

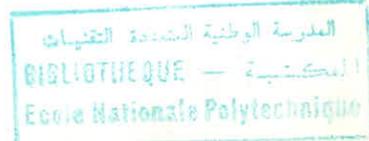
15/86

وزارة التعليم و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**BETON DE SABLE  
STRUCTUREL**

Proposé par :

**CNERIB**

Etudié par :

**CHIKHI, Hakima  
OUCHERIF, Nadjia**

Dirigé par :

**M<sup>r</sup> A. CHARIF**

PROMOTION : **Janvier 86**



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE CIVIL



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**BETON DE SABLE  
STRUCTUREL**

Proposé par :  
**C N E R I B**

Étudié par :  
**CHIKHI Hakima**  
**OUCHERIF Nadja**

Dirigé par :  
**M<sup>r</sup> A. CHARIF**

PROMOTION : **Janvier 86**

Spécialité: ... GENIE CIVIL ...  
Auteur: ... M. A. CHARIF ...  
Cofauteurs: M<sup>elle</sup> CHIKHI.. Hakima  
M<sup>elle</sup> OUCHERIF Nadja

## الموضوع: البتون الرملي المسلح الملخص:

هذا البحث يحتوي على دراسة البنية الذاتية للخرسانة الرملية وذلك في ثلاث مراحل؛  
- تحديد العيارات التي تمكن الحصول منها على مقاومة الضغط التي تصل إلى 200 كلغ/سم<sup>2</sup>  
- دراسة خواص التلامس والتلاحم المحلية للبتون الرملي المسلح  
- سلوك جاذب يحتوي على ببتون رملي مسلح معرض للانعطاف البسيط  
النتائج التي حصلنا عليها تشجع على التوجه لاستعمال هذه البنية.

### BETON DE SABLE STRUCTUREL

Cette recherche consiste à étudier le comportement structurel du béton de sable en trois phases :

- Détermination de la composition optimale en vue d'obtenir une résistance à la compression atteignant les 200 kg/cm<sup>2</sup>.
- Etude des "phénomènes de contact" ou adhérence mutuelle : Béton de sable - Acier.
- Comportement d'une poutre en béton de sable armé soumise à la flexion simple.

Les résultats obtenus sont très encourageants et, nous croyons fermement à la possibilité d'utilisation rationnelle et étendue de ce matériau.

### STRUCTURAL SAND CONCRETE

The aim of this research is to study the structural behaviour of sand concrete in three stages :

- Determination of the optimum mix design giving compressive strengths of 200 kg/cm<sup>2</sup>.
- Investigation of the adhesion and bond between steel and sand concrete.
- Behaviour of a reinforced sand concrete beam in flexure.

The results obtained are very encouraging and we firmly believe in the possible rational and extensive use of this material.



• [/-] mon père

• [/-] ma mère,

En témoignage de ma reconnaissance et mon affectueuse  
gratitude .

• [/-] mes frères et soeurs,

qui me sont chers.

• [/-] mes amis (es) qui m'ont prodigué conseils et soutenu  
avec leur sourire et leur amabilité .

Je dédie ce travail .

AKIMA

- II- la mémoire de mon regretté père
- II- mon affectueuse mère, source de soutien moral.
- II- mes frères et soeurs.
- II- mon ami Elias, en reconnaissance de son aide bénéfique.  
ainsi qu'à tous mes amis (es).

Je dédie ce travail .

II III AOJIA

- \* - R E M E R C I E M E N T S



Il nous est agréable d'exprimer notre profonde reconnaissance et nos vifs remerciements à notre professeur et promoteur Monsieur A.CHARIF pour l'aide précieuse apportée à la conception de notre thèse ainsi que pour ses suggestions créatives.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui nous ont témoignés intérêt et aide, et plus particulièrement :

- Monsieur MOUAICI R. et Monsieur HUMRECHTS M. pour leur aide technique au Laboratoire .
- Mademoiselle CHIKHI Dalila (architecte) pour sa contribution à la mise en forme de ce document .
- Le personnel du LNTPC pour avoir bien voulu nous accepter au sein de leur Laboratoire .
- Nous ne terminons pas sans remercier toute personne du CNERIS (en particulier l'équipe de la D.C.M.T.) ayant participé de loin ou de près à l'élaboration de ce travail .

	Page
<u>CHAPITRE 1. - : GENERALITES</u>	
1.1.- INTRODUCTION	01
1.2.- OBJECTIFS DE L'ETUDE	02
1.3.- PRESENTATION DE L'ETUDE	03
1.4.- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	04
<u>CHAPITRE 2. - : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX</u>	
2.1.- SABLE	10
2.2.- CIMENT	16
2.3.- ACIER	19
<u>CHAPITRE 3. - : DETERMINATION DE LA COMPOSITION OPTIMALE</u>	
3.1.- DETERMINATION DE LA COMPOSITION DE BASE	21
3.2.- ETUDE DE L'INFLUENCE DES FILLERS SUR LA COMPOSITION DE BASE	25
3.3.- ETUDE DE L'INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION DE BASE	29
3.4.- ETUDE DE L'INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT.	37
<u>CHAPITRE 4. - : ASSOCIATION BETON DE SABLE/ ACIER - ESSAI D'ADHERENCE.</u>	
4.1.- INTRODUCTION	45
4.2.- PRESENTATION DE L'ESSAI	48
4.2.1. But de l'essai	
4.2.2. Principe de la méthode	
4.2.3. Appareillage spécifique	
4.2.4. Execution de l'essai d'adhérence	
4.3.- RESULTATS ET INTERPRETATIONS.	54
4.3.1. Influence de divers facteurs sur l'adhérence	
4.3.2. Relation entre l'adhérence et le glissement des aciers par rapport au béton.	
Conclusion .	

