.T.

Le but du projet a été presque atteint car les résultats obtenus sont assez prometteurs.

LEOENDE

- A = Aire (M²)
- E = Module d'élasticité (KN/M²)
- L = Longueur d'un échantillon (M)
- W = Teneur en eau (%)
- P = Charge appliquée (KN)
- σ = Contrainte appliquée = $\frac{P}{A}$ (KN/M²)
- d_s = Densité sèche $\frac{Kg}{M^3}$
- W_L = Limite de liquidité (%)
- W_P = Limite de plasticité (%)
- C_U = Coefficient d'uniformité
- C_C = Coefficient de concentration
- ϵ = Déformation unitaire = $\frac{\Delta}{L}$
- Δ = Déformations
- ϕ = Diamètre de l'échantillon

TABLE DE MATIERES

	<u>TITRES</u>	<u>PAGES</u>
<u>CHAPITRE I</u>	Introduction	1
1 - 1	Avant-propos	1
1 - 2	Objet du sujet	1
1 - 3	Limite et Etendu du sujet	1
<u>CHAPITRE II</u>	Généralités sur les latérites	3
2 - 1	Définition et Historique	3
2 - 2	Latérisation	4
2 - 3	Caractéristiques	4
2.3.1	Caractéristiques morphologiques et Physiques	4
2.3.2	Caractéristiques chimiques et minéralo- giques	5
2.d	Disponibilité et utilisation au Sénégal	6
<u>CHAPITRE III</u>	Etude physique des latérites	7
3 - 1	Approvisionnement en latérite	7
3 - 2	Caractéristiques des latérites de la carrière de Thiès	7
3 - 3	Choix de la latérite rouge	16

CHAPITRE IV

	Résistance de la latérite pure	17
4 - 1	Caractéristiques des échantillons	17
4 - 2	Préparation des échantillons	17
4 - 3	Résistance des échantillons à 21,6 % d'eau : Série A	16
4 - 4	Résistance de la latérite à 25 % d'eau : Série B	18
4 - 5	Résistance de la latérite à 23, 45 % d'eau : Série E	27
4 - 6	Influence de la teneur en eau sur la résistance	31

CHAPITRE V

	Résistance de la latérite construite avec paille	33
5 - 1	Construction des échantillons	33
5 - 2	Résultats	33
5 - 3	Influence de la paille	44

CHAPITRE VI

	Latérite stabilisée par le ciment	45
6 - 1	Quelques pratiques de la stabilisation	45
6.1.1	Stabilisation sans apport de stabilisant	45
6.1.1.1	Amélioration par densification	45
6.1.1.2	Amélioration par correction de la gra- nulométrie	46
6.1.2	Stabilisation avec apport de stabilisant	48
6.1.2.1	Stabilisants chimiquement inertes	48
6.1.2.2	Stabilisants physico-chimiques	48
6 - 2	Stabilisation par le ciment	48

6.2.1	Utilité	48
6.2.2	Construction des échantillons	49
6.2.3	Description des échantillons	49
6.2.4	Résultats des essais	50
6.2.5	Rôle du ciment dans la stabilisation	70
6 - 3	Stabilisation à la chaux	73
	Discussions	74
	Conclusion	76
	Bibliographie	77
	Annexe : Résultats et Recommandations de certains auteurs	78

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1 - 1 AVANT-PROPOS

L'utilisation des latérites à des fins de construction est une pratique très ancienne qui se présente sous diverses formes à travers le monde entier, d'ailleurs le mot latérite a pour racine "later" qui signifie brique en latin. Ainsi donc les latérites de part leur propriétés représentent des éléments très appropriés pour la construction et en tant que matériau de construction elles sont connues sous des appellations variées compte tenu de leur nature et des pratiques relatives à leur usage : banco, terre cuite, later etc... A l'heure actuelle encore les constructions en terre sont très nombreuses en Afrique et parfois même on trouve des bâtiments en étages ou des mosquées entièrement en banco.

1 - 2 OBJET DU SUJET

Compte tenu des usages des latérites qui viennent d'être mentionnés, une étude pour déterminer les résistances de celles-ci s'impose. Il s'agira de partir des caractéristiques propres des latérites et de trouver leurs capacités en fonction de certains paramètres variables tels que les teneurs en eau, en ciment, en chaux etc...

Le but de ces études est d'envoyer d'abord puis de contrôler et rationaliser ensuite leur utilisation comme matériaux de construction.

1 - 3 LIMITES ET CONTENU DU SUJET

En raison de certaines contraintes nous n'avons pu disposer que de deux catégories de latérites provenant de la carrière de Thiès sur les-

quelles ont été effectuées des études préliminaires telles que la granulométrie et les limites d'atterberg, les résultats de ces études ont conduit au choix d'une latérite pour la suite du projet avec les étapes suivantes :

- Essais de résistance sur des cylindres en latérite sans additif.
- Essais de résistance sur des cylindres en latérite avec différents dosages de ciment.
- Essais de résistance sur des cylindres en latérite avec différents dosages de ciment et de chaux, cette dernière partie sera traitée en détail par mon codépartementaire dans sa thèse.

Ces différents essais en plus de fournir les résistances ultimes des échantillons donnent certains renseignements sur les performances possibles de la latérite stabilisée à différents dosages d'additifs.

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LES LATÉRITES

2.1.1 DEFINITION ET HISTORIQUE

Il y a un peu plus d'un siècle et demi que le terme "latérite" a fait son apparition dans la littérature scientifique.

BUCHANAN (1807) a été l'un des premiers scientifiques à utiliser le mot latérite pour désigner un matériau servant à la construction et exploité dans les régions montagneuses de MALABAR (Inde). Ce matériau présente l'aspect d'un dépôt ferruginisé, à morphologie vésiculaire, il est apparemment non stratifié et se situe à faible profondeur dans le sol. L'originalité de la formation décrite pour la première fois par BUCHANAN sous le nom de latérite réside dans sa consistance molle lorsqu'il est en place et dans sa facilité à s'indurcir rapidement lorsqu'il est exposé à l'air.

Après la 2e guerre mondiale on étend la définition de la latérite aux sols tropicaux ayant un rapport SiO_2 / Al_2O_3 inférieur à 2 en 1962 deux grands chercheurs (Alexandre et Gady) donnent la définition suivante de la latérite.

"La latérite est un matériau fortement altéré, riche en oxyde secondaire de fer, d'alumine ou des deux ensembles. Elle est à peu près dépourvue de silicates primaires, mais peut contenir de grandes quantités de Quartz et de kaolinite. Ce matériau peut être durci en place ou s'indurcir seulement après humidifications et déséchantements successifs".

Pour les besoins de l'ingénieur civil, la définition suivante peut être adoptée :

LATERITES : Tous sols résiduels rougeâtre et tous sols non-résiduels ay. subis les processus d'altération tropicale. Ces sols se situent dans une chaîne de matériaux allant de la roche décomposée, aux argiles et aux cuirassons (ou croûtes indurées) riches en sesquioxides.

2 - 2 LATERISATION

Le processus de latérisation ou ferralitisation, qui définit les sols latéritiques est constitué par un ensemble de phénomènes qui aboutissent à une altération extrêmement poussée de la roche mère du sol et à une individualisation des éléments tels que la silice, les oxydes, les hydroxy et les hydrates métalliques, l'intensité du processus de latérisation est mesuré en tenant compte du rapport des sesquioxides :

soit le rapport $\frac{\text{Si O}_2}{\text{Fe}_2 \text{O}_3 + \text{Al}_2 \text{O}_3}$, ce rapport peut servir

également de classification des latérites.

Ainsi pour un rapport de moins de 1,33 on a une vraie latérite.

Pour un rapport compris entre 1,33 et 2,00 on a un sol latéritique.

Pour un rapport de plus de 2,00 on a un sol non latéritique

2 - 3 CARACTERISTIQUES

2.3.1 Caractéristiques morphologiques et physiques

- Structure

Elle est très variée et peut prendre les formes suivantes :

- . Structure homogène ou continue
- . Structure hétérogène ou discontinue
- . Structure ordonnée

- COULEUR

La couleur varie beaucoup mais elle a généralement une intensité vive

Les latérites les plus courantes sont, roses, ocre, rouges ou brunes la coloration est surtout due aux oxydes de fer et d'alumine plus ou moins hydratés et parfois aussi en manganèse.

- DENSITE

Elle est beaucoup influencée par la composition chimique de la latérite et varie très largement (2,5 à 3,6). Elle augmente avec la teneur en fer et diminue avec celle de l'alumine, et les formes hydratées sont moins dense que les formes oxydées.

2.3.2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

Les latérites se distinguent par leurs teneurs élevées en oxydes de fer et d'Alumine par rapports aux autres composants. Dans certaines latérites ce sont les oxydes de fer qui sont en excès dans d'autres ce sont les oxydes d'Alumine qui le sont.

On trouve également dans les latérites de faibles quantités de silice, de manganèse, de quartz etc...

Il est à noter que les caractéristiques chimiques et minéralogiques influencent beaucoup sur la couleur d'une latérite.

- 2 - 4 DISPONIBILITE ET UTILISATION AU SENEGAL

La latérite existe en quantité suffisante dans différentes régions du Sénégal (Sénégal Oriental, région du fleuve, région de Thiès)

Cette latérite se présente généralement sous 2 couleurs :

- l'une rouge, c'est la plus abondante elle est riche en oxyde de fer
- l'autre jaunâtre riche en Alumine

La latérite est largement utilisée au Sénégal notamment pour le remblayage des routes, le nivellement des zones d'habitation et dans les constructions de logements (région du Fleuve).

CHAPITRE III

ETUDE PHYSIQUE DES LATÉRITES

3 - 1 APPROVISIONNEMENT EN LATÉRITE

Le but de ce projet étant de faire une étude des propriétés des latérites pour leur utilisation éventuelle dans la construction, il serait très intéressant de voir les relations qui peuvent exister entre les caractéristiques physiques des latérites et leurs résistances.

Pour cela il est nécessaire de disposer d'une large variété de latérites qui donneraient de plus amples informations. Mais compte tenu de certaines contraintes telles que : le manque de temps, les difficultés d'approvisionnements à de longues distances ainsi que les difficultés techniques qui poseraient des analyses de plusieurs latérites à la fois, nous n'avons pu étudier que 2 catégories de latérites provenant de la carrière de Thiès. Notre approvisionnement en latérite à la carrière de Thiès a été guidé par les raisons suivantes :

- On travaille dans un domaine encore inconnu et on a pas de raisons à priori de laisser une latérite pour prendre une autre à sa place.
- La carrière de Thiès était la plus proche et cela faciliterait donc énormément l'approvisionnement avec un gain de temps appréciable.

3 - 2 CARACTERISTIQUES DES LATÉRITES DE LA CARRIÈRE DE THIES

Les résultats des études granulométriques et des limites d'Atterberg pour les 2 latérites sont présentés dans ce paragraphe-ci.

Nous n'avons pas fait l'essai proctor, mais les techniciens du laboratoire de mécanique des sols ont fait l'essai, ils ont trouvé pour la latérite rouge $W_{opt} = 12,9 \%$

Mesure 1

RAPPORT GRANULOMETRIE

	POIDS RETENU	POURCENTAGE RETENU	POURCENTAGE PASSANT	
3	0	0		
2	0	0		
1 1/2"	0	0	100	
1"	45	2,09	97,91	
3/4"	35	1,59	98,41	
1/2"	252	11,68	88,32	
	496	22,55	77,45	
0	523	23,77	76,23	
0	263	11,95	88,05	
0	176	8,00	92,00	
0	148	6,73	93,27	
0	196	8,91	91,09	
0	22,55	1,03	98,97	
0	37	1,70	98,30	

	POIDS RETENU	POURCENTAGE RETENU	POURCENTAGE PASSANT	Moyenne 1 et 2
3	0			
2	0			
1 1/2"	0	0	100	100
1"	96	2,413	97,587	97,25
3/4"	39	1,094	98,906	96,406
3/8"	488	19,553	80,447	82,29
4	778	21,829	68,618	61,60
5	760	21,324	78,676	39,06
6	415	11,644	88,356	27,26
7	290	7,856	92,144	19,33
8	161	4,517	95,483	17,20
9	375	10,522	89,478	3,99
10	57	1,594	98,406	2,67
11	130	3,647	96,353	

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS
LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES SOLS
LIMITES DE CONSISTANCE D'ATTEINDRE

IDENTIFICATION LATERITE ROUGE DE THIÈS

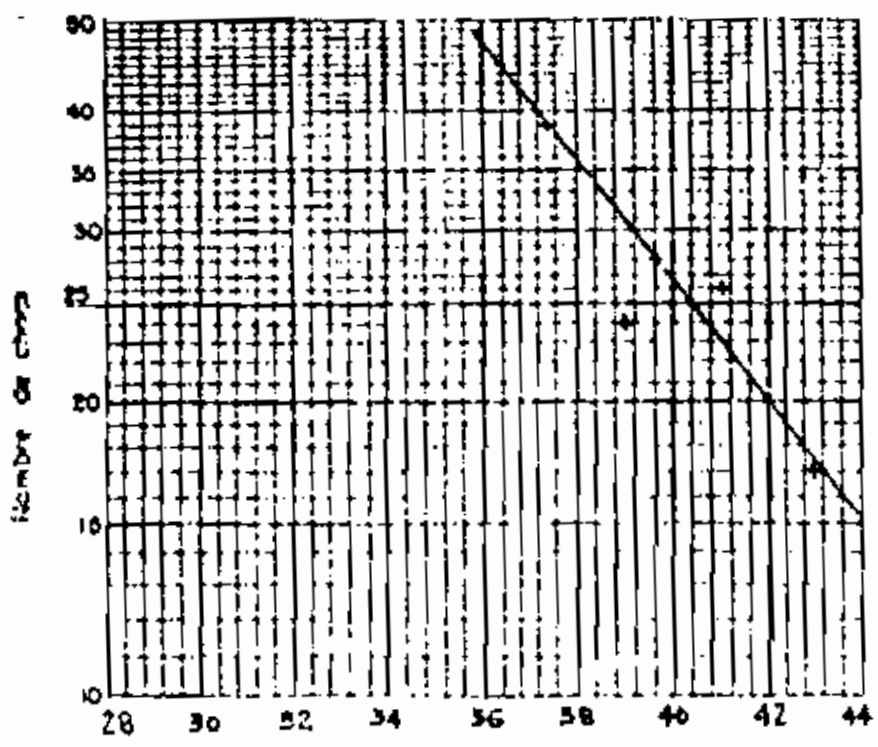
Appareil n° _____ Échantillon prélevé à _____ Manipulateur _____

Appareil n° _____ Calculé _____ Vérifié _____ Date _____

Limites de liquéfaction w_L					
Copure n°	LR 2	LR 3	LR 4	LR 5	LR 6
$w_L + \text{Tare}$	50.02	47.60	65.34	55.30	59.95
$w_L + \text{Tare}$	42.10	40.14	52.93	46.22	48.65
w_L	7.92	6.66	12.41	10.38	11.28
Tare	21.96	21.88	21.60	21.85	21.36
w_L	20.14	18.26	31.33	23.37	27.29
w_L	39.32	37.56	39.60	43.13	41.30
IS de choc	24	39	28	17	26

Limites de plasticité	
	43.13
	40.23
	2.90
	21.59
	18.64
	15.50

Teneur en eau %



Teneur en eau à la réception	
Copure n°	
$w_L + \text{Tare}$	
$w_L + \text{Tare}$	
w_L	
Tare	
w_L	
w_L	

w_L	40.2
w_P	15.5
I_P	24.7
w	
I_L	

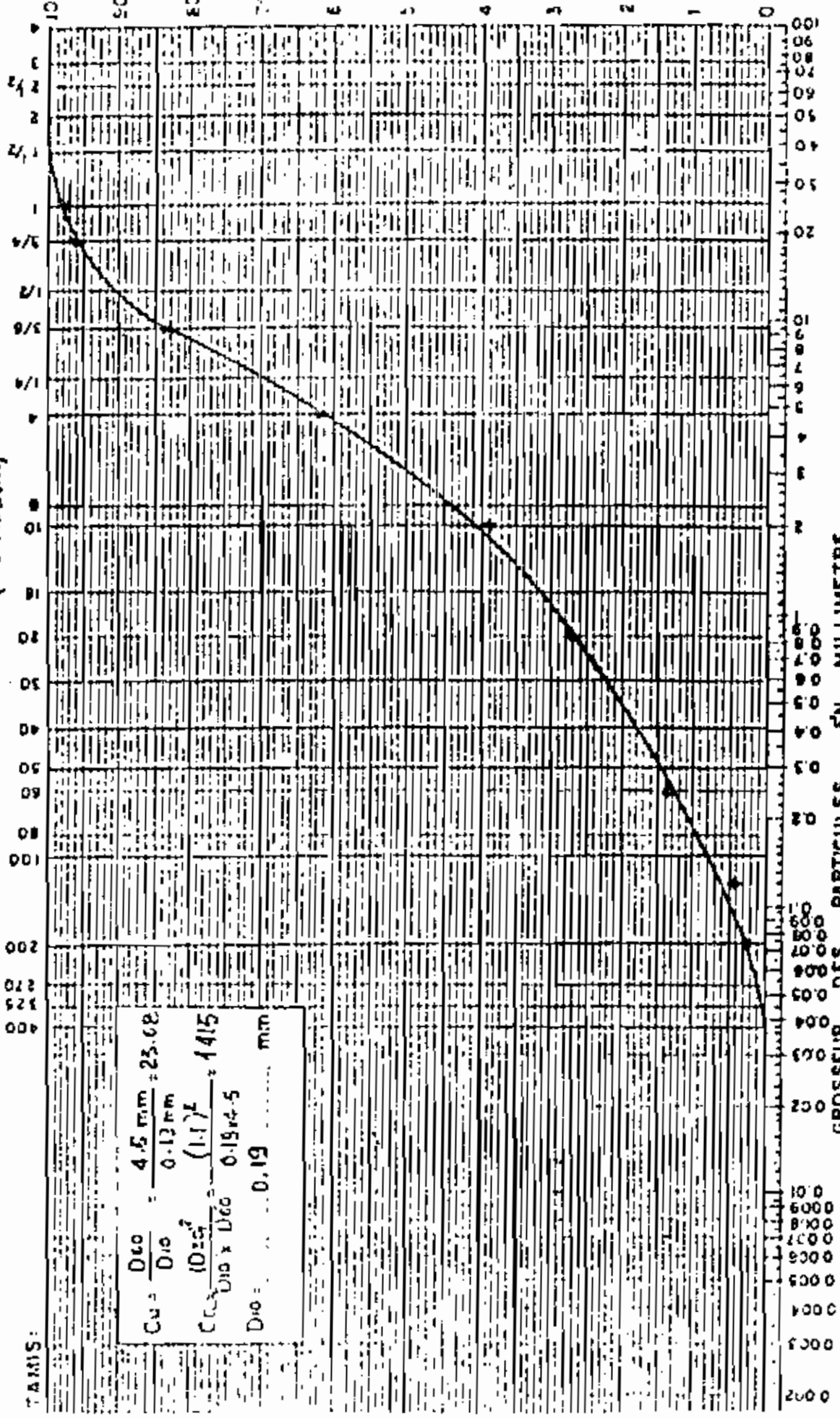
ECHANTILLON N° 2
Laitière rouge de la carrière de ...

COURBE GRANULOMETRIQUE (Moyenne) (des 2 mesures)

Date: 18 Dec 1979

TAMIS:

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4.75 \text{ mm}}{0.13 \text{ mm}} = 23.62$
 $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(1.1)^2}{0.13 \times 4.75} = 1.415$
 $D_{10} = 0.19 \text{ mm}$



GROSSEUR DES PARTICULES EN MILLIMETRE

TERRE BRUNE de THIES

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES SOLS

Mesure 1

RAPPORT GRANULOMETRIE

TAILLE NO	POIDS RETENU	POURCENTAGE RETENU	POURCENTAGE PRESENT
3	0	0	100
2"	0	0	100
1 1/2"	0	0	100
1"	241	6,36	93,44
3/4"	319	9,69	84,75
5/8"	764	20,81	63,95
4	634	17,27	46,68
10	600	16,34	30,94
20	367	9,85	20,99
40	287	7,82	13,06
60	66	1,80	11,29
100	197	5,36	5,91
200	113	3,01	2,93
passant	103	2,80	

DIAMETRE	POIDS RETENU	POIDS RETENU MOYEN	POURCENTAGE PASSANT	pourcentage passant moyenne de
3"	0	0	100	100
2"	0	0	100	100
1 1/2"	119,7	3,23	96,69	98,34
1"	61,97	1,67	95,02	94,23
3/4"	138,98	3,80	91,22	92,99
3/8"	635,98	17,41	73,91	68,88
2"	661,44	18,10	55,21	51,19
1"	618,12	16,92	38,79	34,56
3/4"	377,66	10,34	28,45	24,67
3/8"	276,21	7,56	20,89	16,98
3/16"	186,10	5,09	15,90	13,54
1/4"	311,12	9,52	7,28	6,60
1/8"	143,17	3,92	3,36	3,09
0,075"	122,90	3,36		

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS
 LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES SOLS
LIMITES DE CONSISTANCE D'ATTERBERG

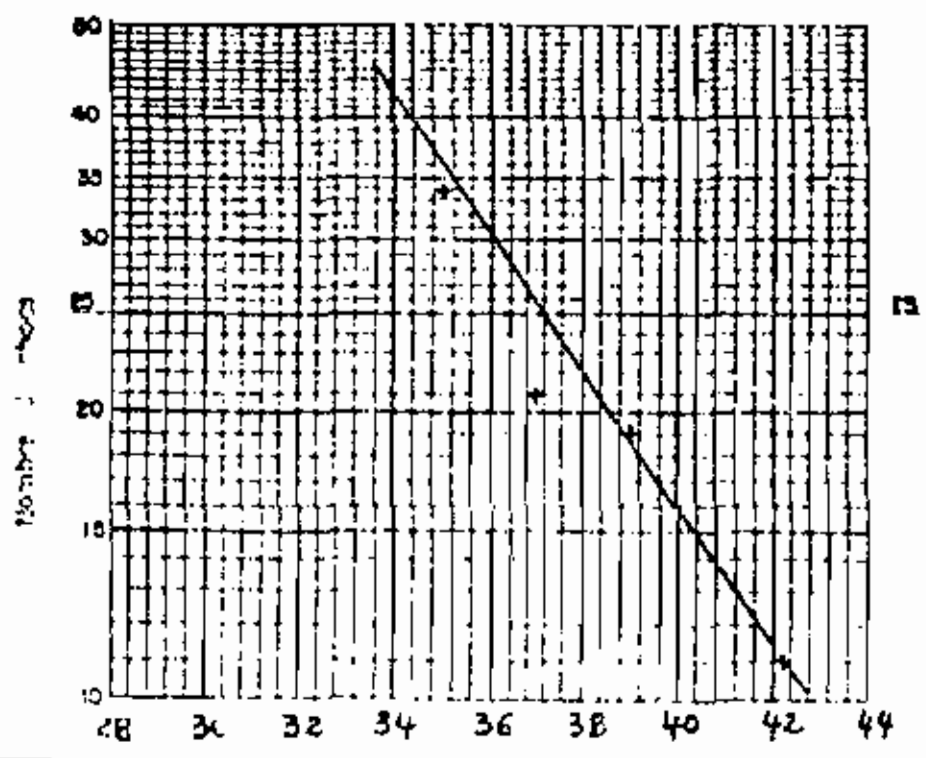
IDENTIFICATION LATERITE BRUNE DE THIÈS

Recupéré _____ Échantillon prélevé à _____ Manipulateur _____
 Appareil n° _____ Calculé _____ Vérifié _____ Date _____

Limites de liquidité W_L					
Capsule n°	B1	B2	B3	B4	B5
$W_L + \text{Tare}$	51.89	44.82	49.95	51.37	46.81
$W_D + \text{Tare}$	41.86	38.81	42.22	42.59	29.89
W_w	9.23	6.01	7.73	8.78	6.92
Tare	21.56	21.56	21.26	21.78	22.12
W_0	20.53	17.25	20.96	20.81	17.73
$w\%$	29.7	34.8	36.87	42.19	38.94
Nb de choix	39	34	21	11	19

Limites de plasticité	
2	
49.39	
44.59	
40.8	
21.56	
23.83	
20.8	

Teneur en eau %



Teneur en eau à la réception	
Capsule n°	
$W_L + \text{Tare}$	
$W_D + \text{Tare}$	
W_w	
Tare	
W_0	
$w\%$	

W_L	57.2
W_D	20.8
I_p	16.4
w	
L	

REMARQUES

ECHANTILLON: 100 2

COURBE GRANULOMETRIQUE (Moyenne des mesures)

Latérite brun de la carrière de MILES

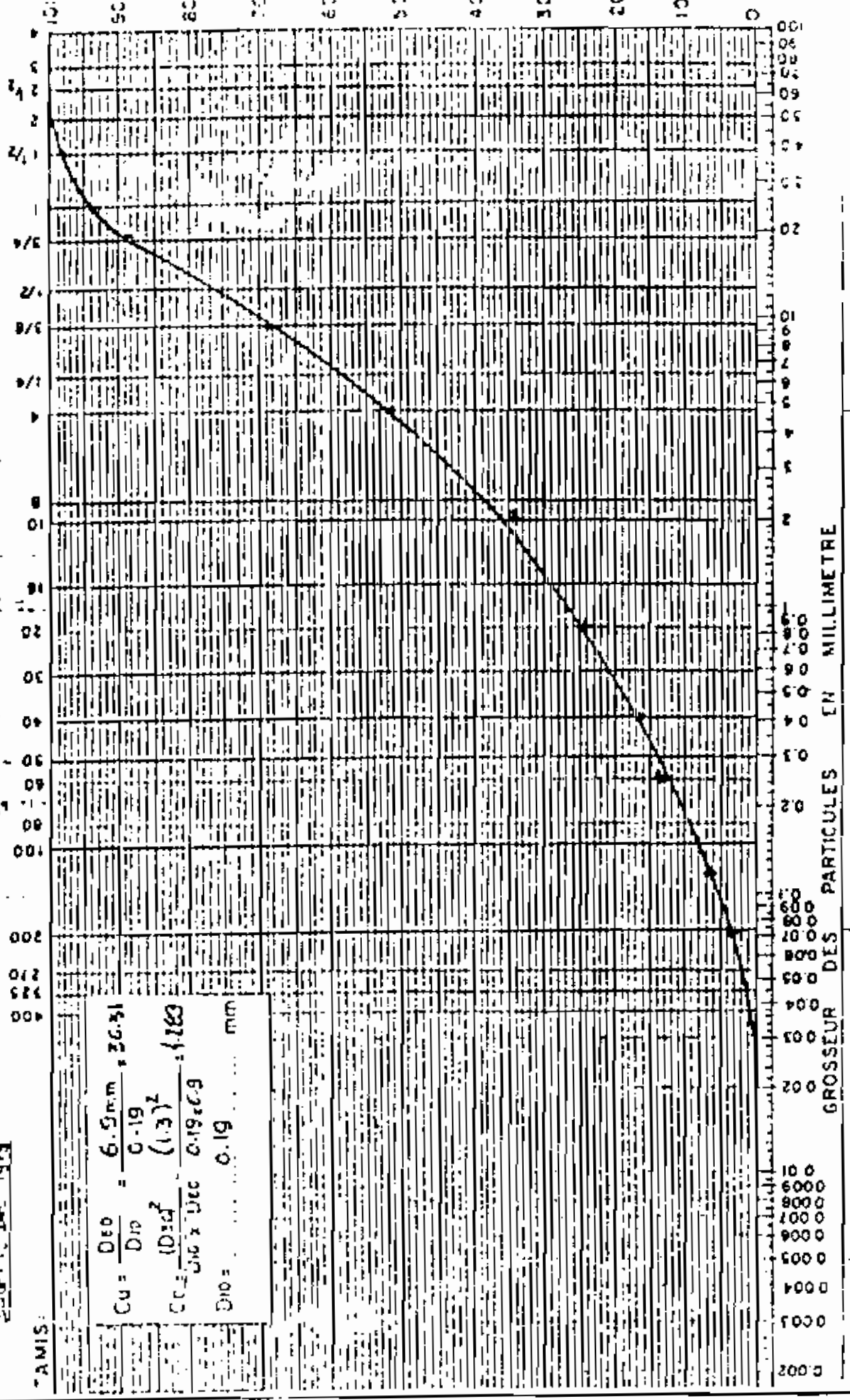
Zaire, le 10 Dec 1979

*AMIS:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{6.5 \text{ mm}}{0.19} = 34.21$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(1.3)^2}{0.19 \times 6.5} = 1.63$$

$$D_{10} = 0.19 \text{ mm}$$



GROSSEUR DES PARTICULES EN MILLIMETRE

3 - 3 CHOIX DE LA LATÉRITE ROUGE

Après ces études préliminaires qui viennent d'être faites, il nous fallait choisir une latérite pour la suite du projet, et celle que nous avons retenue est la latérite rouge. Il faudra reconnaître cependant que ce choix ne découle pas des critères très solides en raison même du manque d'études sérieuses à l'heure actuelle capables de trouver des liens exactes entre les caractéristiques physiques des matériaux et leurs résistances.

En effet, il faudra peut être rappeler que nous traitons ici un sujet de recherche, un sujet presque nouveau caractérisé par le manque de connaissances prérequisées et dans lequel seul le bon sens nous guide. Néanmoins les quelques raisons qui nous ont permis de choisir la latérite rouge sont les suivantes :

- La granulométrie de la latérite rouge est plus homogène car ses deux essais granulaires présentent des résultats très semblables alors que les deux essais pour la latérite brune donnent des résultats plus dispersés (voir les tableaux des rapports granulaires à la section 3-2)
- La figure 273 page 196 du livre : Construire en Terre par Le Craterra qui donne la densité sèche maximale en fonction des limites d'atterberg donne pour la latérite rouge (WL = 40,2, WP = 15,5) $\rho_s \text{ max} = 1870 \text{ Kg}$
M3
- et pour la latérite brune (WL = 37,2, WP = 20,8) $\rho_s \text{ max} = 1785 \text{ Kg}$
M3

Comme la résistance augmente avec la densité sèche (voir fig 268), il serait raisonnable de supposer que la latérite rouge est la meilleure. Ainsi donc tous les essais de résistance effectués dans ce projet sont pratiqués sur la latérite rouge de la carrière de Thiès

CHAPITRE IV

RÉSISTANCE DE LA LATÉRITE PURE

N.B. En raison des limites du projet toutes les mesures de résistance n'ont consisté qu'en des essais de compression simple effectués sur des échantillons cylindriques.

4 - 1 CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHANTILLONS

Dans le but de voir comment varie la résistance de la latérite en fonction des différents paramètres nous avons noté pour certains échantillons testés quelques unes de leurs caractéristiques telles que :

- les teneurs en eau lors du coulage et lors de l'essai
- le taux de séchage
- la durée et le lieu de séchage; pour chaque série d'échantillons un tableau de ces différents paramètres est fourni.

4 - 2 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Pour cette partie 3 séries d'échantillons ont été préparées

- Série A : 12 échantillons avec une teneur en eau de 21,5 % dont 6 ont été testés à 18 jours et les 6 autres à 29 jours
- Série B : 3 échantillons avec une teneur en eau de 25 % tous testés à 18 jours.
- Série E : 2 échantillons avec une teneur en eau de 23,45 % testés à 18 jours.

Notons que les échantillons de la série A ont été compactés avec une tige métallique de 15 mm de diamètre, alors que ceux des séries B et E ont été compactés avec un vibreur mécanique, ce qui ne manquera pas d'influencer les valeurs des résistances obtenues.

*avec teneur 19
calculé par rapport aux poids totaux OK ✓*

4 - 3 RESISTANCE DES ECHANTILLONS A 21,6 % D'EAU, SERIE A

- ECHANTILLONS TESTES A 18 JOURS

ECHANTILLONS	Séchés à l'ombre			Séchés au soleil		
	A1	A2	A3	A7	A8	A9
Poids lors du coulage (kg)	10.6	11.6			11.25	
Poids à 18 jours (kg)	9.1	10.25			9.6	
Taux de séchage en %	79.1	78.1			83	
Teneur en eau eau à 18 jours		4.9 %			3.5%	
Aire (M2)	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767
Charge de rupture à 18 jours (KN)	6,6	10	8,8	8,4	7,4	5,8
Contraintes de rupture à 18 jours (KN/M2)	373,5	1566,17 556.33	498,23	475,65	419,03	328,43

Tableau 4.3.1

Dans le but de voir l'influence du taux de séchage dans la capacité des échantillons ou on a pesé quelques uns avant et après séchage (A1, A2, A9))
 taux de séchage = $\frac{\text{Perte en eau de l'échantillon}}{\text{Quantité initiale d'eau de l'échantillon}}$

Quantité initiale d'eau de l'échantillon

ECHANTILLONS TESTES A 21 JOURS

ECHANTILLONS	Séchés à l'ombre			séchés au soleil		
	A4	A5	A6	A10	A11	A12
Poids lors du coulage (kg)	11,8			11,2		10,6
Poids à 18 jours (kg)	9,55			9,05		8,5
Taux de séchage en %	100			100		100
Aire (M2)	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767	0,01767
Charge de rupture à 18 jours (KN)	9,2	7,6	10,2	7,2	5,9	5,9
Contraintes de rupture à 18 jours (KN/M2)	520,66	430,11	656,93	396,90	333,90	333,90

Tableau 4.3.2

4 - 4 RESISTANCE DE LA LATÉRITE A 25 % D'EAU ; SÉRIE B

D'après les résultats de la série A nous avons constaté que

- a) Tous les échantillons offraient presque les mêmes résistances à la compression et ceci qu'ils soient testés après 29 jours ou seulement après 18 jours de séchage.
- b) Quelque soit l'endroit du séchage (au soleil ou à l'ombre) les échantillons contenaient sensiblement les mêmes teneurs en eau (à une différence de 1,4 % près) et résistaient à des charges de même ordre de grandeur.

Ces 2 constatations nous ont amené à faire la conclusion suivante :

Pour la latérite pure la résistance à la compression devient indépendante de la durée de séchage, si cette durée excédait au moins 18 jours et qu'en plus elle était indépendante de l'endroit de séchage pour cette même durée.

A partir de cette conclusion on a décidé de construire pour cette série B 3 échantillons tous séchés au soleil et tous testés après 18 jours avec cette fois-ci une teneur en eau initiale de 25 %.

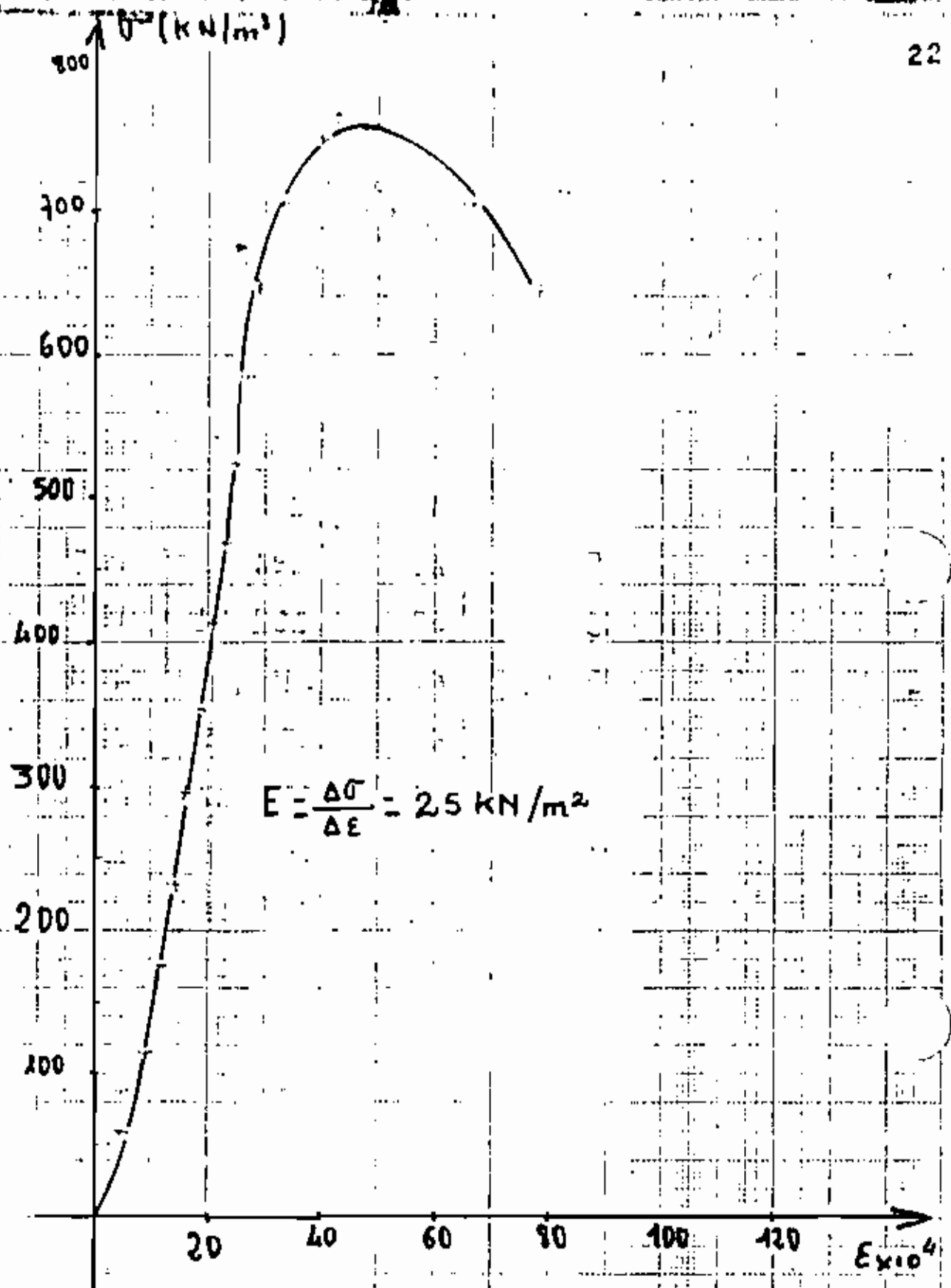
Il est à noter qu'à partir de cette série au lieu de se limiter uniquement à la charge de rupture, les mesures des charges en fonction des déformations ont été effectuées, ceci nous permettant de mieux comprendre le comportement du matériau tout au long du processus de chargement.

Les résultats de ces mesures sont donnés ici sous forme de tableaux et de graphes pour les 3 échantillons.

Echantillon B1. Testé à 18 jours.

Latérite Pure. $W = 2\%$ $L = 292.5\text{mm}$ Aire = 0.017 m^2

Force (kN)	Δ (10^{-2}mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \cdot 10^4$
1	16	58.82	5.5
2	28	117.65	9.6
3	36	196.47	12.3
4	43	235.29	14.7
5	49	294.12	16.7
6	57	352.94	19.5
7	61	411.77	20.8
8	66	470.59	22.6
9	72	529.42	24.6
10	78	588.23	26.7
11	84	647.06	28.7
12	97	705.88	33.2
12.8	117	752.94	40.0
13	124	764.70	42.4
12	195	705.88	66.7
11	229	647.06	78.3

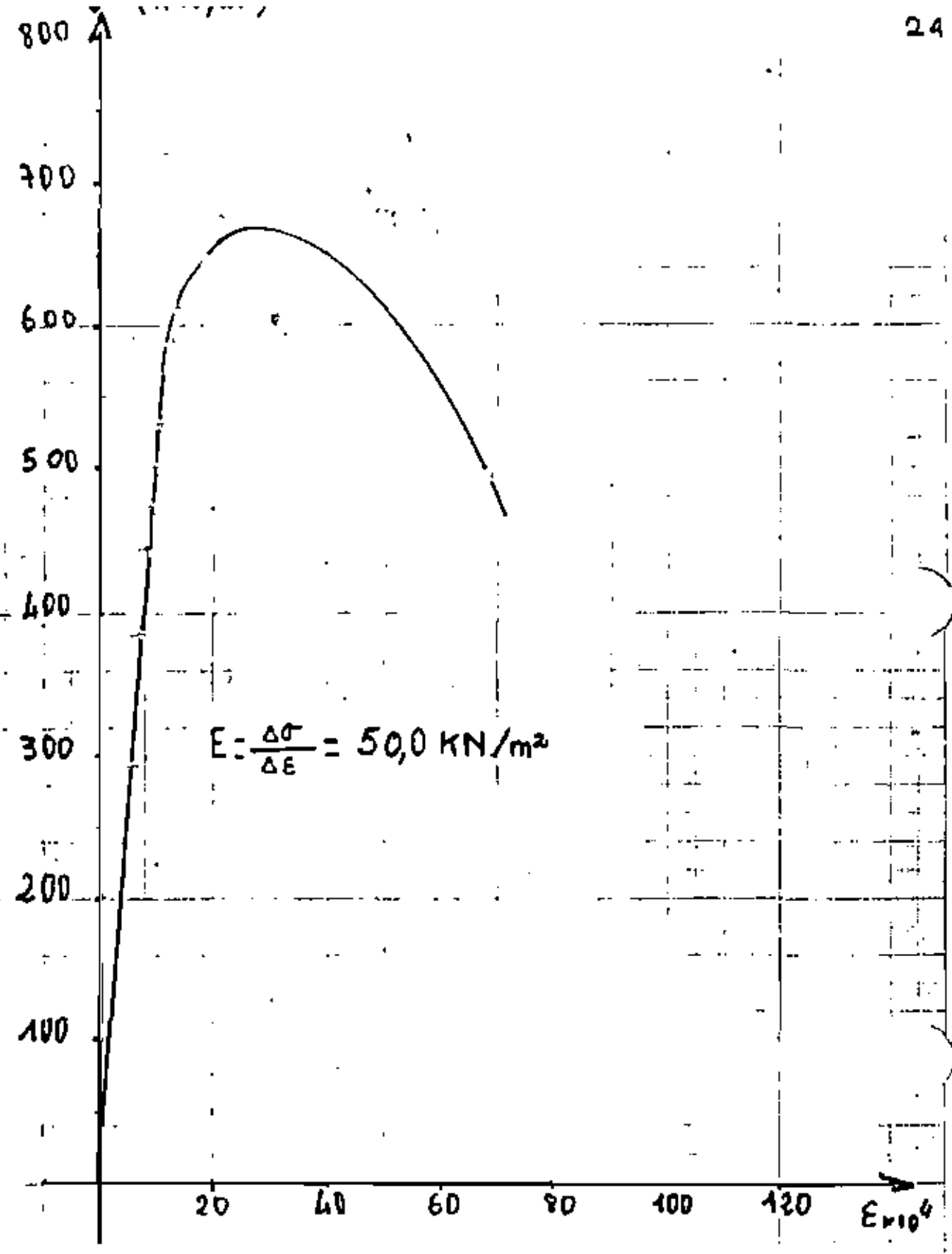


B₁: Laterite pure

Echantillon B2 . Latérite Pure . Testé à 18 jours

W = 25% L = 292.5 mm ϕ = 150 mm A = 1767 mm²

Force (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
0	0	0	0
5	15.0	294.12	5.12 /
6.5	19.2	382.35	6.66 /
7.5	21.5	441.18	7.46
8.0	24.6	470.59	8.54
8.5	26.6	500.00	9.24 /
9.0	29.2	529.40	10.14
9.5	32.6	538.82	11.32
10.0	36.0	588.23	12.50
10.5	40.0	617.63	13.89
11.0	50.0	647.66	17.36
11.5	62.0	676.47	21.53
8.25	260.0	483.29	69.44