CHAPITRE 5. - : COMPORTEMENT STRUCTUREL DU BETON DE SABLE.

5.1.- ETUDE D'UNE POUTRE A SECTION RECTANGULAIRE  
SOUmise A LA FLEXION SIMPLE. 64

5.1.1. Définitions

5.1.2. But de l'essai

5.1.3. Principe de la méthode

5.2.- PRESENTATION DE L'ESSAI 66

5.2.1. Appareillage spécifique

5.2.2. Exécution de l'essai

5.2.3. Observation expérimentale du comportement  
du béton de sable structurel

5.3.- RESULTATS ET INTERPRETATIONS. 69

Conclusion.

ASPECT ECONOMIQUE 76

CONCLUSION GENERALE 77

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

- CHAPITRE I -

- GENERALITES -

## 1.1.- INTRODUCTION :

Depuis quelques années, un renouveau technologique est apparu dans l'utilisation des matériaux locaux pour les constructions et ce, pour des raisons socio-économiques évidentes. En effet, l'utilisation de tout matériau local limiterait de ce fait les transports pondéreux et onéreux.

Dans le domaine des "bétons" (élément majeur de la plupart des constructions), des recherches ont conduites à l'obtention de nouveaux bétons composés de matériaux locaux.

Citons : Le Béton de Plâtre, Le Béton de Terre Stabilisée et plus récemment le "BETON DE SABLE".

Le béton de sable est un béton constitué de ciment, d'eau et essentiellement de sable de dunes (70 %).

Notons le double intérêt de l'utilisation de ce béton dans les constructions du Sud Algérien :

- D'UNE PART, L'absence de gravier dans sa composition :  
matériau rare, voire inexistant dans les régions du Sud.
- D'AUTRE PART, le pourcentage élevé de sable de dunes; ressource géologique locale surabondante dans ces mêmes régions

Ainsi le béton de sable pourrait être un matériau de construction adéquat en particulier au Sud. Il suffirait d'exploiter au mieux les ressources qu'il présente.

Ceci est l'objet de notre travail.

## 1.2.- OBJECTIFS DE L'ETUDE :

Notre intérêt pour le béton de sable a été suscité par la thèse intitulée : "BETON DE SABLE" - présentée en Juin 1985 par Mlles CHELGHOUIM et LOUATI, élèves Ingénieurs à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

Sur la base des données recueillies dans cette thèse et du document sur les bétons de sables publié par les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées de Bordeaux et Blois, nous avons jugé intéressant d'orienter nos recherches sur l'éventuel aspect structurel de ce matériau nouveau, en d'autres termes, essayer d'améliorer les performances mécaniques et rhéologiques de ses composants afin d'obtenir un béton de sable structurel.

Le travail est basé principalement sur des expériences en Laboratoire. On a recherché :

- La résistance optimale.
- Le phénomène d'adhérence entre l'acier et le béton.
- Le comportement structurel en flexion sur des poutres.

### 1.3.- PRESENTATION DE L'ETUDE :

Le plan de l'étude est structuré comme suit :

- La première partie est consacrée à l'étude physique, chimique et mécanique des différents composants du béton de sable structural : SABLE - CIMENT - ACIER :
- Nous présentons ensuite les différents essais aidant à déterminer la composition optimale : celle donnant une résistance à la compression atteignant un minimum de 200 bars à 28 Jours - valeur suffisante pour un matériau structural.

Aucune méthode bien définie (théorique) n'a été utilisée. Seules des itérations nombreuses et successives ont permis d'aboutir aux objectifs préalablement fixés.

- La troisième étape envisage une association acier - béton de sable. Pour cela, nous procédons à des essais d'adhérence, afin d'évaluer le taux des contraintes d'adhérence entre le béton de sable et l'acier.
- Finalement, nous voyons comment le béton de sable structural se déforme, se fissure ou se rompt en fonction de la nature de la sollicitation qui lui est appliquée : COMPRESSION - TRACTION et FLEXION. Nous étudions plus particulièrement les différents phénomènes résultants des essais de flexion sur des poutres que nous avons confectionnées.
- Nous terminons notre recherche par une étude comparative entre le béton classique et le béton de sable .

#### 1.4.- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE :

Comme mentionné dans l'objectif de notre étude, les deux principaux ouvrages sur le béton de sable auquel nous nous sommes référées sont :

- LES BÉTONS DE SABLES : Etude présentée par les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées de Bordeaux et Blois en 1982
- LA THESE : BÉTON DE SABLE : Sable de Dunes - présentée à l'ENPA par Mlles CHELGHOUIM et LOUATI en Juin 1985.

#### 1.4.1.- APERÇU DU RAPPORT DU LCPC DE BORDEAUX ET BLOIS

Le rapport du LCPC de Bordeaux et Blois présente une étude de base et quelques applications pour l'utilisation des sables de diverses natures et origines. Il présente également la création de produits nouveaux dérivés du béton de sable.

Ce document nous a surtout servi à déterminer la composition optimale de notre béton de sable.

Notons que leur étude se limite à la confection d'un béton de sable non structuré.

#### 1.4.2.- RÉSUMÉ DE LA THESE : BÉTON DE SABLE :

Les différentes phases de cette étude sont :

##### 1.- DETERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DU SABLE UTILISÉ :

Pour éviter certains inconvénients que présente ce sable, des corrections granulaires par adjonction de fillers ont été apportées.

##### 2.- DETERMINATION DE LA FORMULE DE BASE :

Après plusieurs itérations, la formule suivante fut retenue :

( Ciment CPA 325	: 330 kg/m <sup>3</sup>
( Sable 0/0,63	: 1485 kg/m <sup>3</sup>
( Eau	: 340 l/m <sup>3</sup>

Les résistances mécaniques obtenues sont :

- Compression à 7 Jours : 59 daN/cm<sup>2</sup>
- Compression à 28 Jours : 94 daN/cm<sup>2</sup>
- traction à 28 Jours : 12 daN/cm<sup>2</sup>
- Module d'élasticité : 191.000 daN/cm<sup>2</sup>  
en compression à 28 J.

### 3.- ETUDE DE L'INFLUENCE DES FILLERS ET ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION DE BASE :

Cette phase de l'étude a pour but d'améliorer les caractéristiques mécaniques du béton étudié.

En premier lieu est corrigée la granulométrie par adjonction de fillers, ensuite est assurée la plasticité par utilisation d'adjuvants.

#### 3.1.- INFLUENCE DES FILLERS :

3 types de fillers ont été utilisés :

- Fillers calcaires de HASSI-BAHBAH (reste de concassage 0/3mm).
- Fillers calcaires de la carrière de BAB EL OUED (reste de concassage 0/3 mm).
- Sable de dunes de HASSI BAHBAH
- De plus, chaux aérienne de SAIDA : chaux grasse broyée.

#### 3.1.1.- FILLERS CALCAIRES DE HASSI BAHBAH : FILLER (1)

Le tamisat du tamis 1 mm a été utilisé.

FORMULE :

CIMENT CPA 325	: 330 kg/m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,63	: 1385 kg/m <sup>3</sup>
FILLER (1) 10 %	: 220 kg/m <sup>3</sup>
EAU	: 350 l/m <sup>3</sup>

RESULTATS :

Résistances Mécaniques : ( daN/cm <sup>2</sup> )	↑	Compression à 7 J	: 49
		Compression à 28 J	: 77
		Traction à 28 J	: /

3.1.2.- FILLERS CALCAIRES DE BAB EL OUED :

- FILLER (2) :

Le tamisat du tamis 0,25 mm a été utilisé.

FORMULE :

CIMENT CPA 325	:	330 kg/m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,63	:	1375 kg/m <sup>3</sup>
FILLER (2) 10 %	:	220 kg/m <sup>3</sup>
EAU	:	340 l/m <sup>3</sup>

RESULTATS :

Résistances Mécaniques ( daN/cm <sup>2</sup> )	↑	Compression à 7 J	: 64
		Compression à 28 J	: 84
		Traction à 28 J	: /

Module d'élasticité en Compression à 28 J : 131.500  
( daN/cm<sup>2</sup>)

- FILLER (3) :

Le tamisat du tamis 0,1 mm a été utilisé.

Après recherche du pourcentage en Filler (3) donnant les meilleures résistances mécaniques, la formule retenue est :

FORMULE :

CIMENT CPA 325	:	330 kg/m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,63	:	1310 kg/m <sup>3</sup>
FILLER (3) 10 %	:	220 kg/m <sup>3</sup>
EAU	:	340 l/m <sup>3</sup>

RESULTATS :

Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J	: 64
	28 J	: /
	Traction à 28 J	: 16

3.1.3.- FILLERS SILICEUX : *Sable de dunes de HASSI BAHBAH*

*Le tamisat du tamis 0,25 mm a été utilisé.*

FORMULE :

CIMENT CPA 325	: 330 kg/m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,63	: 1385 kg/m <sup>3</sup>
FILLER SILICEUX 10%	: 220 kg/m <sup>3</sup>
EAU	: 340 kg/m <sup>3</sup>

RESULTATS :

Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J	: 55
	28 J	: 90
	Traction à 28 J	: 14

3.1.4. - CHAUX :

*Après recherche du pourcentage optimal en chaux donnant les meilleures résistances mécaniques, une formule a été retenue.*

FORMULE :

CIMENT CPA 325	: 330 kg/m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,63	: 1430 kg/m <sup>3</sup>
CHAUX 3 %	: 175 kg/m <sup>3</sup>
EAU	: 350 l/m <sup>3</sup>

RESULTATS :

Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J	: 78
	28 J	: /
	Traction à 7 J	: 14

CONCLUSION :

*A partir de cette étude, deux formules ont été retenues , présentant d'assez bons résultats à améliorer toutefois.*

<u>FORMULE 1</u>	{ Ciment CPA 325 : 350	<u>RESULTATS :</u>	{ Compression 7 J : 64daN/cm <sup>2</sup>
	{ Sable 0/0,63 : 1310		{
	{ Filler (3) 10% : 220		{
	{ Eau : 340		{ Traction 28 J : 16daN/cm <sup>2</sup>

<u>FORMULE 2</u>	{ Ciment CPA 325 : 330	<u>RESULTATS :</u>	{ Compression 7 J : 78daN/cm <sup>2</sup>
	{ Sable 0/0,63 : 1430		{
	{ Chaux 3 % : 175		{
	{ Eau : 350		{ Traction 7 J : 14daN/cm <sup>2</sup>

### 3.2.- INFLUENCE DES ADJUVANTS :

A partir de ces deux formules, a été étudiée l'influence des adjuvants. Le seul adjuvant utilisé est le plastifiant - réducteur d'eau (Médaplast SP).

<u>FORMULE 1</u>	{ Ciment CPA 325 : 330	<u>RESULTATS :</u>	{ Compression 7 J : 74daN/cm <sup>2</sup>
	{ Sable 0/0,63 : 1310		{
	{ Filler (3) 10 % : 220		{
	{ Plastifiant : 1,65		{
	{ Eau : 320		{ Traction 7 J : 13daN/cm <sup>2</sup>

<u>FORMULE 2</u>	{ Ciment CPA 325 : 330	<u>RESULTATS :</u>	{ Compression 7 J : 71daN/cm <sup>2</sup>
	{ Sable 0/0,63 : 1430		{
	{ Chaux 3 % : 175		{
	{ Plastifiant : 1,65		{
	{ Eau : 340		{ Traction 7 J : 10daN/cm <sup>2</sup>

Par manque de temps, d'autres adjuvants n'ont pu être testés.