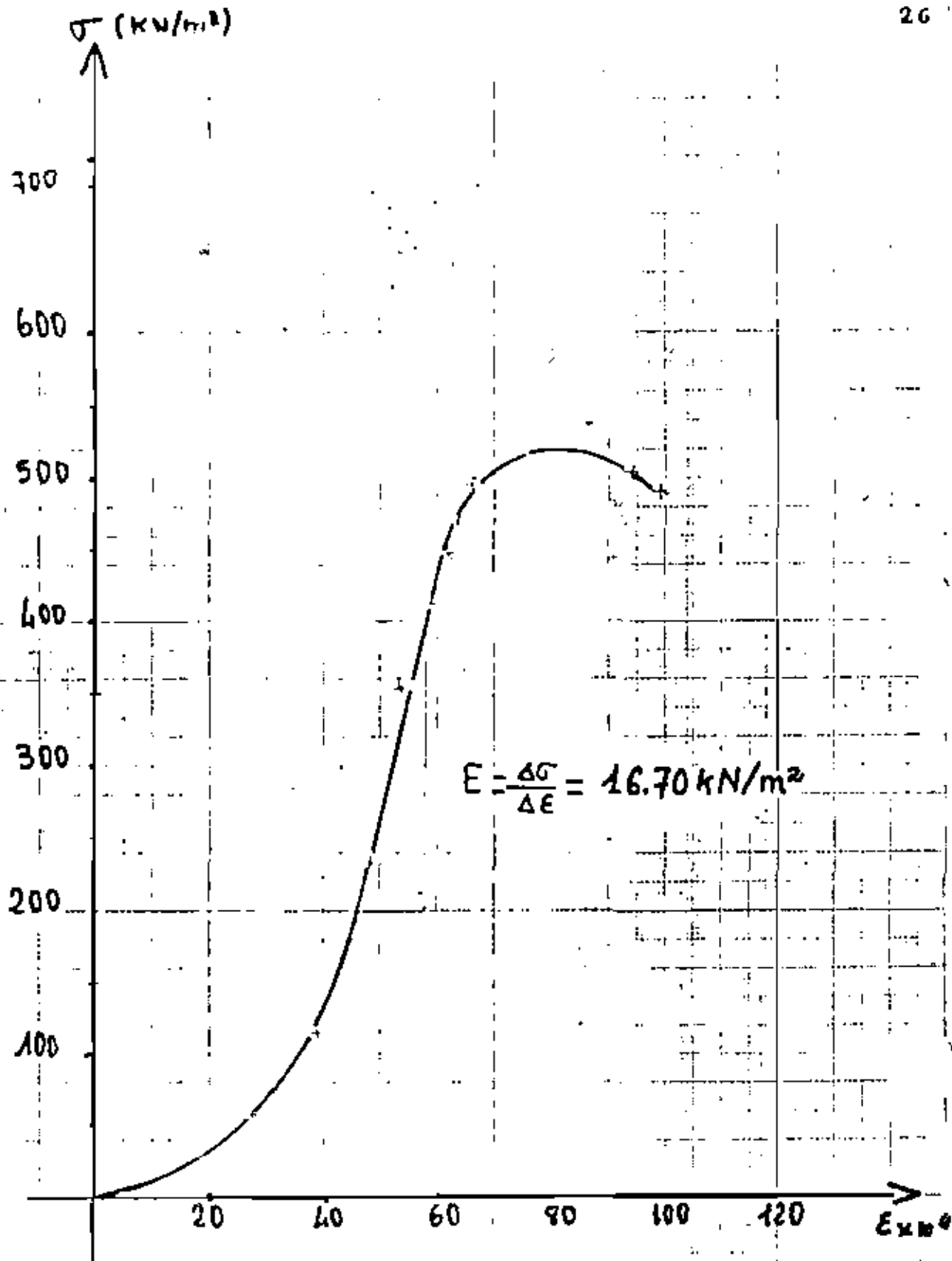


B₂: Laterite pure

Echantillon B3. Latérite Pure. Testé à 18 jours

W = 25 % L = 295 mm $\phi = 150$ mm A = 0.017 m²

Force (kN)	Δ (10 ⁻⁴ mm)	G (kN/m ²)	E × 10 ⁴
0	0	0	0
1	80	58.82	27.12
2	115	117.65	38.98
4	140	235.29	47.46
6	158	352.94	53.35
7	175	411.76	59.32
7.6	183	447.06	62.63
8	188	470.59	63.73
8.3	195	497.57	66.10
8.3	222	517.65	75.25
8.2	278	482.35	44.23
8	293	470.59	49.32



B_z : Laterite pure

4 - 5 RESISTANCE DE LA LATERITE A 23,45 % D'EAU : SERIE E

Cette nouvelle série a été construite dans le but de comprendre d'avantage la variation de la résistance de la latérite en fonction de sa teneur en eau. Cependant des contraintes de temps ont fait que seulement 2 échantillons ont pu être coulés avec 23,45 % d'eau.

Il faudra noter qu'un défaut de manipulation survenu lors de l'essai sur l'échantillon E1 a fait que pour celui-ci nous n'avons pu enregistrer que sa charge de rupture.

Echantillons	E1	E2
Poids lors du coulage (kg)	11,60	11,65
Poids à 18 jours (kg)	9,75	9,8
Taux de séchage	68 %	67,7 %

Tableau 4-5

Pour E1 sa charge de rupture et sa contrainte de rupture sont respectivement 13,85 KN et 783,8 KN/m²

Pour E2 les résultats sont donnés ci-après

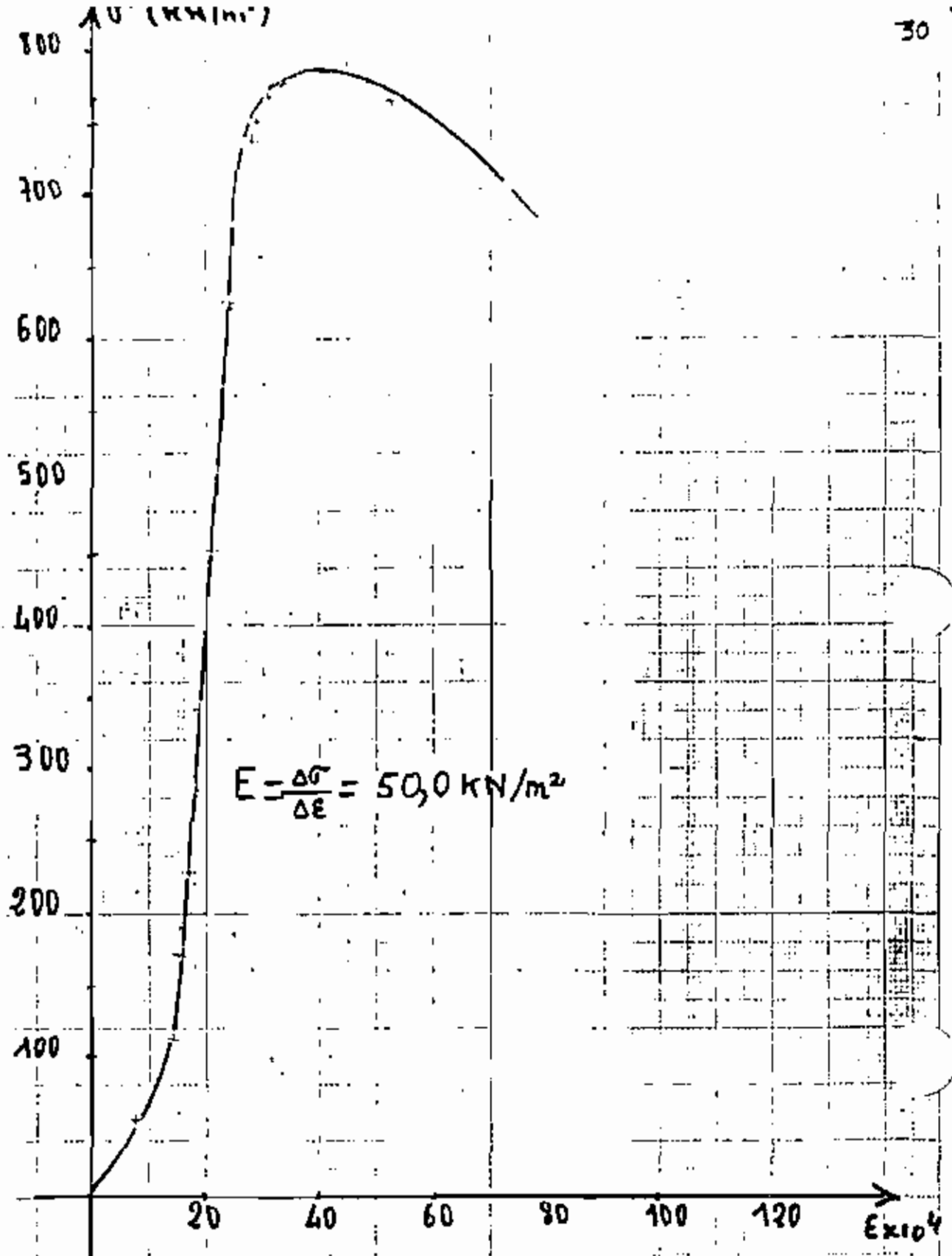
Echantillon E2 . Latérite Pure . Testé à 18 jours

$w = 23.45\%$ $L = 313 \text{ mm}$ $d = 150 \text{ mm}$ $A = 0.017 \text{ m}^2$

Force (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	E_s 10^4
1.0	37.50	56.59	12.36
2.0	42.50	113.19	14.03
3.0	46.50	169.78	15.34
4.0	50.03	226.37	16.68
5.0	53.50	282.96	17.66
6.0	57.00	339.56	18.81
7.0	59.40	396.15	19.66
8.0	62.70	452.74	20.69
9.0	66.40	509.34	21.78
10.0	69.60	565.93	22.97
11.0	73.10	622.52	24.12
11.5	75.30	650.82	24.85
12.0	78.40	679.12	25.87
13.0	86.50	735.71	28.55
13.25	89.00	749.86	29.37

Echantillon E2 (suite)

Force (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
13.50	94.0	764.01	31.02
13.75	103.3	778.15	34.09
13.85	111.5	783.81	26.80
13.85	120.0	783.71	39.60
13.85	126.5	783.81	41.75
13.95	137.0	789.47	45.21
13.75	143.0	778.15	47.19
13.5	158.0	764.01	52.14
12.5	223.5	707.41	73.76



E_2 : Laterite pure

4 - 6 INFLUENCE DE LA TENEUR EN EAU SUR LA RESISTANCE

Les pourcentages d'eau utilisés ici sont de loin supérieurs à la teneur en eau optimale, qui se trouve être égale à 12,9 %, la raison principale de cela c'est qu'on a voulu obtenir de la latérite telle qu'elle est utilisée en pratique par les paysans dans la construction. En effet en pratique on met beaucoup d'eau pour faciliter l'ouvrabilité et le compactage ne se fait généralement qu'à la main.

Les moyennes des résultats pour chacune des 3 séries d'échantillons sont données au tableau 4-6

Teneur en eau en %	Séries : testées à 18 jours	Contrainte de rupture moyenne en KU/K^2
21,6	A	443,55
25	B	652,94
23,45	E	786,63

Tableau 4-6

En observant le tableau 4.6 on note que la teneur en eau fait varier considérablement la résistance à la compression de la latérite. Il ne serait pas possible à partir de ces résultats de dégager une conclusion générale et définitive concernant la teneur en eau qui donnerait la plus grande résistance parce que les essais effectués ici sont très limités (au nombre de 3 seulement) et en plus le compactage n'a pas été fait de la même manière pour les 3 essais.

Il faudra le rappeler à cet effet que les échantillons de la série A ont été compactés à l'aide d'une tige métallique de 15 mm de diamètre tandis que ceux des séries B et E ont été compactés à la même intensité avec un vibreur mécanique.

Cependant en se basant uniquement sur les résultats des 2 dernières séries (B et E compactés de la même façon) on peut supposer que la teneur en eau qui donnerait la plus grande résistance se trouve en dessous de celles indiquées ici, ceci entre d'ailleurs en conformité avec les résultats fournis par Le Cratère dans son livre "Construire en Terre" et qui ont prouvé que cette teneur en eau est voisine de l'optimum proctor pour les sols latéritiques.

CHAPITRE V

RESISTANCE DE LA LATERITE CONSTRUITE AVEC PAILLE

5 - 1 CONSTRUCTION DES ECHANTILLONS

Cette partie a pour but d'essayer de trouver une justification de l'usage de la paille dans certaines constructions rurales et en même temps de voir l'influence de cette pratique dans la résistance de la latérite, elle concerne 2 séries d'échantillons.

- Série D (suite) avec 3 échantillons (B4, B5, B6) contenant 25 % d'eau.
- Série E (suite) avec 2 échantillons (tableau 5-1) contenant 23,45 % d'eau :

Echantillons	E3	E4
Poids lors du coulage (kg)	11,75	11,75
Poids à 18 jours (kg)	10,00	10,00
Taux de séchage en %	63,51	63,51

Tableau 5-1

Pour tous les échantillons la teneur en paille est de 0,27 % (en poids), notons que ce pourcentage a été limité par le volume énorme que la paille occupe dans la latérite.

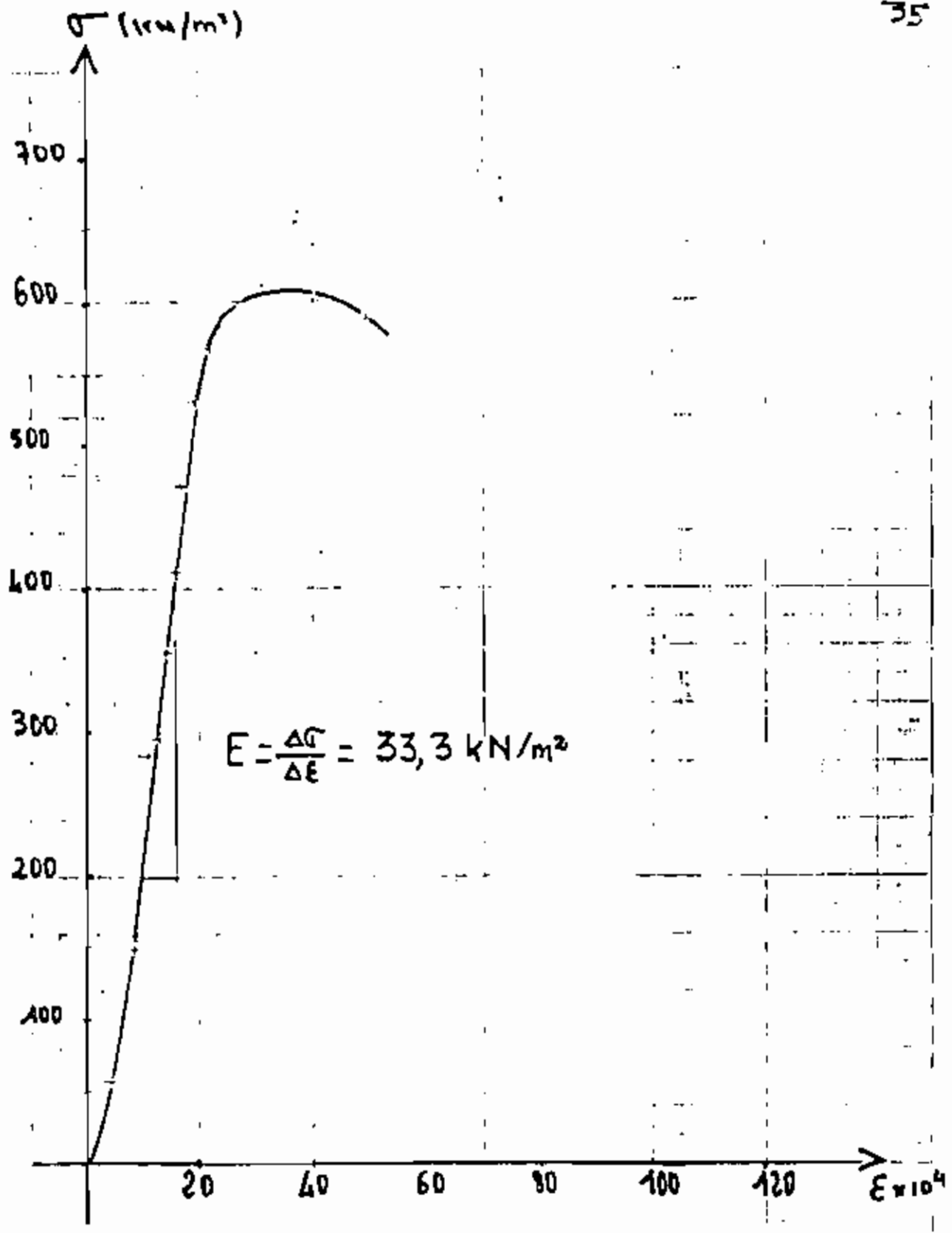
5 - 2 RESULTATS

Les résultats des essais sont donnés dans les tableaux et les graphes suivants

Echantillon B4. Latérite + Paille - Testé à 18 jours

Pourcentage de Paille : 0.27 $W = 25\%$ $L = 295\text{ m}$ $A = 0.017\text{ m}^2$

Force (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$E \times 10^4$
1	15	58.82	4.97
2.5	25	147.06	8.80
4	30	285.29	10.56
5	34.5	294.11	12.14
6	39	552.94	15.75
7	44	411.76	17.49
8	48	470.59	16.90
9	54	529.40	19.00
9.6	60	564.70	21.12
10	67	588.25	23.60
10.2	76	600.00	26.70
10.4	90	611.80	31.70
10.6	114	600.00	40.10
10	140	588.25	49.30