### CONCLUSION GENERALE :

Les résultats obtenus de cette étude pourraient servir de point de départ à des études plus détaillées et structurées. Néanmoins, il semble que trois chemins se présentent :

- La nature de filler qui semble la mieux adaptée au sable de HASSI BAHBAH est la nature calcaire, ainsi que la chaux.
- La granulométrie la mieux adaptée est la plus fine.
- Les pourcentages optimaux sont de 3 % pour la chaux et de 10 % pour les fillers calcaires.

De plus, il semble intéressant de faire varier :

- Le pourcentage en Filler (2) qui a donné des résultats relativement bons.
- Le dosage en eau pour les différentes compositions.
- Le dosage et la nature de l'adjuvant (plastifiants - retenteurs d'eau, entraîneurs d'air).

Les résistances mécaniques obtenues au cours des différents essais n'ont pu atteindre qu'environ 100 bars valeur nettement insuffisante si l'on envisage la confection d'un béton de sable structural.

Aussi nous devons améliorer cette valeur en vue d'obtenir une résistance au moins égal à 200 bars.

- CHAPITRE 2 -

- CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX -

Les caractéristiques et le comportement mécanique d'un matériau composite dépendent étroitement des propriétés de ses constituants.

Afin de déterminer, maîtriser et éventuellement améliorer le comportement rhéologique du béton de sable, il est donc nécessaire d'étudier les propriétés physiques, chimiques et mécaniques de tous ses constituants.

Nos essais ont été fait conformément aux normes AFNOR.

## 2.1.- SABLE :

### 2.1.1.- ETUDE GRANULOMETRIQUE :

La granulométrie est la science ayant pour objet la mesure des dimensions et la détermination de la forme des grains.

#### ESSAI :

Nous avons tamisé 2000 g de sable préalablement étuvé à l'aide d'une série de tamis d'ouvertures de mailles décroissantes. Les refus successifs récupérés sur chacun des tamis ont été soigneusement pesés.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau N° 1

Ces résultats nous ont permis de tracer la courbe granulométrique, en portant en abscisse la dimension du côté de la maille du tamis et en ordonnée le pourcentage des tamisats cumulés - Voir courbe N° 1.