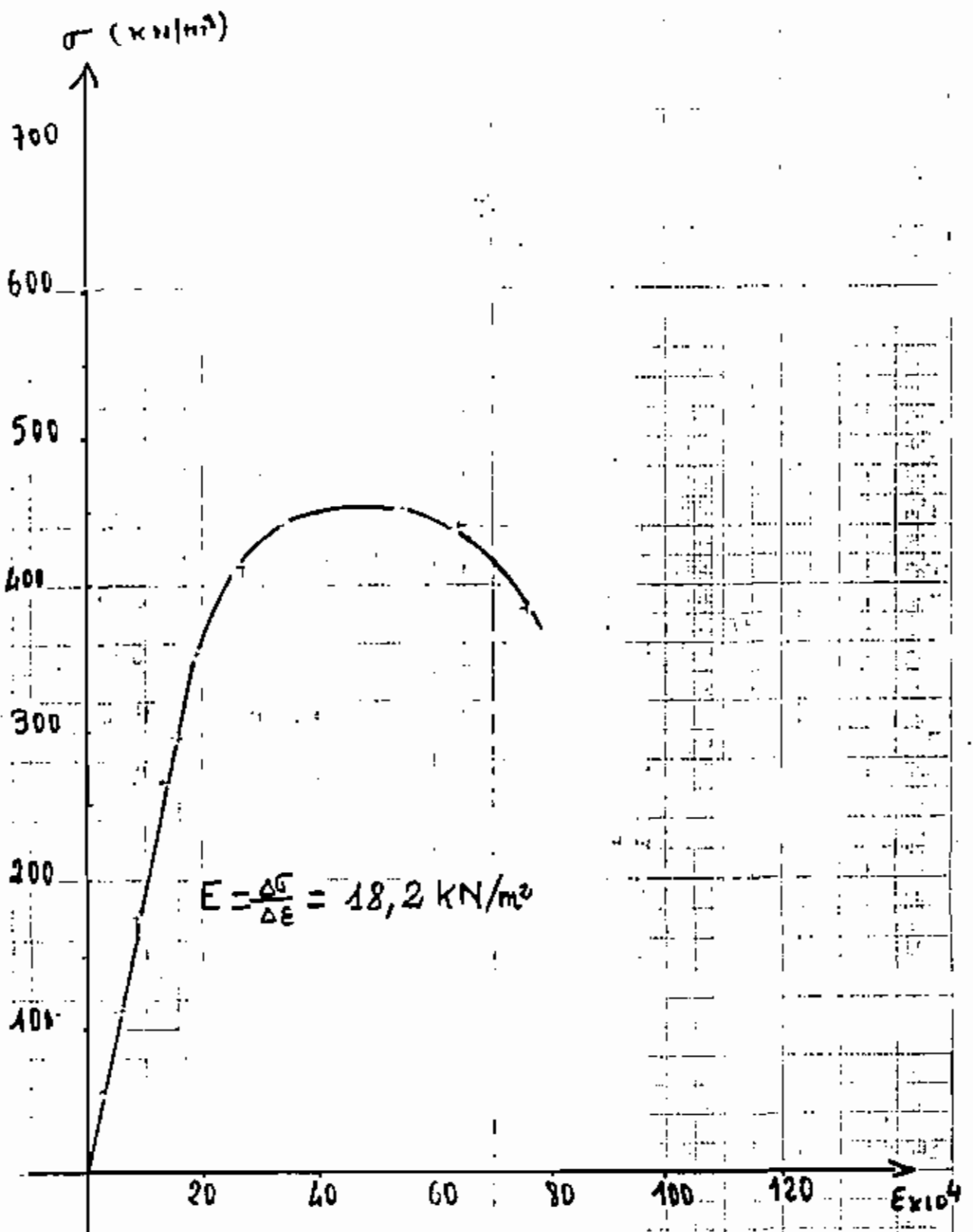


B₄ : Laterite plus paille

Echantillon B5. Latérite + Paille. Testé à 18 jours

Pourcentage de Paille : 0.27 $W = 25\%$ $L = 295 \text{ mm}$ $A = 0.017 \text{ m}^2$

Force (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon_f \cdot 10^4$
0.0	0.0	0	0.00
1.0	8.0	58.82	2.76
2.0	17.0	117.65	5.86
3.0	25.0	176.47	8.62
4.5	34.5	264.71	11.89
5.0	44.2	294.12	15.24
6.0	56.0	352.94	18.31
7.0	75.8	441.76	26.17
7.5	98.0	441.18	35.19
7.6	157.0	450.00	54.15
7.5	188.0	441.18	64.13
6.5	219.0	382.35	75.51

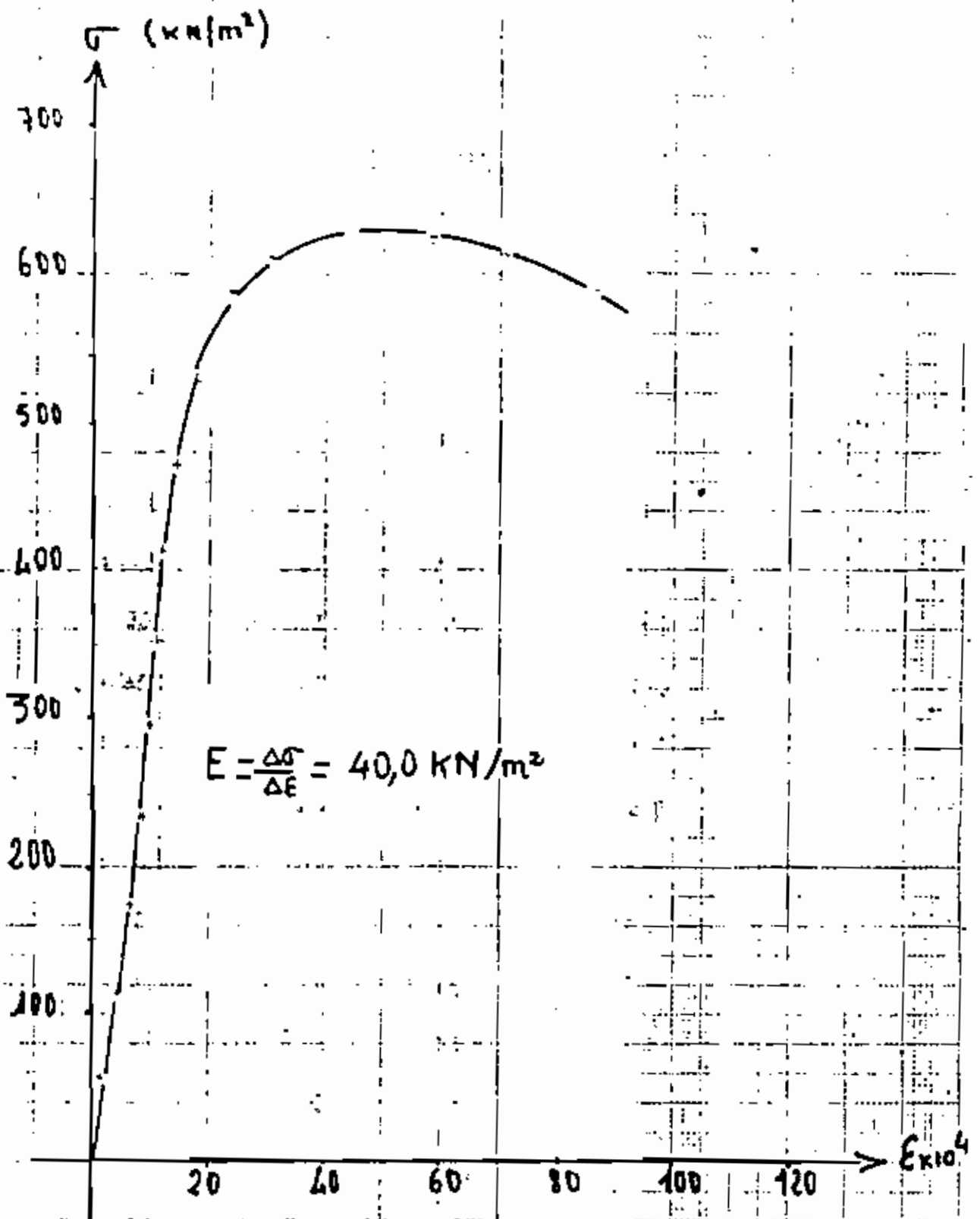


B5: Laterite plus paille

Echantillon 36 . Latérite + Paille . Testé à 18 jours

Pourcentage de Paille : 0.27 $w = 25\%$ $L = 290 \text{ mm}$ $A = 0.017 \text{ m}^2$

Force (kN)	$\Delta (10^{-2} \text{ mm})$	$\sigma (\text{kN/m}^2)$	$\epsilon \cdot 10^4$
1.0	5.0	58.82	1.72
2.0	15.0	117.65	4.48
3.0	20.0	176.47	6.90
4.0	24.0	235.29	8.30
5.0	28.0	294.12	8.60
6.0	32.0	352.94	11.00
7.0	34.0	411.76	11.70
8.0	42.0	470.59	14.50
9.0	52.0	529.41	17.90
10.0	74.0	588.23	24.10
10.4	88.0	647.06	30.30
10.6	170.0	625.53	58.60
10.8	-	685.29	-
10.4	205.0	611.76	70.70
10.0	250.0	588.23	86.20

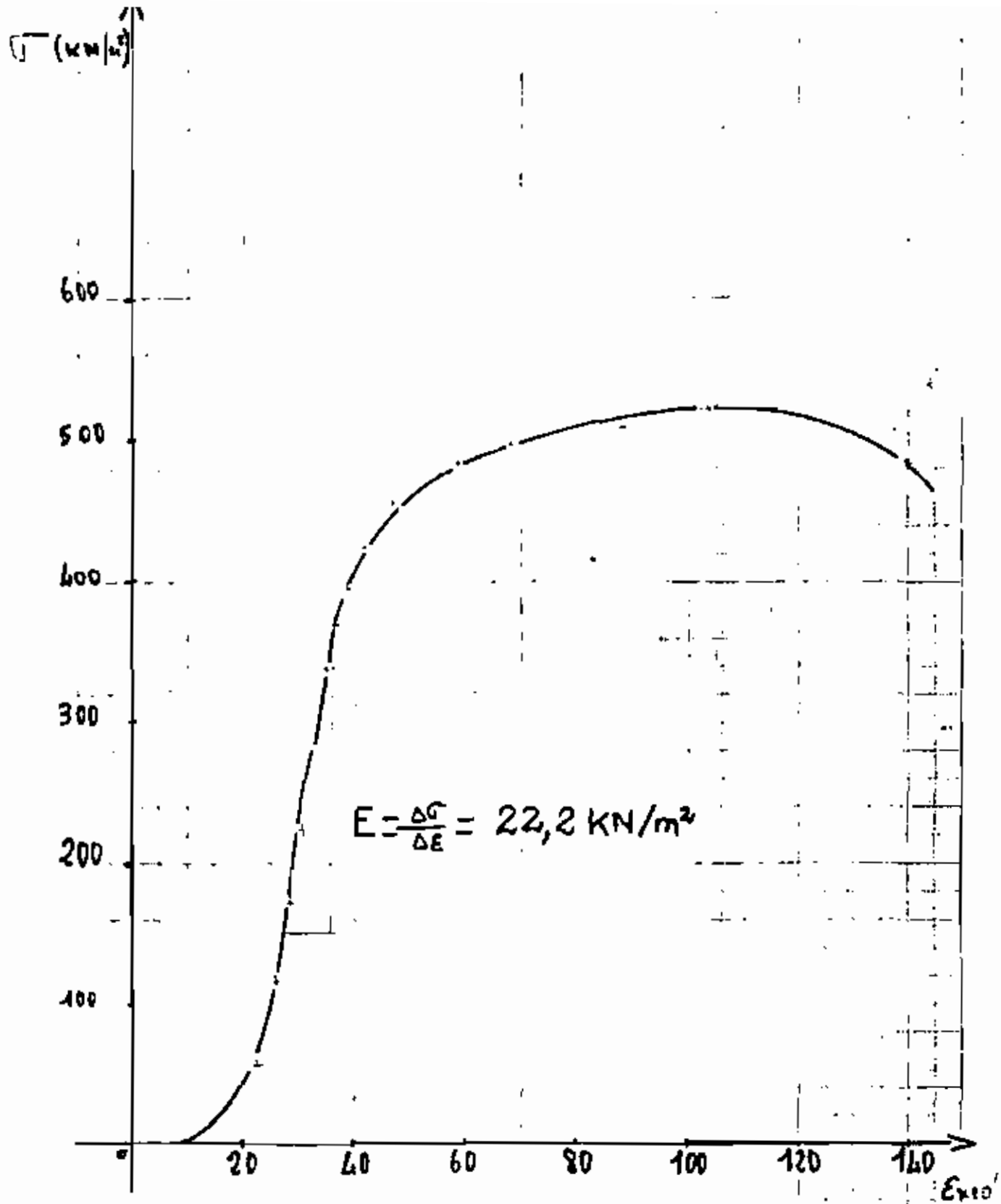


B₆: Laterite plus paille

Echantillon E3. Latérite + Paille . Testé à 18 jours

W = 23.45% L = 300 mm ϕ = 150 mm A = 0.0176 m²

Force (kN)	Δ (10 ⁻⁴ mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
1.00	67.0	56.0	22.33
2.00	77.0	113.0	25.67
3.00	84.5	170.0	28.17
4.00	91.1	226.0	30.37
5.00	98.50	283.0	32.88
6.00	105.0	339.0	35.00
6.50	109.3	369.0	36.48
7.00	115	396.0	38.55
7.50	123.4	424.0	41.13
8.00	140.5	453.0	46.85
8.50	175.0	481.0	58.33
8.75	204.0	445.0	68.40
9.00	265.0	509.0	88.88
9.20	310.0	521.0	103.33
8.50	420.0	481.0	140.00
7.75	510.0	439.0	170.00

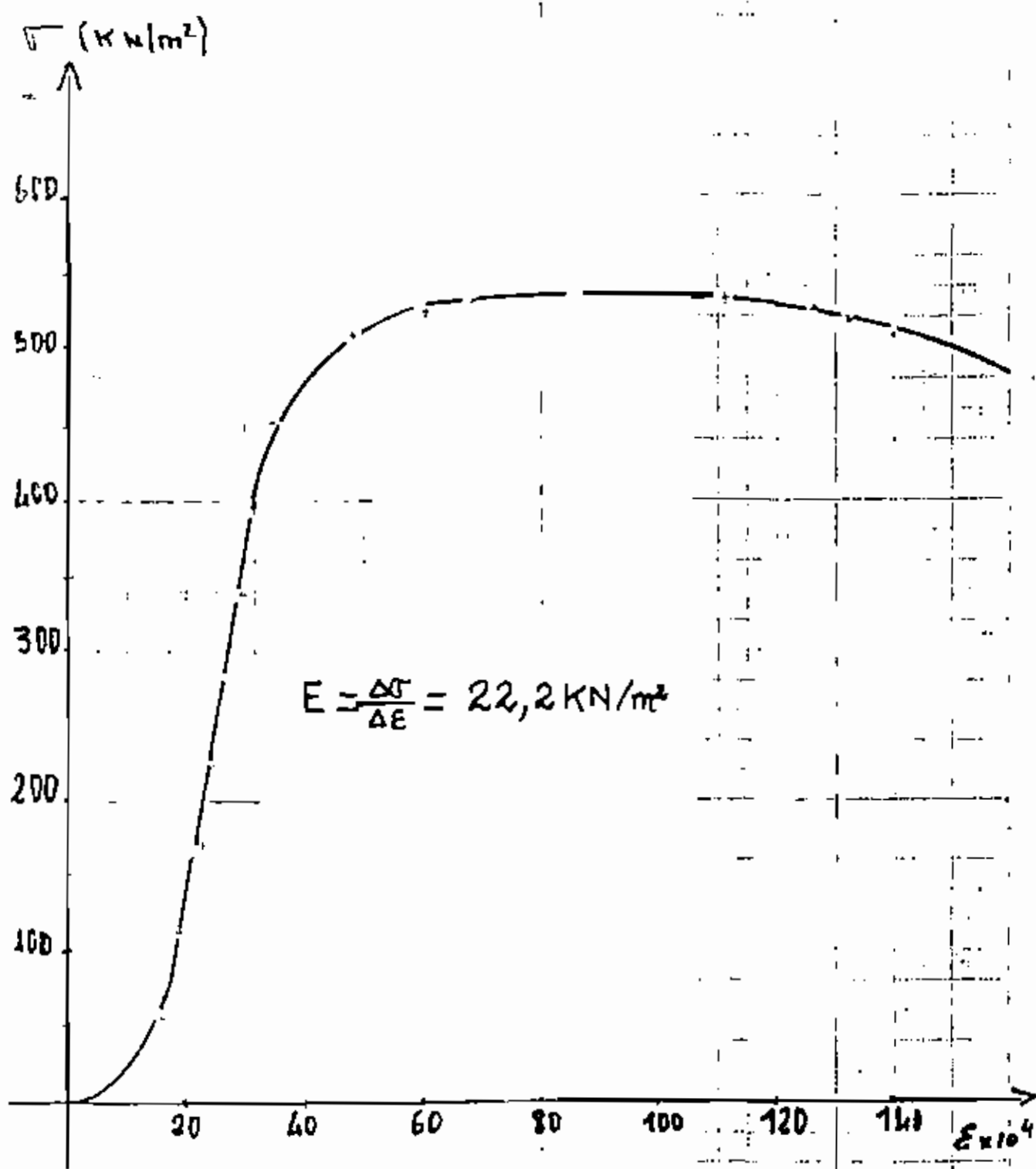


E_3 : Laterite plus paille

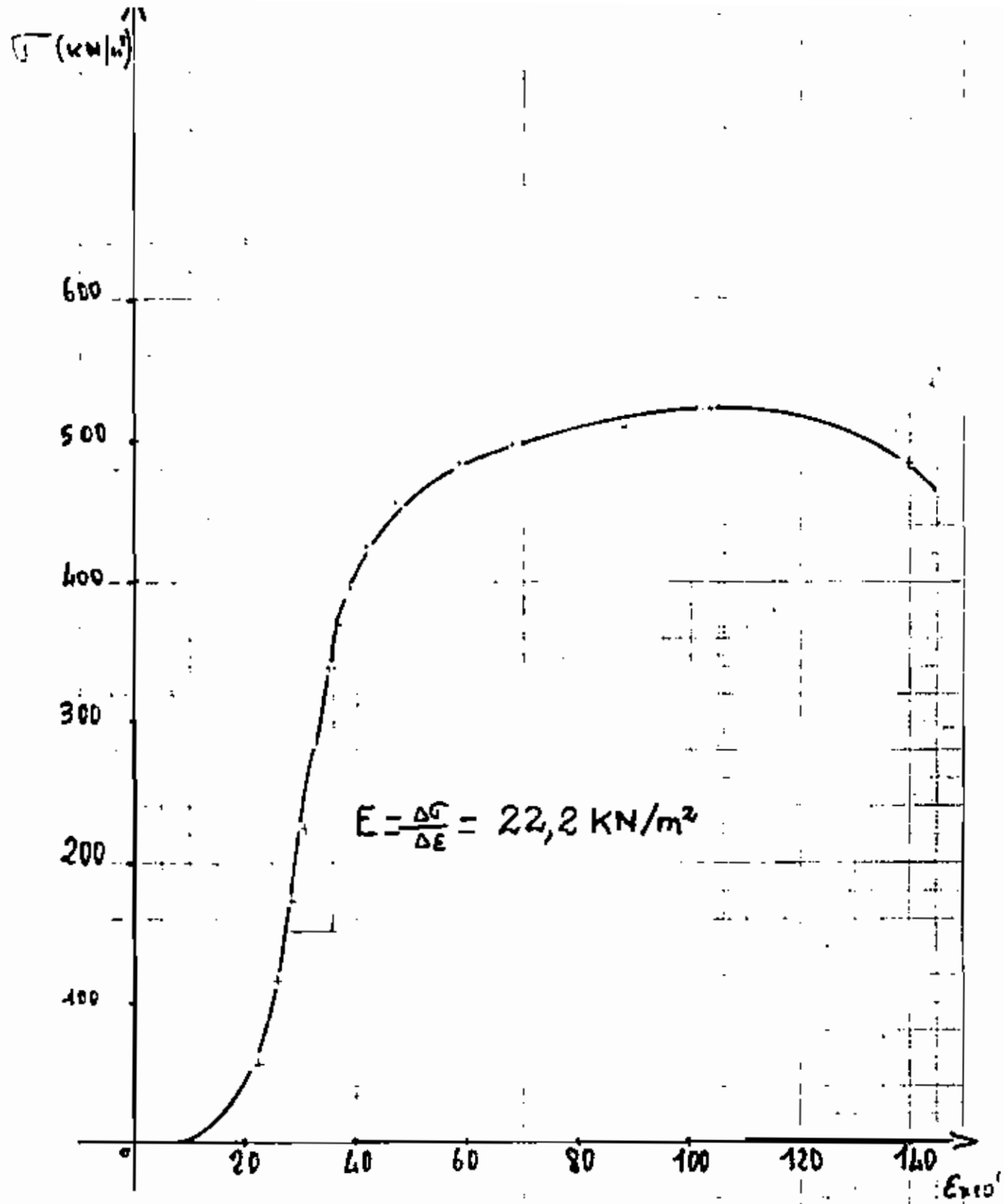
Echantillon EA Lotérite + Paille Testé à 18 jours