L. T. P. C.

HUSSEIN-DEY - ALGER

courbe n°1

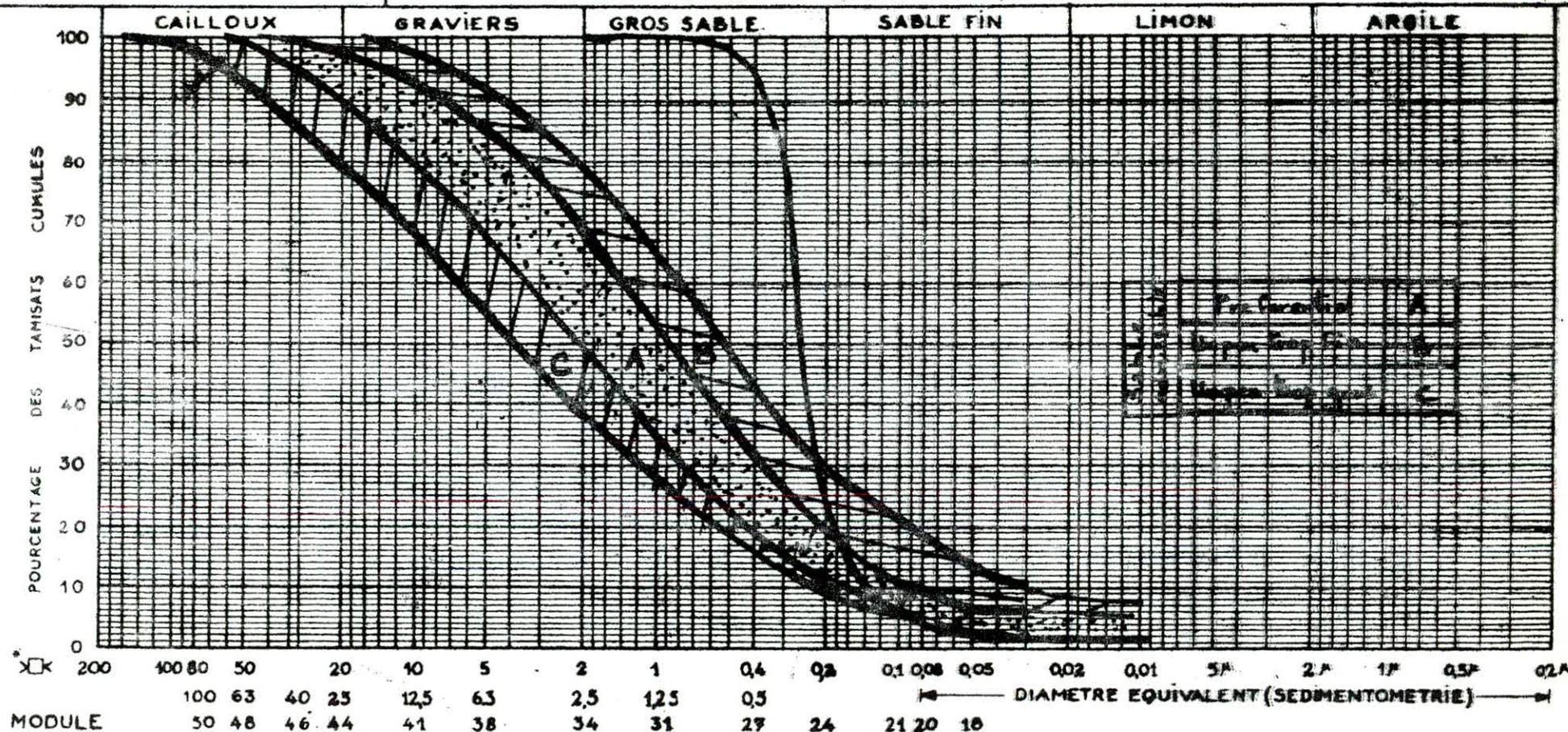
DÉSIGNATION  
DES  
ÉCHANTILLONS

— N°  
- - N°  
... N°

Sable de Dunes de HASSI BAHBAH

DOSSIER

S.6 et S.7 ANALYSE GRANULOMETRIQUE



Ech.	%	S.8 LIMITES D'ATTERBERG			S.20
	< 80 $\mu$	W.L.	W.P.	W.R.	E.S.
Ech.	3,5				
Ech.					
Ech.					

Il s'agit d'un sable de granularité continue.  
Il contient 3,5% de fines.

### 2.1.2.- CLASSE DU SABLE :

Les granulats sont classés en fonction de leur grosseur et sont désignés par : "GRANULAT d/D" où d et D sont respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions.

D'après les résultats de l'étude granulométrique d est inférieur à 0,5 mm, il s'agit donc d'un "GRANULAT 0/D" où D est tel que :

- Le refus sur le tamis de maille D est compris entre 1 et 15 %
- Le refus sur le tamis de maille 1,56 D est égal à 0.

Notre Sable est donc de classe 0/0,425.

### 2.1.3.- MODULE DE FINESSE :

Le module de finesse  $M_F$  d'un granulat est égal au centième de la somme des refus, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :

0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,50 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80

Notre Sable a un module de finesse de :  $M_F = 1,10$ .

### 2.1.4.- MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET MASSE SPECIFIQUE :

#### - MASSE VOLUMIQUE APPARENTE :

C'est la masse d'un corps par unité de volume total y compris le vide entre le grain et le constituant.

#### ESSAI -

Nous avons rempli un récipient d'un volume connu de sable (à l'aide d'un entonnoir pour éviter le tassement du sable). que nous pesons ensuite.

Les résultats de trois essais sont les suivants :

VOLUME CONNU (cm <sup>3</sup> )	MASSE DU SABLE SEC (g)	MASSE VOLUMIQUE (g/cm <sup>3</sup> )
870	1290	1,48
870	1290	1,48
870	1292	1,49

La masse volumique apparente moyenne du Sable est de : 1480 kg/m<sup>3</sup>

- MASSE SPECIFIQUE :

C'est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains.

ESSAI -

Le principe est de mesurer le déplacement du niveau d'un liquide contenu dans un récipient lorsqu'on y introduit une masse donnée de sable.

Les résultats de trois essais sont :

MASSE DU SABLE M (g)	VOLUME D'EAU AJOUTE V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	VOLUME OBTENU: SABLE + EAU V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> - V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE $\frac{M}{V_2 - V_1}$ (g/cm <sup>3</sup> )
500	600	795	195	2,56
500	600	800	200	2,50
500	600	795	195	2,56

La masse spécifique moyenne de notre sable est de : 2540 kg/m<sup>3</sup>.

2.1.5.- COMPACTITE ET POURCENTAGE DE VIDE :

COMPACTITE.....:  $\frac{\text{Volume réel des grains}}{\text{Volume total apparent}}$

POURCENTAGE DE VIDE :  $\frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume apparent.}}$

ESSAI -

Nous avons mis dans une éprouvette une masse a de sable de volume b auquel on a ajouté un volume c d'eau, le volume total obtenu est d.

La compacité sera alors égale à : :  $\frac{d - c}{b} \times 100.$

Le pourcentage de vide ou porosité :  $\frac{b - (d - c)}{b} \times 100.$

RESULTATS :

a ( g )	b ( cm <sup>3</sup> )	c ( cm <sup>3</sup> )	d ( cm <sup>3</sup> )	Volume réel des grains (d-c) (cm <sup>3</sup> )	volume des vides b-(d-c) (cm <sup>3</sup> )	Compacité %	Porosité %
500	320	600	795	195	125	61	39
500	325	600	800	200	125	61	39
500	330	600	795	195	135	59	41

Donc notre sable a :

- Une compacité de : 60 %
- Une porosité de : 39,6 %

2.1.6.- EQUIVALENT DE SABLE :

Le but de cet essai est de mettre en évidence la proportion relative de poussières fines nuisibles ou d'éléments argileux.

ESSAI :

L'essai a été fait conformément à la norme NF P08-501.

Le principe consiste à laver énergiquement un échantillon de sable de manière à le séparer de ses matières ultra-fines.

Soient. Les hauteurs -  $h_1$  : Sable propre + éléments fins.

-  $h_2$  : Sable propre seulement.

-  $h_p$  : Hauteur du piston

-  $h'_2$  : Sable tassé à l'aide du piston

$$h'_2 = 43 - h_p$$

On distingue deux équivalents de Sable :

- Visuel : 
$$ES_v = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

- avec piston : 
$$ES_p = \frac{h'_2}{h_1} \times 100$$

RESULTATS :

Essais	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$ES_v$ %	$h_p$ (cm)	$h'_2$ (cm)	$ES_p$ %
(1)	9,7	9	93	34,8	8,2	84
(2)	10,55	9,35	90	34	9	85
(3)	9,85	9,30	94	35	8	81

Donc : (  $ES_v$  (moyen) : 92 %

(  $ES_p$  (moyen) : 83 %

### 2.1.7.- ANALYSE CHIMIQUE :

Cette analyse a été faite dans le but de rechercher les matières organiques, les sulfates, les sulfures s'ils existent et qui sont nuisibles, dans certaines proportions aux bétons.