W = 23.45% L = 303mm ϕ = 150mm A = 0.017 m²

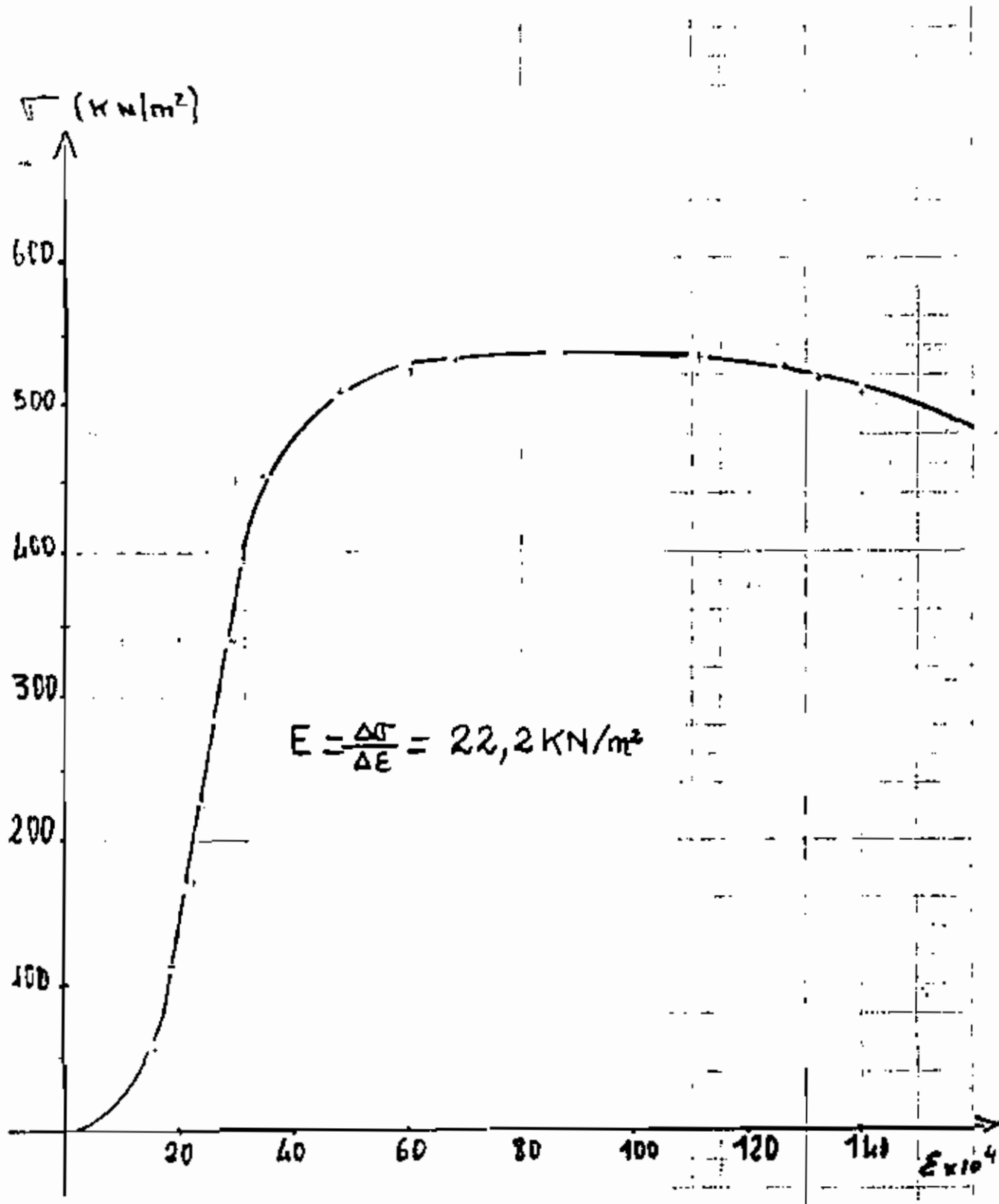
Force (kN)	Δ (10 ⁻⁴ mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
1.00	49.0	56.59	16.17
2.00	60.0	113.19	19.80
3.00	68.2	169.78	22.51
4.00	75.0	226.37	24.74
5.00	81.0	282.96	26.73
6.00	88.0	339.56	29.04
7.00	95.0	396.15	31.35
8.00	105.5	452.74	34.82
9.00	147.0	509.34	40.51
9.20	164.5	520.66	60.89
9.35	200.0	520.14	68.65
9.50	262.0	537.63	86.47
9.40	338.0	531.97	111.55
9.25	383.0	523.49	126.40
9.15	400.0	517.85	132.01
9.00	422.5	509.33	139.43
8.50	503.0	481.04	166.01
8.00	560.0	452.74	184.82



E₄: laterite plus paille



E_3 : Laterite plus paille



E₄: laterite plus paille

5 - 3 INFLUENCE DE LA PAILLE

Les résultats obtenus ici montrent que la paille n'apporte aucune amélioration dans la résistance à la compression de la latérite, d'ailleurs son utilisation comme stabilisant nous semble être très discutable.

Cependant si la paille a peu d'effet sur la résistance à la compression elle peut avoir les rôles suivants :

- Réduire les fissures lors du séchage en répartissant dans le matériau les tensions résultant du retrait
- Accélérer le séchage, les canaux de la paille drainant l'humidité vers l'extérieur du matériau
- Augmenter la résistance à la traction du matériau

Il faudra néanmoins rester réservé sur ces conclusions car il se peut que la qualité de la paille et son placement dans le matériau aient une grande influence dans la résistance.

LATERITE STABILISEE PAR LE CIMENT

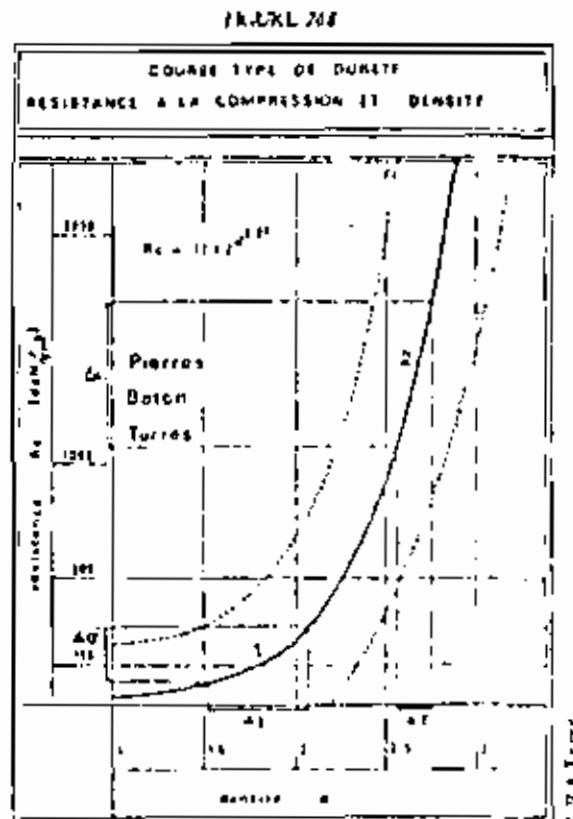
6 - 1 Quelques principes de la stabilisation

6.1.1 Stabilisation sans apport de stabilisant

6.1.1.1 Amélioration par densification

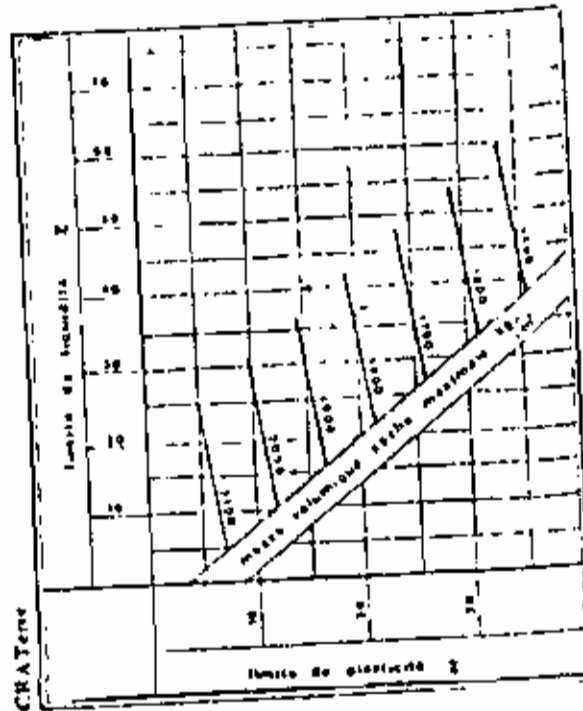
Elle consiste par un procédé quelconque (compactage par exemple) d'augmenter la densité du matériau dans le but d'augmenter sa résistance. La figure 268 tiré du livre "Construire en Terre" par Le Cratorre donne la résistance à la compression de 3 matériaux ; Pierres, béton, terres en fonction de leurs densités.

Fig 268



Les limites d'Atterberg ont également une grande influence sur la masse volumique sèche du matériau et ainsi donc sur sa résistance (fig 273 de Le Craterra)

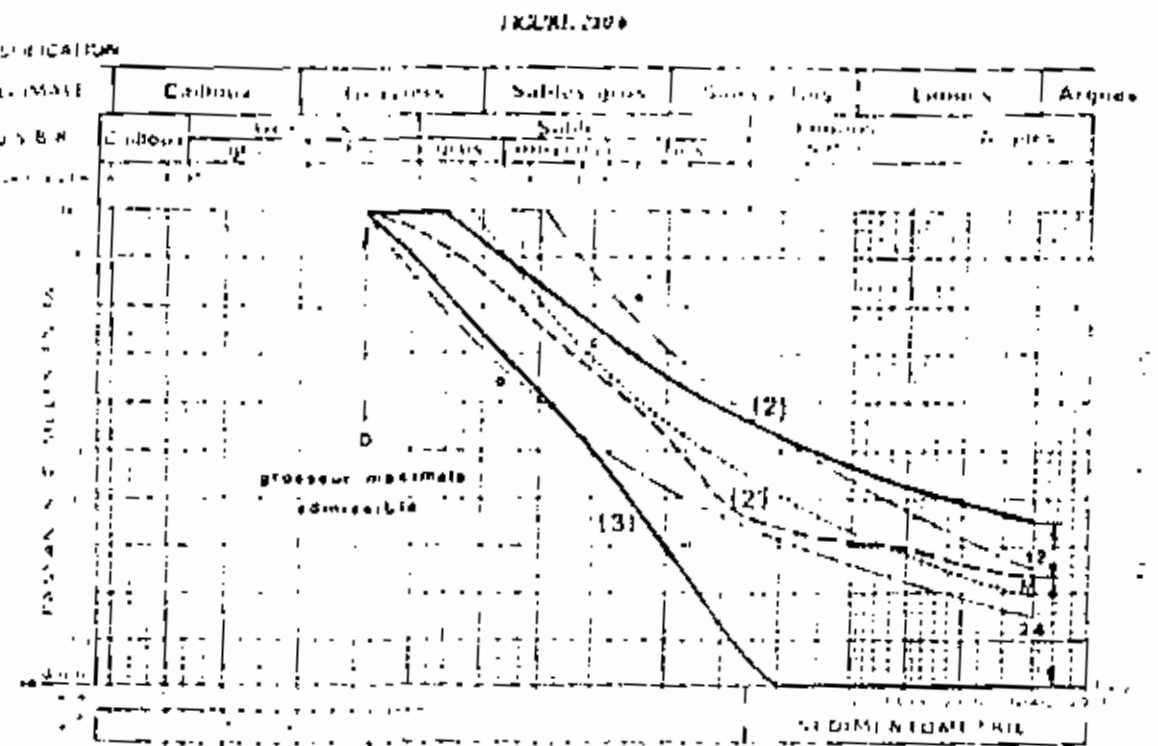
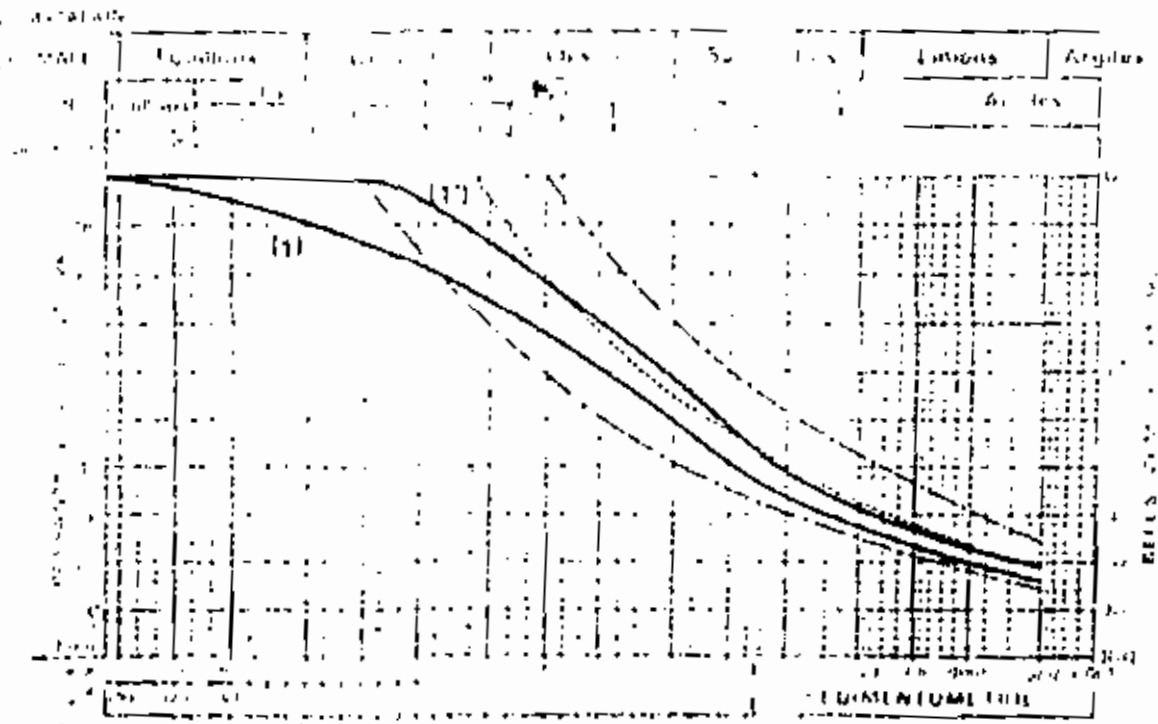
Fig 273
 TRACÉ DES LIMITES
 D'ATTEMBERG ET DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE



6.1.1.2 Amélioration par correction de la granulométrie

Un matériau peut être amélioré en lui ajoutant un autre matériau qui rasène sa courbe granulométrique dans des limites (fussau) à l'intérieur desquelles sa résistance augmente (fig 280 a et 280 b de Le Craterra).

1. DÉTERMINATION DES PROPORTIONS DE MILLENS COURANT ET RÉSALANT DE SOUS DIFFÉRENTS
 MÉCANISME DE TRAVAIL (MÉTAL, FONTE, ...)
 2. TRACÉ DES COURBES DE DÉFORMATION DE LA
 3. DÉTERMINATION DES PROPORTIONS DE MILLENS COURANT ET RÉSALANT DE SOUS DIFFÉRENTS
 MÉCANISME DE TRAVAIL (MÉTAL, FONTE, ...)



6.1.2 STABILISATION AVEC APPOINT DE STABILISANT

6.1.2.1 Stabilisants chimiques et inertes

Leur rôle essentiel est de réduire les effets de retrait et de fissuration ce sont :

- Les sables et les graviers que l'on peut ajouter aux particules fines
- Les fibres animales et végétales exemples : paille, poils et déchets des animaux
- Les armatures; bandes de polymères ou d'alliage d'aluminium utilisées dans la confection des talus en "Terres armées".

6.1.2.2 Stabilisants physico-chimiques

Ils ont pour rôle d'augmenter la résistance du matériau et surtout de réduire sa sensibilité à l'action de l'eau.

Les stabilisants les plus courants sont : la chaux, le ciment et le bitume, ils rendent les argiles et les latérites moins hydrophiles.

6 - 2 STABILISATION PAR LE CIMENT

6.2.1 UTILITE

L'addition de ciment permet d'obtenir un matériau aux caractéristiques améliorées. En effet la présence de ciment crée entre les particules (grains, pierres) des liens mécaniques qui tendent à augmenter la résistance du matériau.

Certaines recherches ont prouvé qu'en plus d'améliorer la performance mécanique du matériau, le ciment contribue énormément à l'insensibilité du matériau à l'eau : l'érosion et la perte de résistance sont réduites.

6.2.2

CONSTRUCTION DES ECHANTILLONS

Le ciment utilisé est un ciment ordinaire Portland et il a été uniformément mélangé à la latérite avant d'y ajouter de l'eau.

Un ensemble de 9 échantillons ont été construits avec 16 % d'eau :

- 3 à ^{16%} 11,57 % de ciment : C1, C2, C3

- 3 à ^{11%} 8,39 % de ciment : C4, C5, C6

- 3 à ^{4%} 3,74 % de ciment : C7, C8, C9

19,3% sur 59
% exprimé en poids de ciment par rapport au pds total du mélange

6.2.3

DESCRIPTION DES ECHANTILLONS

Pour favoriser certaines réactions chimiques éventuelles les échantillons C1, C2... jusqu'à C6 ont séjourné pendant 28 jours dans la chambre humide alors les échantillons C7, C8 et C9 qui ne contiennent que 3,7 % de ciment n'y ont passé que 17 jours.

Echantillon	Echantillons à 16% d'eau	0. jours		17 jours		28 jours	
		poids (kg)	séchage en %	poids en kg)	séchage en %	poids en %	séchage en %
<i>sucre</i> 16% <i>lait</i> 32,6	C1	22,75	0			22,36	10,71
	C2	22,77	0			22,33	12,08
	C3	22,35	0			22,22	3,63
11% 8,4	C4	22,70	0			22,35	9,64
	C5	22,85	0			22,28	
	C6	22,28	0			22,35	13,68
4,7% 3,1	C7	22,75	0	22,29	12,64	21,37	37,91
	C8	22,85	0	22,30	15,04	21,43	38,84
	C9	22,75	0	22,32	11,81	21,40	37,09

Tableau 6.2.3

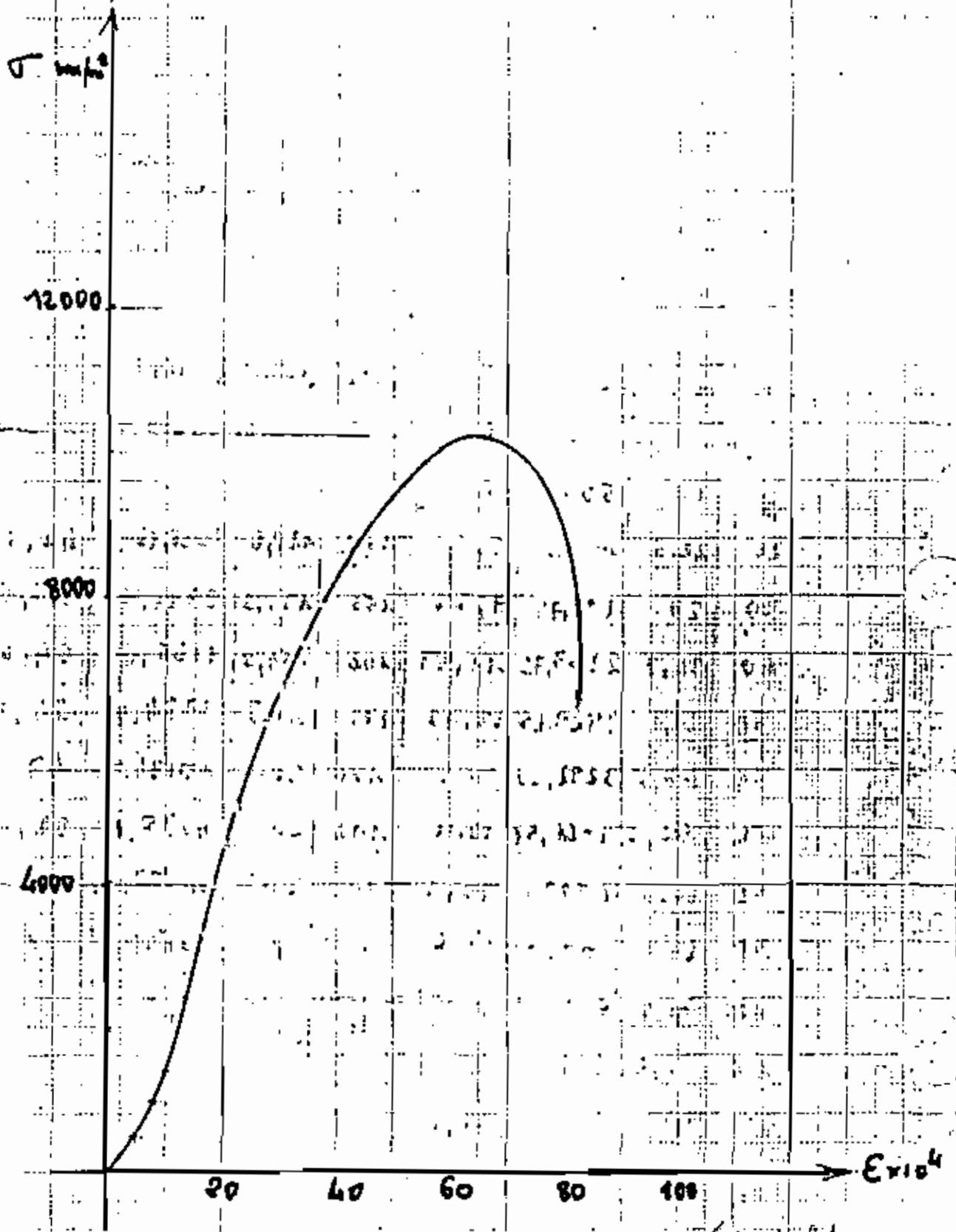
Rappel : taux de séchage = $\frac{\text{Perte en eau}}{\text{quantité d'eau initiale}}$

6.2.4 RESULTATS DES ESSAIS

$$\frac{C_4 + C_5 + C_6}{3} =$$

Echantillon C₁ teste à 28 jours
 M. 6 % de ciment l = 300 mm, φ = 150 mm

ρ (N/m ³)	Δ (10 ⁻² mm)	ε (10 ⁻³)	P (kN)	Δ (10 ⁻² mm)	ρ (N/m ³)
17	5.66	5.66	450	428.6	9488.96
20	22.5	441.86	7.50	428.6	9488.96
30	29	1672.77	9.66	428.6	9488.96
40	37.9	2263.22	14.63	428.6	9488.96
50	47.2	2829.65	13.72	428.6	9488.96
58	47.5	3282.40	15.82	428.6	9488.96
70	54.5	3961.52	19.16	428.6	9488.96
80	60.6	4527.45	20.2	428.6	9488.96
90	67.8	5093.38	22.6	428.6	9488.96
100	75.9	5659.31	25.26	428.6	9488.96
110	82.5	6225.24	27.6	428.6	9488.96
120	92	6791.18	30.66	428.6	9488.96
130	102.5	7357.10	34.16	428.6	9488.96
140	113.8	7923.02	37.67	428.6	9488.96

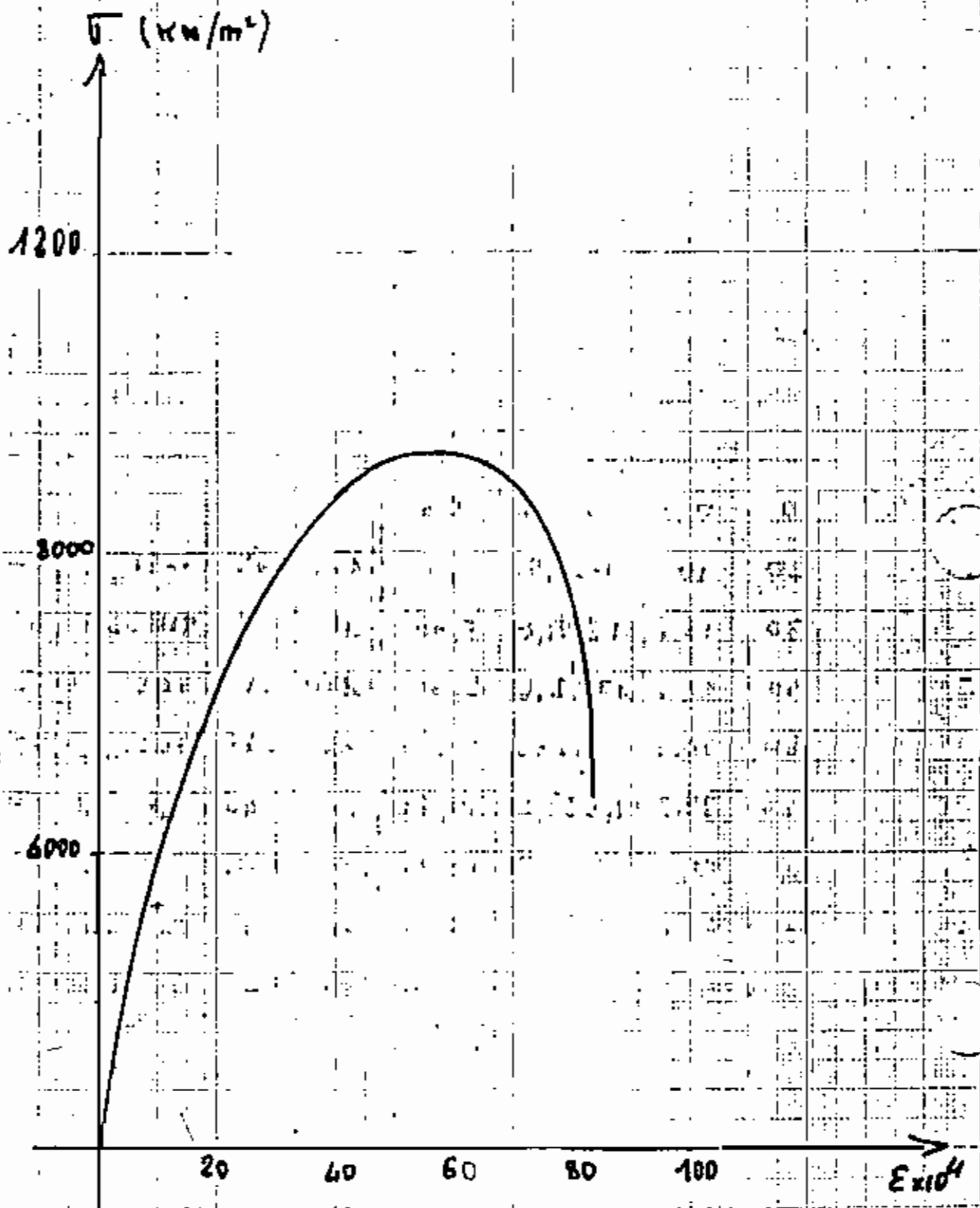


16. % / 100 de Pal.

C₁: Laterite plus 11,57 % de ciment

P (kN)	Δ (10^{-2} mm)	ϵ (kN/m ²)	E _{vis}	P (kN)	Δ (10^{-2} mm)	ϵ (kN/m ²)	E _{vis}	E _{vis}	
								P (kN)	Δ (10^{-2} mm)
0	0.0	0.0	0.00	464	123	1281.22	57.66	464	123
20	10.0	1431.86	3.33	461	127	1111.49	65.62	461	127
30	15.0	1692.24	5.00	450	118	8488.96	72.62	450	118
40	22.0	1782.68	6.66	445	115	7074.14	78.23	445	115
60	30.0	2395.58	10.00	445	110	6508.21	80.00	445	110
80	39.8	4527.45	10.60	400	100	249.1	82.97	400	100
100	52.2	5659.31	17.41	380	274	7522.45	91.23	380	274
120	69.0	6791.17	23.00	30	274	7522.45	91.23	30	274
140	93.9	7923.03	31.90	274	274	7522.45	91.23	274	274
160	134	9054.89	47.67						

Echantillon C₂ teste à 28 jours
 M. 6 % de ciment L = 300 mm, ϕ = 150 mm

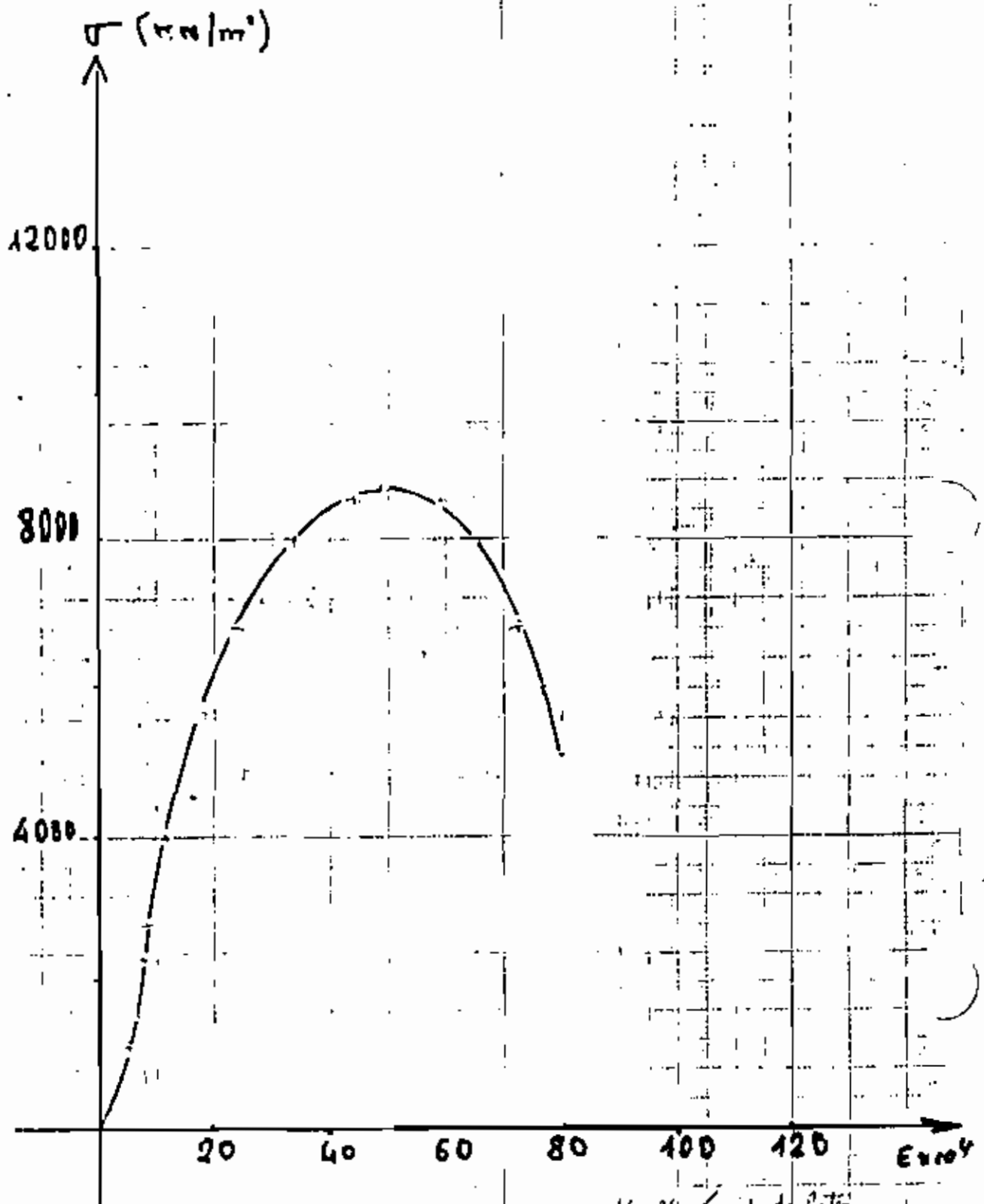


→ 16 % prise de lat

C_2 : Laterite plus 11,57% de ciment

Echantillon C₃ testé à 28 jours~~14~~¹⁶ % de ciment, L = 300 mm, $\phi = 150$ mm

	P (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
	20	15	1131,86	5,000
	30	18,9	1697,79	6,300
	40	21,3	2263,72	7,10
	50	25,0	2829,65	8,33
	70	34,5	3961,52	11,50
	80	48,0	4527,45	16,00
	100	55,0	5659,31	19,33
	120	71,0	6791,17	23,66
	140	100,5	7923,03	33,33
	150	132,6	8488,96	44,00
	153		8659,74	
	150	179	8488,96	59,66
	140	196	7923,03	66,33
	120	215	6791,17	71,66
	110	230	6225,24	76,66
	100	242	5659,31	80,66
	90	242	5093,39	80,66



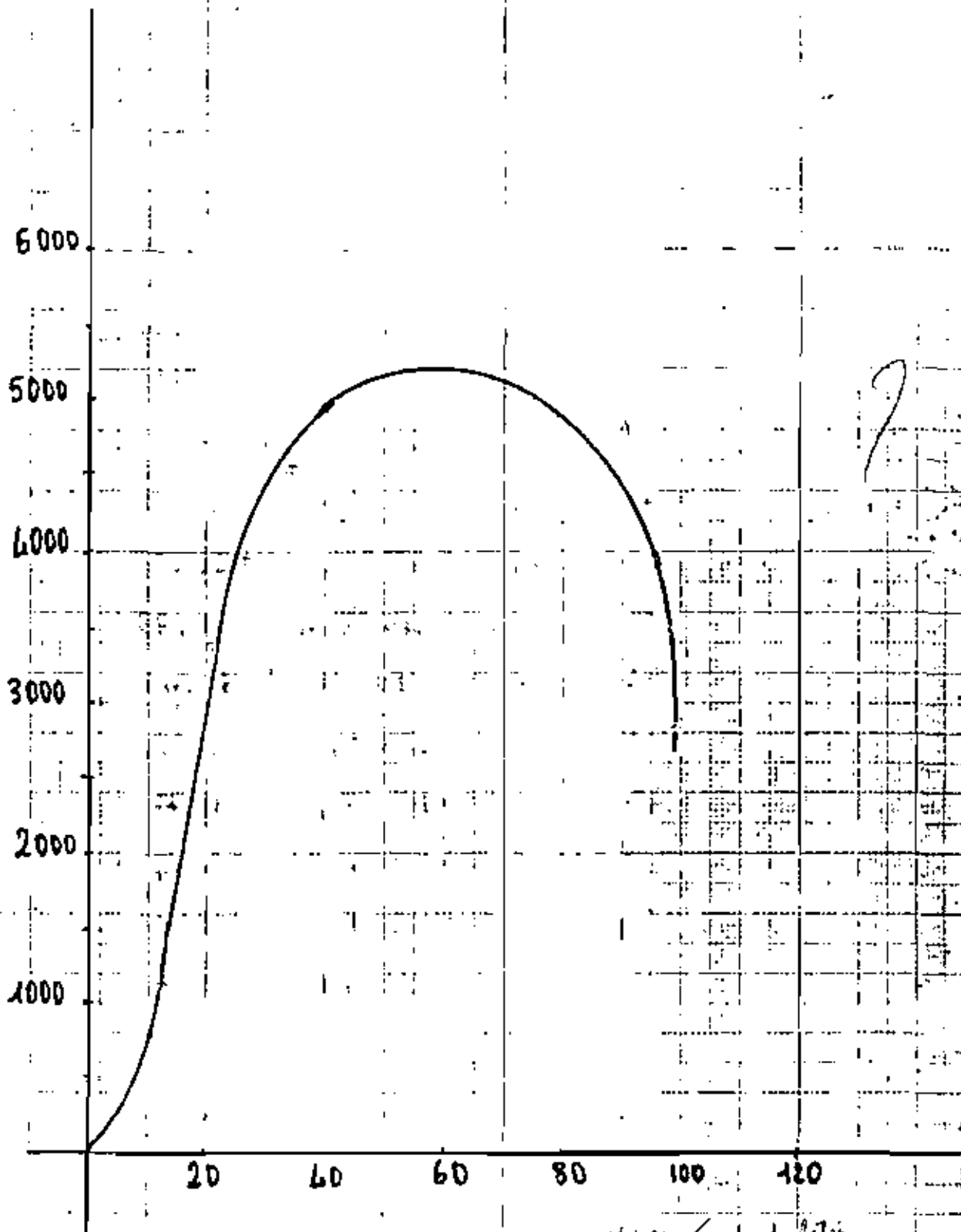
16 % / poids de laterite.

C₃: Laterite plus 11,57% de ciment.

Echantillon C₄ teste à 28 jours

~~8~~ 4 % ciment, l = 300 mm, $\phi = 150$ mm

P (KN)	Δ (10 ⁻² mm)	σ (KN/m ²)	$E \times 10^4$
20	36.5	1131,96	12,17
40	43	2263,72	14,33
60	63	3395,58	21,00
70	79	3961,52	26,33
80	103	4527,45	34,33
92	150	5206,56	50,00
95	270	4910,41	90,00
77	284	4357,67	94,67
69	288,5	3904,92	96,17
57	295	3225,81	98,33
50	298	2829,65	99,33



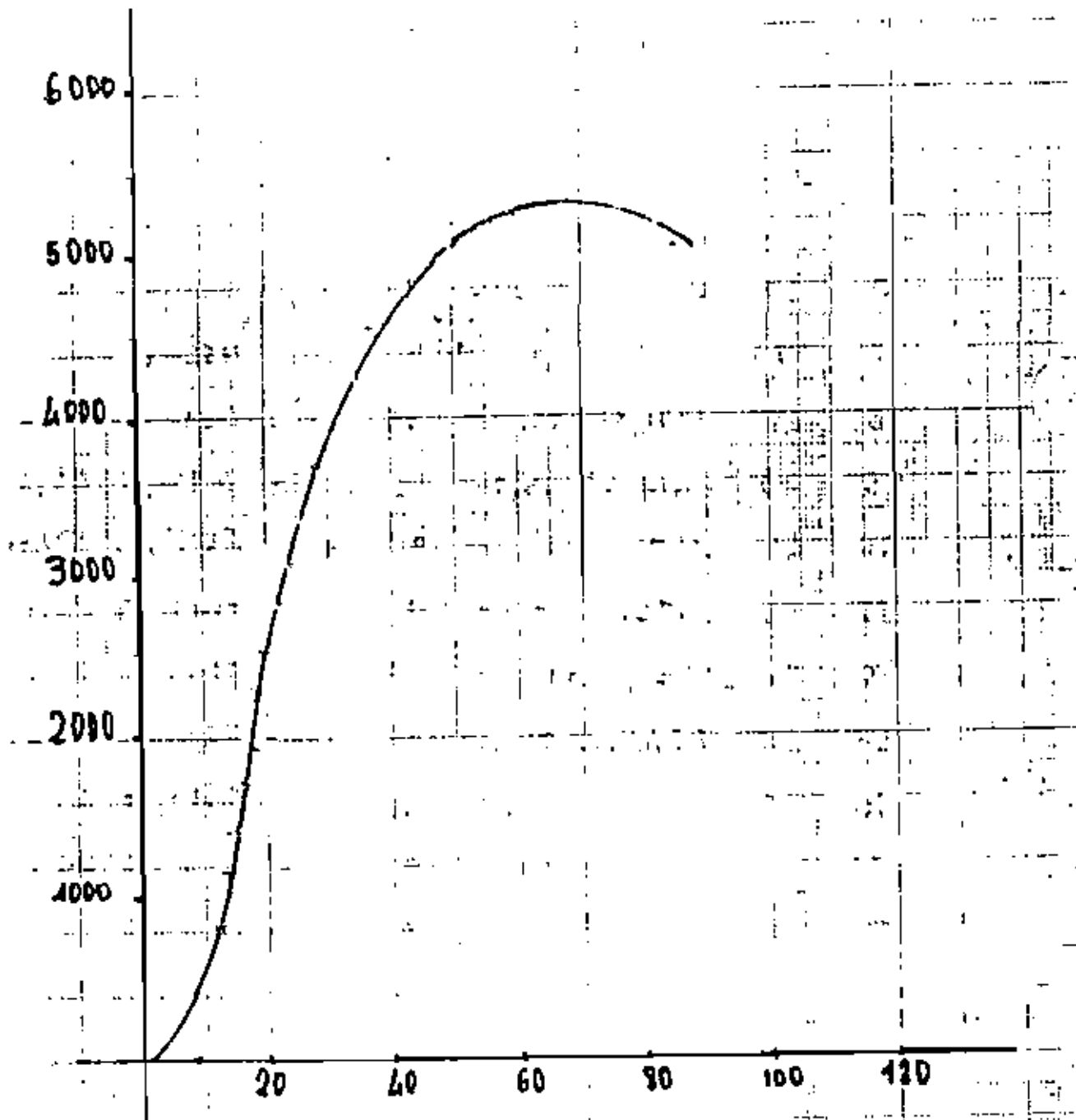
C₁₄: Laterite plus 8,39% de ciment

11,1% / grado de laterite

Echantillon C5 teste à 28 jours

8.4 % de ciment , L = 300mm , $\phi = 150$ mm
1.2%

P (kN)	Δ (10 ⁻²)	σ (kN/m ²)	$E \times 10^4$	P (kN)	Δ (10 ⁻²)	σ (kN/m ²)	$E \times 10^4$
0	27	0	9.00	75	103,5	4244,48	34,50
15	39,1	849,90	11,7	90	110	4527,45	36,67
20	41	1131,86	13,67	95	118,2	4810,41	42,73
25	45	1414,83	15,00	98	119,9	4980,19	46,27
30	48	1697,79	16.00	90	150	5093,38	50.00
35	52	1980,76	17,33	91	158	5149,97	52,67
40	56	2263,72	19,67	92	165,6	5206,56	55,20
45	60	2546,69	20.00	95	172,2	5263,16	59,27
50	65	2829,65	21,67	94	201	5319,75	67.00
55	70	3112,62	23,33	93	217	5263,16	75,67
60	76,2	3395,59	25,40	92	243	5206,56	81.00
65	83,5	3678,56	27,83	90	257	5093,38	84,73
70	92.5	3961,51	30,33	90	263	5093,38	87,66