Cette analyse a montré que notre sable ne contient pratiquement pas de matières organiques, aucune trace de sulfates et de sulfures.

### 2.1.8.- ANALYSE DIFFRACTOMETRIQUE :

Cette analyse a été effectuée avec le rayonnement du cobalt  $K_{\alpha} = 1,79 \text{ \AA}$  afin de détecter les phases cristallines.

Le diffractogramme met en évidence :

- L'absence de toute trace argileuse.  
Aucune réflexion n'est enregistrée entre  $5$  et  $14^{\circ}$  là où peuvent se situer les principales raies des argiles (Bentonite - Chlorite - Illite - Kaolinite...)
- La prépondérance du quartz : Toutes les réflexions sont celles du spectre du quartz alpha. (8 réflexions de longueur d'onde différente).
- Des traces de Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) données par de faibles réflexions à  $28^{\circ}$ ,  $32^{\circ}$ , et  $34^{\circ}$ .  
Le sable est donc composé de 95 % de quartz et le reste de calcite.

### CONCLUSION :

Le sable de dunes présente des inconvénients quant à la confection d'un bon béton, cependant il est possible d'améliorer certaines de ces propriétés par :

- Une correction granululaire.
- Un ajout de fines pour une bonne ouvrabilité sans pour cela réduire les résistances mécaniques.
- La recherche de la compacité maximale c'est à dire de la porosité minimal en jouant sur le dosage en liant.

vt: Cobalt  $K\alpha = 1,779 \text{ \AA}$  N° éch.:

g. Kv, mA: 35 Kv - 8 mA Etalon: néant

h. entr.: 1° Vit. gonis.:  $1/4^\circ$  20/min

Sorti.:  $1/4^\circ$  pop.: 1/8 cm/min

T. compt.: 1225 pas à pas ° min:

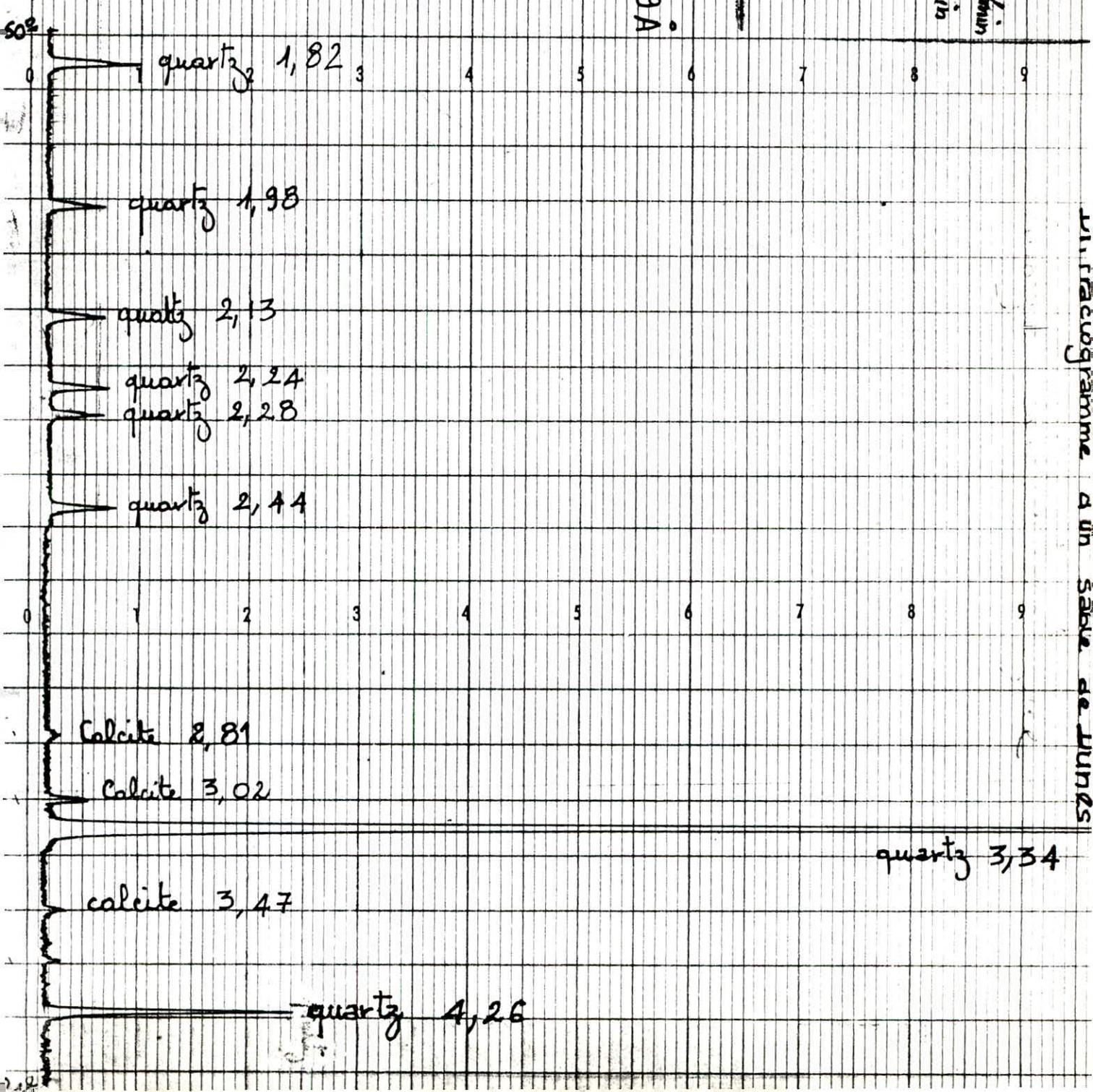
p. min.: 4.104 Temps comptage: 1

Stat.: 1,5% Nbre impul.: 1

scrim: / Atten: 1

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \text{ avec } \lambda = 1,779 \text{ \AA}$$

Diagramme d'un sel de junes



## 2.2.- CIMENT :

La nature d'un ciment a une influence sur certaines propriétés du béton (prise de durcissement - retrait - etc....)

Les ciments rendent le béton cohérent et permettent :

- L'accroissement de la résistance
- L'obturation des vides
- L'imperméabilisation du béton.

### 1.- Essai de résistance mécanique (NF P15 401, 403, 411, 412, 413)

Il s'agit essentiellement de mesurer les résistances à la flexion et à la compression, cette dernière étant la caractéristique de base pour la désignation des classes.

Les essais sont réalisés sur mortier 1/3 (une partie de ciment pour trois parties de "sable normal").

Les éprouvettes prismatiques 4 X 4 X 16 cm, conservées dans l'eau après démoulage jusqu'au jour de l'essai sont d'abord rompus en flexion puis chacun des deux morceaux obtenus est soumis à l'essai de compression dans son sens transversal.

### 2.- Temps de prise (NF P15 414 et 431)

La mesure du début et de fin de prise est couramment réalisée, elle permet d'avoir un aperçu sur le comportement ultérieur du ciment dans des conditions particulières d'utilisation.

L'aiguille de Vicat demeure le procédé le plus employé.

### 3.- Retrait et gonflement (NF P15 433)

Ces déformations volumiques sont mesurées également sur éprouvettes 4 X 4 X 16 cm en pâte pure.

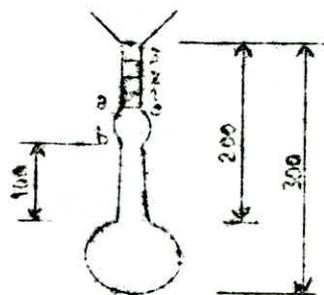
4.- Essai pour la détermination de la masse volumique :

La masse volumique se mesure au moyen du volumétre (Voir schéma).

Il se compose d'un flacon terminé par un tube de 200 mm de hauteur, présentant un renflement d'une capacité exacte de 20 cm<sup>3</sup> entre les deux traits horizontaux a et b gravés sur le verre. Au dessus du trait supérieur, le tube est gradué en dixièmes de cm<sup>3</sup>.

L'appareil étant rempli de benzine jusqu'au trait inférieur b, on introduit un certain poids P du ciment à essayer au moyen d'un entonnoir dont la tige descend à quelques millimètres au dessus du trait supérieur a. Le niveau du liquide s'élève et indique exactement le volume du ciment incorporé dans l'appareil. Il est donné par les 20 cm<sup>3</sup>, augmentés des dixièmes de cm<sup>3</sup> lus sur la graduation.

on a 
$$d = \frac{P}{V}$$



Les résultats d'analyse montre que ce ciment à des caractéristiques physico-mécaniques conformes à celles habituellement admises par les normes.

Les résultats des différents essais sont récapitulés dans le tableau qui suit :

## ESSAIS ET ANALYSE D'UN CIMENT

### I.- ESSAIS PHYSIQUES /

Masse Volumique =  $d = 3,05 \text{ g/cm}^3$

### II.- PRISE /

Eau % Pâte pure = 24 %

Début de prise = 2 H 35'

Fin de prise = 7 H 20'

### III.- ESSAIS MECANIKES ET VARIATIONS DIMENSIONNELLES DU MORTIER DURCI/

AGE	COMPRESSION	FLEXION	RETRAIT	GONFLEMENT
7 JOURS	237,5	57,5	920	1000
28 JOURS	325	66,2	1200	1500

### 2.3.- ACIER :

Deux caractéristiques mécaniques des aciers employés doivent être connues avec précision :

- La limite d'élasticité : caractère mécanique essentiel de l'acier.
- La limite de rupture : traction maximale de l'acier.

En effet, les poutres fléchies les plus usuelles dans lesquelles la proportion d'armatures ne dépasse pas un seuil critique résistent sans dommages aux charges jusqu'à ce que leurs armatures de traction aient atteint leur limite d'élasticité. En revanche si cette limite d'élasticité est dépassée, elles subissent des fissurations ou des déformations inacceptables en service.

Les barres d'acier pour armatures se divisent suivant leurs formes en deux grandes catégories :

- Les barres lisses (ronds - lisses)
- Les barres à haute adhérence (H.A.)

Nous avons effectué des essais de traction sur ces deux types d'aciers.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau qui suit :

ESSAIS SUR ACIERS

TYPE D'ACIER : - Haute Adhérence

- Ronds Lisses

$\emptyset$ (mm)	POIDS LONGUEUR (kg/ml)	CONTRAINTE LIMITE APPARENTE D'ELAS- TICITE (kg/cm <sup>2</sup> )	CONTRAINTE DE RUPTURE (kg/cm <sup>2</sup> )
T 8	0,47	4576	7261
T10	0,71	5860	7894
T12	0,89	4952	6676
T14	1,21	4474	6720
T16	1,60	5354	7723
$\emptyset$ 12	0,93	3244	4666

- CHAPITRE 3 -

- DETERMINATION DE LA COMPOSITION OPTIMALE -

D'UN BETON DE SABLE STRUCTUREL

L'étude de la composition du béton de sable a pour but de définir les dosages optimaux de chacun de ses constituants. Elle sera basée sur les essais de recherche en laboratoire. Nous avons essayé d'améliorer les résistances mécaniques de l'étude précédemment faite (thèse Juin 1985) afin d'aboutir à des formules de composition convenable permettant d'obtenir en compression à 28 J une résistance d'environ 200 bars : Résistance suffisante pour un béton structural.