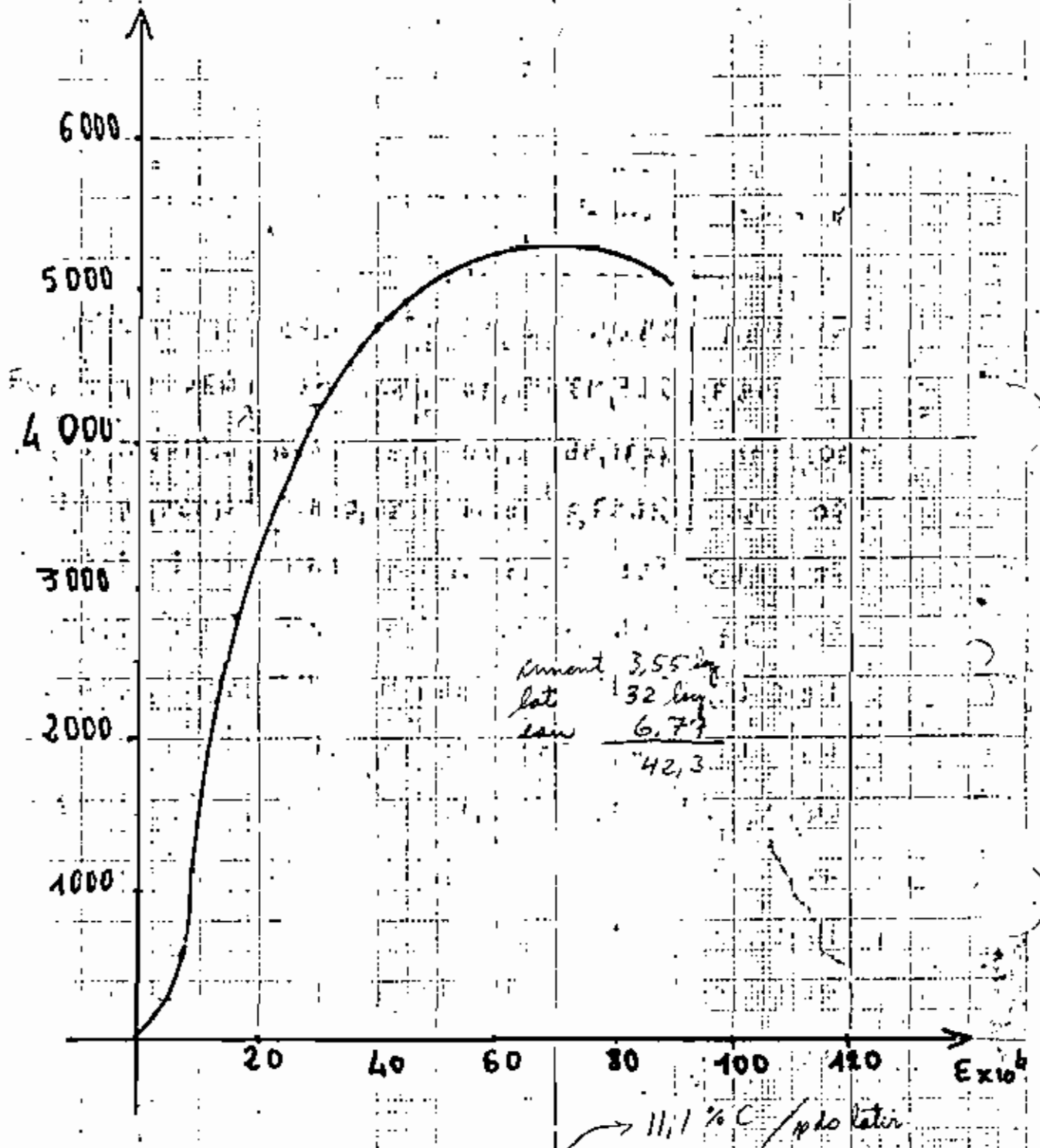
→ 11,1 % / poids de lat.

C₅: Laterite plus 8,39% de ciment

Echantillon C₆ réste à 28 jours

8,5% de ciment, L = 300 mm, $\phi = 150$ mm
11%

P (kN)	Δ (10 ⁻³ mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$	P (kN)	Δ (10 ⁻³ mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
5	14.1	282,97	4,70	91	110	4536,04	36,67
10	18.3	565,93	6,10	83,2	119	4708,54	39,67
20	24	1131,86	8,00	85	124	4810,41	41,77
30	30	1697,79	10,00	86,4	132	4899,64	44
50	46.5	2829,65	15,50	88	140	4980,19	46,67
40	37	2263,71	12,33	90	155	5093,38	51,66
60,5	66,2	3423,88	22,06	91	165	5149,97	55,00
65	69,9	3678,55	23,30	92	179	5206,56	59,67
68,8	78,5	3993,60	26,17	93	189.5	5263,16	62,87
72,0	84	4097,34	28,00	93.5	192	5291,45	64,00
74.2	98	4199,21	29,23	92	225	5206,56	75,00
76.4	95,5	4323,71	31,87	90	259	5093,38	86,00
79	107	4470,89	35,67				

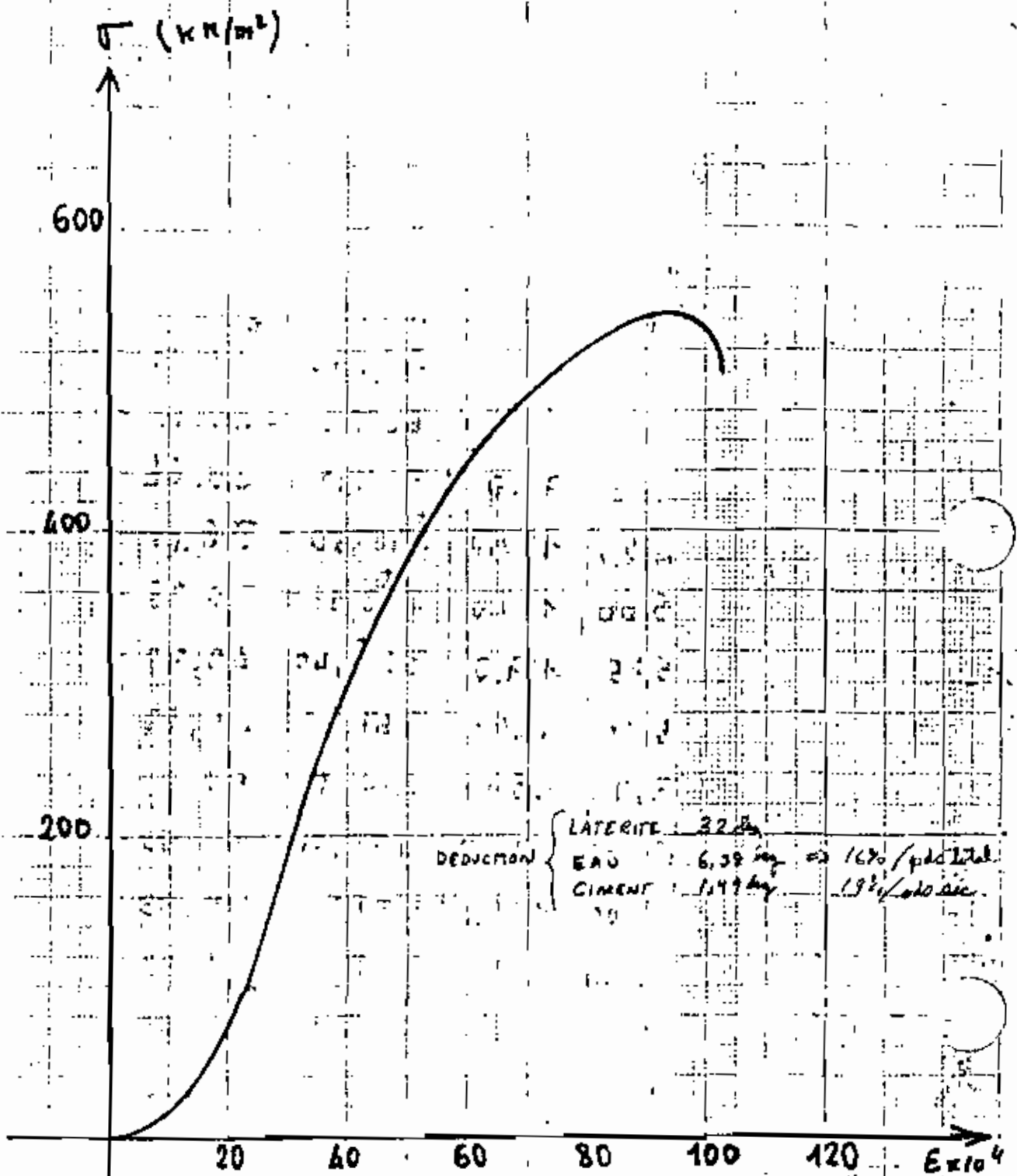


C₆: Laterite plus 8,39% de ciment

Echantillon C₇ testé à 28 jours

3,7% de ciment, L = 300 mm, Φ = 150 mm
4,4%

P (KN)	Δ (10 ³ mm)	σ (KN/m ²)	E x 10 ⁴
0,50	39,4	28,30	13,30
1,10	60,0	62,25	20,00
1,75	71,0	99,00	23,66
4,25	108,0	240,50	36,00
5,00	115,0	282,96	38,33
5,75	122,0	325,40	42,33
6,50	140,0	367,85	46,67
7,25	157,0	410,30	52,33
7,75	172,0	438,60	57,33
8,00	182,0	452,74	60,33
8,50	205,0	481,00	68,33
9,00	229,5	509,30	76,50
9,50	277,0	537,60	91,00
10,00	280,0	565,90	97,30
9,60	296,0	543,30	95,33
9,00	305	509,90	102,00



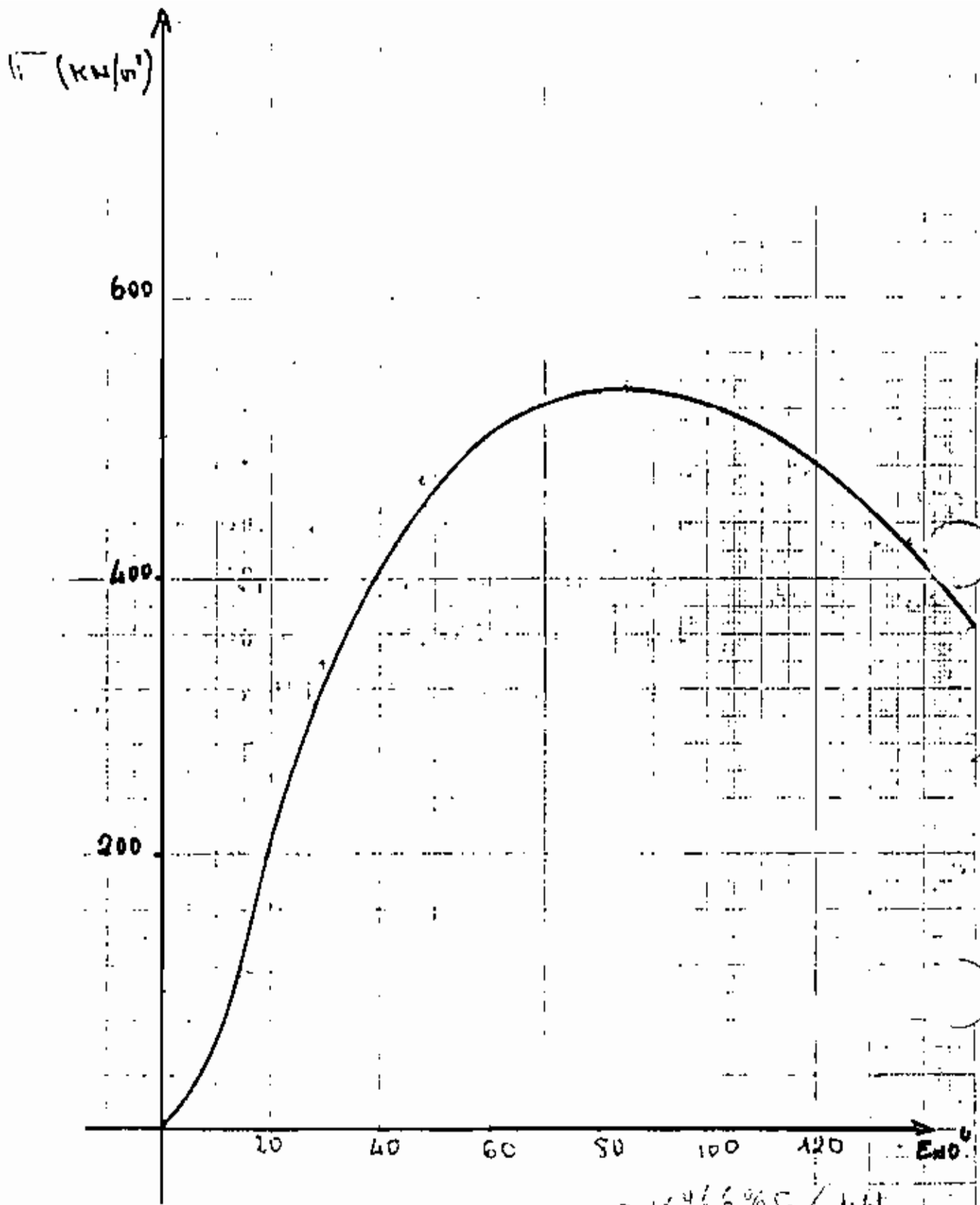
\Rightarrow 4,66% c / poids lat

C₇: Laterite plus 3,74% de ciment

Echantillon C₈ : teste à 28 jours

3,7% de ciment, L = 300mm, Φ = 150mm
9,66%

P (KN)	Δ (10 ⁻² mm)	$\bar{\sigma}$ (KN/m ²)	E x 10 ⁴
2.0	42	113,19	14.00
4.0	62	226,37	20,67
6.0	87	339,56	29.00
8.0	145	452,74	48,33
9.4	255	531,91	85.00
8.6	360	475,38	120.00
7,5	394	424,45	131,33
	412		137,33
	430		143,33
6,4	450	362,20	150.00



C_8 : Laterite plus 3,74% de ciment

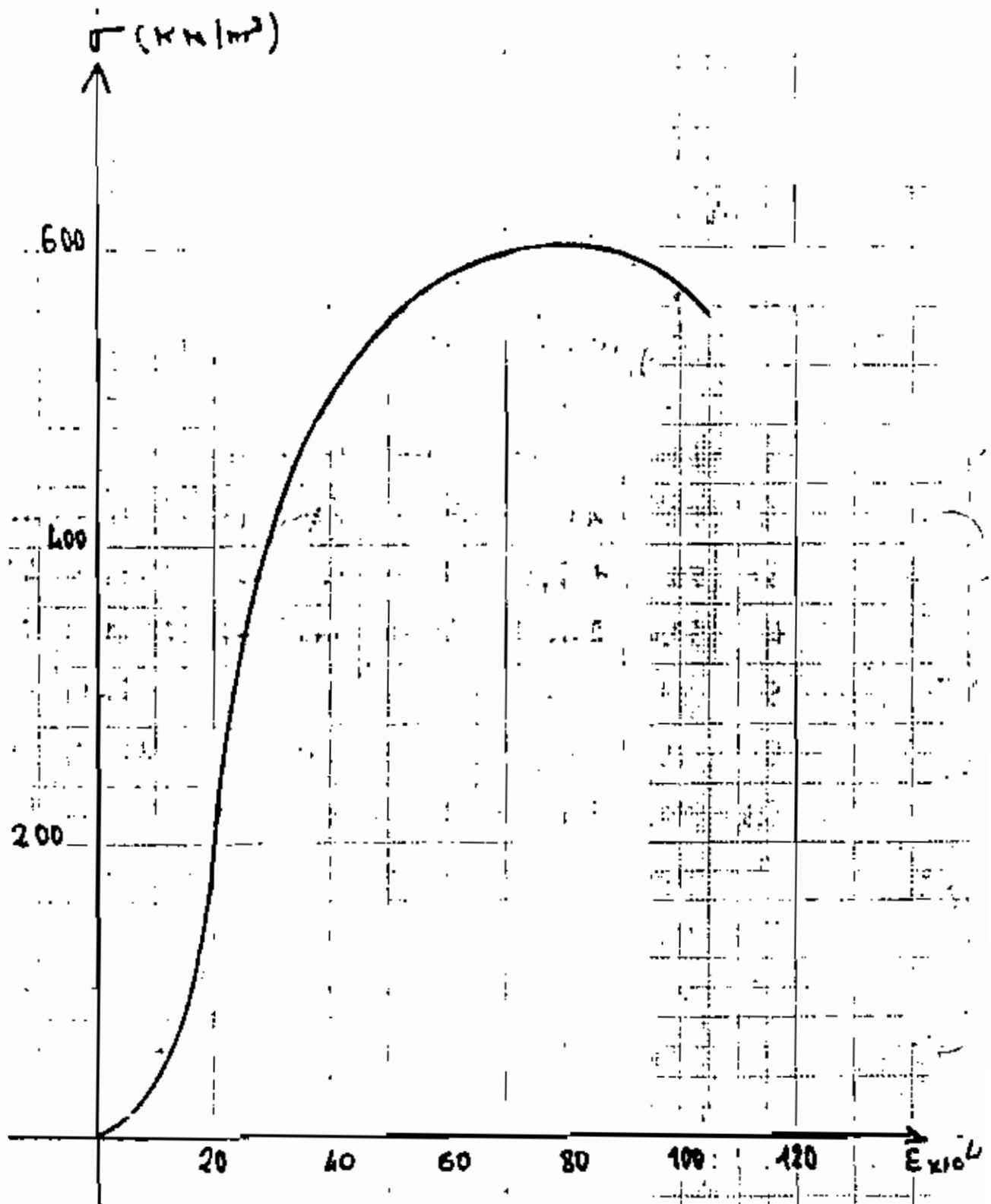
→ 4,65% C / 1,56%

Echantillon Cg teste à 28 jours

3,7% de ciment, L = 300 mm, $\phi = 150$ mm

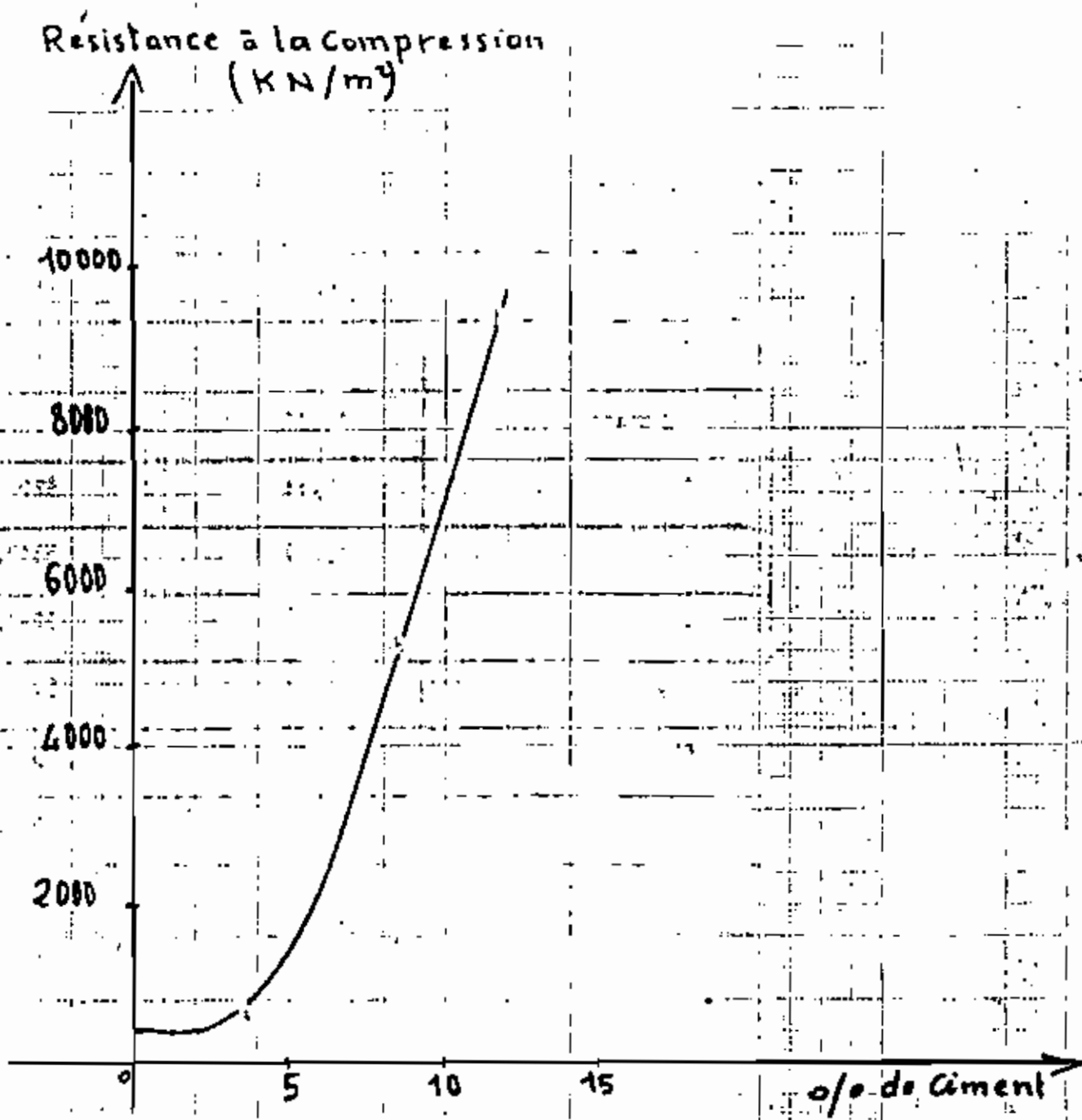
4,66%

P (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$	P (kN)	Δ (10^{-2} mm)	σ (kN/m ²)	$\epsilon \times 10^4$
1	47	56,60	15,67	9	124,5	509,30	41,5
2	53	113,2	17,67	9,25	133	529,50	44,33
3	58	169,80	19,33	9,5	142	537,60	47,37
4	63,0	226,40	21,90	9,75	155	551,80	51,67
5	68	283,00	22,67	10	168	565,90	56,00
6	76	339,60	25,33	10,25	184	580,10	61,33
6,5	80	367,80	26,67	10,50	205	594,30	68,33
7,0	85	396,15	28,33	10,70	254	605,50	84,67
7,5	93	424,40	31,00	10,40	272	588,60	90,67
8,0	101	452,7	33,67	10	300	565,93	100,00
8,5	111	481,00	37,00				



4.66 %

C₉: Laterite plus ~~3,74%~~ 4.66% de ciment



Laterite rouge de THIES
 Résistance à la compression en fonction
 de la teneur en ciment

6.2.5 ROLE DU CIMENT DANS LA RESISTANCE

A partir des résultats précédents on peut classer le tableau suivant

Pourcentage en ciment	Echantillons	Séchage à 28 jours (g)	contraintes de Rupture (KN/M2)
11,6 $\frac{\%C}{LAT} = 16\%$	C1	10,71	10186,76
	C2	22,08	9281,27
	C3	3,63	8658,96
	Moyennes	12,14	9375,66
8,4 $\frac{\%C}{LAT} = 11,9\%$	C4	9,64	5206,56
	C5	15,59	5319,75
	C6	13,68	5291,45
	Moyennes	12,97	5272,59
3,7 $\frac{\%C}{LAT} = 4,7\%$	C7	37,91	565,9
	C8	38,84	531,97
	C9	37,09	605,5
	Moyennes	37,95	567,79

Tableau 6.2.5

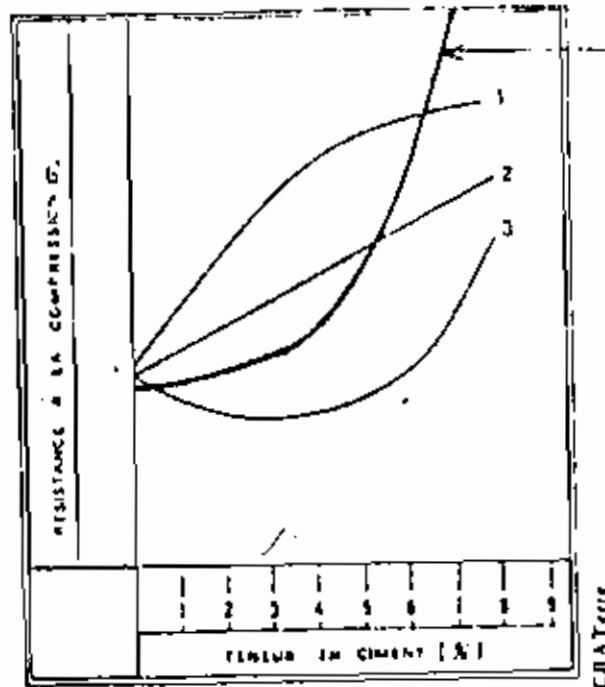
Le tableau 6.2.5 montre que le ciment a un apport bénéfique dans la résistance et que celle-ci augmente avec le pourcentage de ciment (voir fig 6.2.5 à la page précédente)

La variation de la résistance d'un échantillon en fonction de son taux de séchage ne semble pas suivre une loi générale, cependant il est raison-

nable de supposer que plus l'échantillon est sec plus il est résistant.
 A titre comparatif la courbe donnant les résistances en fonction des
 teneurs en ciment pour la latérite rouge de Thiès est inscrite dans la
 figure 284 tirée du livre "Construire en Terre" par Le Cratère.

Fig 284

FIGURE 284. RÉSISTANCE EN FONCTION
 DU TENEUR EN CIMENT ET EN CEMENT
 (PAR LE CRATÈRE)



Les résultats obtenus ici sont également comparés avec ceux
 donnés dans l'annuaire N° 49 de l'Institut Technique du Bâtiment et des
 travaux Publics. Ces résultats sont illustré ci-après pour plusieurs sols.

- W_{opt} : teneur en eau à l'optimum Proctor
- d 50 : diamètre tel que le poids des grains plus
 petits que ce diamètre représente 50 %
 du poids total
- d 10 : diamètre tel que le poids des grains plus
 petits que d 10 représente 10 % du poids
 total
- d 60/30 : coefficient d'uniformité exprimé à l'état
 normal des dimensions des grains.
- Limites d'Atterberg :
 Limite de liquidité (L.L.), de 25 à 75
 (L.P.), et limite de plasticité (P.P.)
- N : pourcentage en poids des grains plus
 fins que la dimension est 0,075 mm
 (n°20)

Terre	Nomenclature	γ_{sat}	σ'_v	d_{50}	d_{10}	d_{60}	C_u	IP %	IP %	IP %	
1	Latérite sablo argileuse	1,8	1	0,25	0,075	0,75	10	33	17	13	57
2	Latérite sablo silteuse	1,7	21 %	0,11	0,017	0,35	17,5	40	27	13	60
3	Latérite gravelo argileuse	1,8	19 %	0,4	0,002	1,250	315	38	20	18	45
4	Latérite gravelo silteuse	1,7	20 %	1,1	0,01	43	43	40	31	9	59
5	Sable	1,85	8 %	0,7	0,18	4,5	—	—	—	—	36
6	Sable fin silteux	1,93	11 %	0,05	0,003	30	—	19	16,5	2,5	63
7	Argile silteuse	1,65	19 %	0,006	0,0005	20	—	41	19	22	46
8	Latérite rouge de terre	2,03	12,9%	3,4	0,19	23,7	—	40,2	15,6	24,7	16

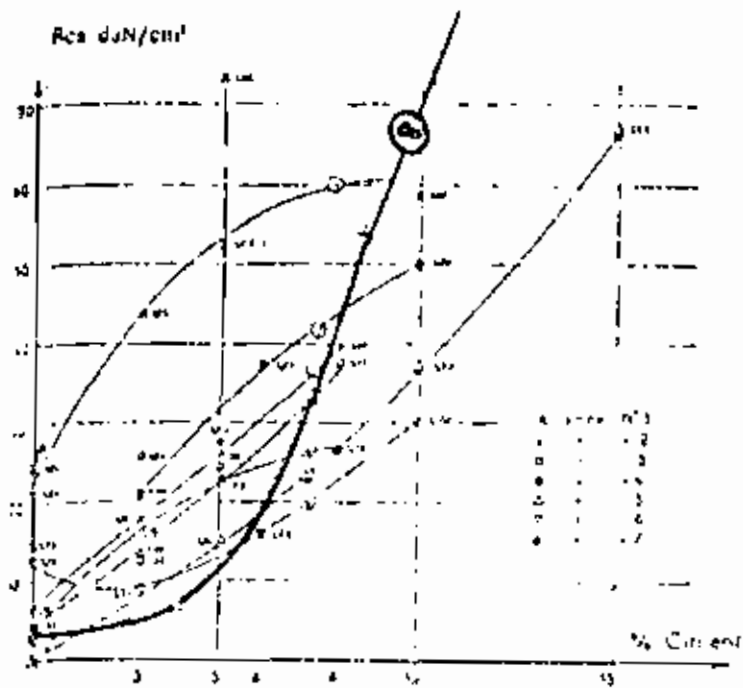


Fig 2a. — Résistance à l'écrasement des fines avec en fonction de la teneur en ciment.

La chaux agit surtout sur les particules argileuses, son action est bénéfique à long terme lorsque en réagissant avec l'argile elle forme des éléments cristallins nouveaux qui cimentent les grains du sol et augmentent ainsi sa résistance. Il est à noter que la stabilisation à la chaux n'est bénéfique que pour des sols contenant un fort pourcentage d'argile.

Pour plus de détails sur la stabilisation de la latérite rouge de Thiès à la chaux consulter le projet de fin d'études de l'élève-ingénieur El Hadji Mamadou M. THIAM

III CONCLUSIONS



Les essais faits dans ce rapport sont assez limités en raison principalement des contraintes de temps imposées, c'est pourquoi une théorie liant les caractéristiques des latérites à leurs résistances n'a pas pu être établie à partir des expériences réalisées.

Néanmoins on a pu constater quand même que comparativement au béton qui a des contraintes de rupture de l'ordre de 20 à 40 MPa, les latérites offrent des résistances de loin plus faibles : de l'ordre de 0,4 à 0,8 MPa pour les latérites pure et de 0,6 à 10 MPa pour la latérite stabilisée entre 3,7 et 11,6 % de ciment.

Cependant la courbe de la figure 6.2.5 à la page 69 qui donne la résistance de la latérite en fonction de sa teneur en ciment montre que pour cette latérite rouge de Thiès, la résistance augmente lentement avec les faibles teneurs en ciment pour ensuite connaître de grands accroissements avec des pourcentages supérieurs à 6 (la résistance est doublée avec seulement 3 % de plus de ciment).

Notons que les courbes contraintes versus déformations unitaires ont montré que d'une manière générale la latérite non encore stabilisée se déforme élastiquement dans une zone bien déterminée et une valeur moyenne du module d'élasticité égale à 30,8 KN/M² a été trouvée. La latérite stabilisée au ciment semble être quant à elle moins élastique.

./.

Les échantillons construits avec paille eux-mêmes s'ils n'améliorent pas la résistance à la compression présentent une large zone d'élasticité ce qui peut jouer un rôle très important en pratique où la paille contribue énormément à la durabilité et à la résistance aux intempéries des constructions.

À partir de ces résultats il serait envisageable de faire une vérification de certaines constructions villageoises déjà existantes, ces constructions sont conçues de telle sorte que la latérite travaille principalement en compression et elles comportent le plus souvent un seul niveau.

Ces discussions restent ouvertes car la poursuite de la recherche nous éclairera sans nul doute d'avantage sur le sujet.

CONCLUSION

Nous venons de faire une étude des résistances des latérites pour leur utilisation éventuelle dans la construction. On remarquera que le projet ne comporte presque pas d'études théoriques, il est purement expérimental ; ce caractère particulier du sujet et son étendu ont fait que le travail pratique a été confié à deux étudiants.

Même si au bout de l'oeuvre qui vient d'être accomplie on n'est pas encore capable de fournir toutes les recommandations sur l'usage des latérites comme matériaux de construction, il n'en demeure pas moins qu'une étape importante vient d'être franchie dans la connaissance des comportements mécaniques des latérites soumises à des conditions diverses.

Les résultats qui viennent d'être obtenus sont très encourageants en ce sens qu'ils restent conformes à des normes et recommandations déjà établies par d'autres auteurs.

Quelques unes de ces normes et recommandations sont d'ailleurs données en annexe à la fin de ce volume.

Nous espérons finalement que ce travail de recherche qui vient d'être entamé sera continué par d'autres étudiants des promotions à venir.

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

- - - - -

La liste bibliographique ci-après est très limitée, en raison du manque des documents traitant du sujet, ceci n'a pas manqué de nous créer des problèmes de démarrage du projet.

O U V R A G E S C O N S U L T E S

- Le Craterra, Construite en Terre, Editions : Alternative et parallèle
- ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE du Bâtiment et des Travaux Publics, N° 49
- UNESCO ; compte-rendu de recherches sur les latérites par R. Maignien
- Notes de Mr MORIN professeur à l'E.P.T.

ANNEXES

NORMES ET RECOMMANDATIONS
DE CERTAINS AUTEURS.

Caractéristiques générales

Les données avancées sont tirées d'essais effectués par différents organismes (Australie, U.S.A., France, etc.) et donnent une idée des performances du matériau, et peuvent servir de base à une conception architecturale. Dans tous les cas, des tests sont nécessaires pour vérifier si les résultats obtenus correspondent avec ces caractéristiques.

Le travail recommande :

• compression : 2 Kg/cm²

• traction : 0

• cisaillement : 0,3 Kg/cm²

ce qui correspond à une construction d'un type stabilisé.

Résistance à la compression

• Résistance au ciment : 50 à 100 Kg/cm²

• Résistance à la chaux : 30 à 80 Kg/cm²

• Résistance au bitume : 15 à 60 Kg/cm²

• Résistance aux fibres : 5 à 20 Kg/cm²

• Résistance aux produits chimiques : 20 à 40 Kg/cm²

• Résistance aux produits

• Résistance aux produits agressifs : 150 à 400 Kg/cm²

Résistance à la compression humide :

environ la moitié de la résistance à sec.

Résistance à la traction :

• (selon Brésilien), 1/5 de la résistance à la compression.

Module d'Young

entre 70 000 Kg/cm²

Perméabilité :

1 x 10⁻¹⁰ cm. seconde

Retrait linéaire au séchage de la terre
humide stabilisée 2 mm/m

Retrait linéaire horizontal dû au mortier (pour un mur de terre de 30 x 30 x 30 cm) : 1,7 à 2% par 5 cm.

Dilatation thermique :

0,012 mm/m par °C

Caractéristiques thermiques :

coefficient de conduction 0,44 à 0,57 Kcal/h m °C

chaleur spécifique C = 0,2 Kcal/Kg

coefficient de transmission globale K, d'un mur de terre stabilisé,

mur de 20 cm :

- 1,6 Kcal/h m² °C 1,3 W/m² °C

mur de 30 cm :

- 1,2 Kcal/h m² °C 1 W/m² °C

mur de 40 cm :

- 1 Kcal/h m² °C 0,86 W/m² °C

mur de 50 cm :

- 0,8 Kcal/h m² °C 0,7 W/m² °C

amortissement thermique pour un mur de 40 cm.

m = 10%

déphasage horaire pour un mur de 40 cm : 8 à 12 heures.

Caractéristiques phoniques

Mur de 40 cm amortissement pour une fréquence de 500 Hz = 56 dB.

Essais normalisés

Les essais proviennent du cahier des charges de la construction en adobe stabilisé (C.A.S.A.).

Essai de compression :

ce qui se fait sur des éprouvettes cylindriques de 5 cm de diamètre et de 5 cm de hauteur. Les échantillons sont moules avec les caractéristiques que le matériau a subi pendant le séchage humide pour l'adobe comprimé.

pour le pisé et les blocs comprimés.

Après un premier séchage destiné à éviter les fissures de retrait, les éprouvettes sont placées dans une étuve à 65 °C jusqu'à ce qu'elles atteignent un poids constant. On assure ensuite le parallélisme des surfaces portantes de l'échantillon en étalant une couche de papier sur la face supérieure et

la face inférieure du cylindre. Les éprouvettes sont ensuite testées avec une machine spéciale ou tout autre système équivalent. Les essais sont réalisés sur 5 échantillons et on fait la moyenne. La force exercée sur la machine à tester peut varier de 2 Kg pour les échantillons les plus faibles à 1000 Kg pour les échantillons les plus résistants.

Résistance à la flexion (module de rupture)

Les grands échantillons ou les briques entières, peuvent être testées et flexées. On les dépose sur deux supports parallèles en tubes, espacés de 25 cm. Une charge concentrée est appliquée par l'intermédiaire d'un tube horizontal placé au milieu du bloc à tester, à raison de 250 Kg par minute. On note la charge nécessaire pour rompre la brique. Le module de rupture peut être calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{P}{2} \times 25 = \frac{P^2}{100}$$

R = module de rupture en Kg/cm²
 25 = distance d'appui en cm
 l = largeur de la brique en cm
 a = épaisseur de la brique en cm

On prend la moyenne des 5 essais pour établir le module de rupture.

Absorption :

Cinq échantillons cubiques de 10 cm de côté sont taillés dans le matériau. On les fait sécher à l'étuve jusqu'à obtenir un poids constant. La perte de poids sera notée (teneur en eau). Après refroidissement, les échantillons sont posés sur une surface poreuse constamment saturée d'eau, dans une atmosphère humide. Au

born de 7 jours on mesure l'augmentation du poids des échantillons, que l'on exprime en pourcentage de poids sec. L'absorption est la moyenne des 5 échantillons.

Erosion :

Un lit de terre dont la taille importe peu (une brique entière par exemple) est placé sur une grille devant un jet d'arrosage. La brique est verticale, à 17 cm en face d'une rampe de douche, qui l'arrose avec un jet horizontal d'une pression de 1,5 Kg/m² pendant deux heures. On peut mesurer la perte de poids de la brique, et la profondeur des trous. La plupart du temps les résultats de ce test ne sont qu'indicatifs, et une légère érosion ou une surface grêlée ne doivent pas être interprétés défavorablement.

Mouillage séchage (ASTM normes D 559-41 et D 560-44)

Confectionner trois éprouvettes A, B et C. A servira pour l'étude des variations de volume et de la teneur en eau, B et C serviront à déterminer la perte de poids matériel après chaque cycle.

Les éprouvettes sont séchées à l'air et soumises à une série de 12 cycles comprenant :

- 5 heures d'immersion au bout desquelles l'éprouvette A est mesurée et pesée.
- 42 heures de séchage à l'étuve à 60°C.

L'éprouvette A est mesurée et séchée tandis que les éprouvettes B et C sont brossées (4 coups de brosse aux extrémités, 18 à 20 coups sur les parois). Elles sont ensuite pesées. Le cycle complet ne doit pas excéder 48 heures.

On recommence ce cycle 12 fois de suite puis les éprouvettes sont séchées à 100°C jusqu'à poids constant.

La perte de poids maximum admise après 12 cycles de mouillage est de 10 %.

Normes et recommandations

UIC 1958 (Uniform Bonding C 1 U.S.A.). Pour l'adobe stabilisée :

- compression (minimum) : 24 Kg/cm²
- module de rupture (mini) : 4 Kg/cm²
- absorption en 7 jours (maxi) : 2,5 % du poids sec

- teneur en eau (maxi) : 4 % du poids sec
- érosion : profondeur moyenne des trous, 0,15 cm
- fissures : pas de fissures de plus de 3 mm de large et de 7,5 cm de long. Pas plus de 3 fissures par brique

1) L'ACI (USA) France 1967 pour la terre adobe stabilisée
 - résistance à la compression: 14 Kg/cm²
 - rapport de travail: murs extérieurs: 1 Kg/cm²
 murs intérieurs: 2 Kg/cm².

2) Recommandations de l'O.N.U. (inter national Housing and Planning Centre: 1967, V.1)

- humidité humide (mini) 14 Kg/cm²
 - prise de poids après 12 cycles de mouillage et séchage

- constructions urbaines: 5 % pour tous climats, 10 % en climat sec

- constructions rurales modestes: 10 % pour tous climats et climat sec.

- dans tous les cas, le module du mur est défini par le rapport entre la hauteur et l'épaisseur.

- le module doit rester inférieur à 18

3) Il est recommandé de tenir sur la constance à la compression - bon le module du mur.

module	coefficient de sécurité
10	41
11	25
12	18
13	12

Recommandations pour l'adobe stabilisée (Pérou)

- résistance à la compression:

17,5 Kg/cm²: Bon

17,5 à 14 Kg/cm²: limite

inférieure à 14 Kg/cm²: mauvais

- module de rupture: 3,5 Kg/cm²: Bon
 inférieur à 3,5 Kg/cm²: mauvais.

- absorption: 2 % ou moins: excellent

2 à 3 %: bon

3 à 4 %: passable

4 % et plus: insuffisant.

Recommandations de Middleton (Australie)

Le rapport de l'épaisseur des murs porteurs à leur base sur la hauteur totale doit pas être inférieur à 1/18.

Traditionnellement les constructeurs respectaient la règle de ne pas laisser en haut des murs (portes et fenêtres) plus d'un tiers de la surface du mur. Cette règle, un peu simpliste et trop restrictive (sauf dans

les zones sismiques), peut être affinée par des données plus sophistiquées. Les murs de terre étant particulièrement vulnérables aux efforts horizontaux causés par le cloaquement des fenêtres, les jours de grand vent. Le tableau suivant donne les longueurs maximum des murs entre les points de renforts: angles, contreforts extérieurs ou murs de refend.

épaisseur du mur (en m)	0,30	0,35	0,40	0,45
nombre de murs: 1 niveau (en m) comprise entre	2,75/3	3/4	3/5	3/5,5
2 niveaux (en m) comprise entre	4/5	4/6	5/6,7	5/7,2
longueur maximum entre deux points de renfort d'un mur (en m) sans				
ouvertures	9	10,75	12	13,75
avec une ou plusieurs ouvertures ne s'étendant pas à plus de 1,4 m du centre du mur, mesuré horizontalement	7,3	8,5	9,75	11
avec une seule ouverture près d'une extrémité, ne s'étendant pas au-delà d'un tiers du mur.	6,5	7,5	8,5	9,5
avec un groupe d'ouvertures ou une ouverture large jusqu'à 3,6 m de large.	5,5	6,5	7,3	8