### 3.1.- DETERMINATION DE LA COMPOSITION DE BASE :

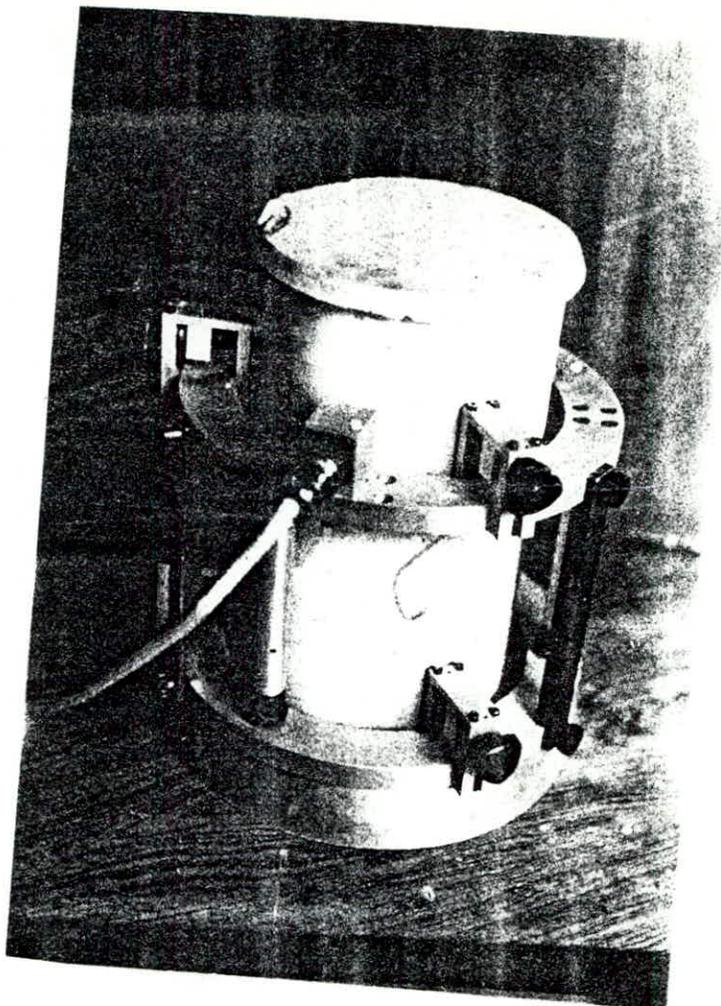
A partir d'une composition simple dosée en ciment, sable et eau, nous allons rechercher une formule à dosage optimal en ciment.

Le choix de cette formule sera basé sur deux paramètres :

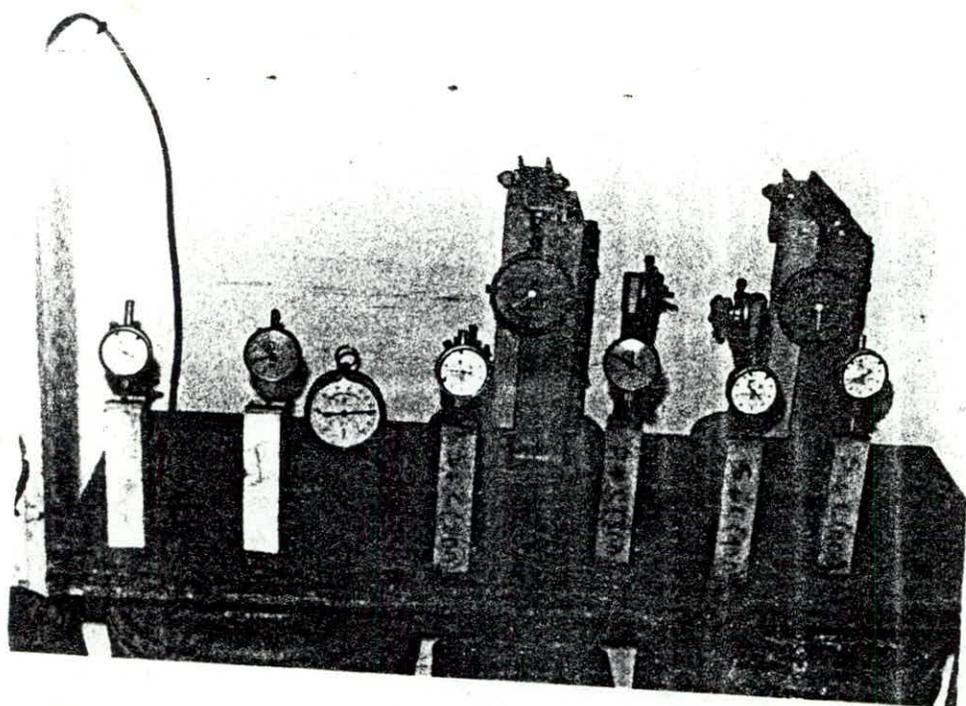
- Les valeurs des résistances mécaniques.
- L'ouvrabilité.

Pour les différentes expériences, nous avons confectionné :

- Six éprouvettes cylindriques 16 X 32 cm pour les essais de compression à 7 Jours et à 28 Jours (3 éprouvettes respectivement pour chaque essai).
- Trois éprouvettes prismatiques 7 X 7 X 28 cm pour les essais de traction par flexion à 28 J.
- Trois éprouvettes prismatiques 4 X 4 X 16 cm pour les essais de retrait.



L'extensomètre



Mesure de retrait

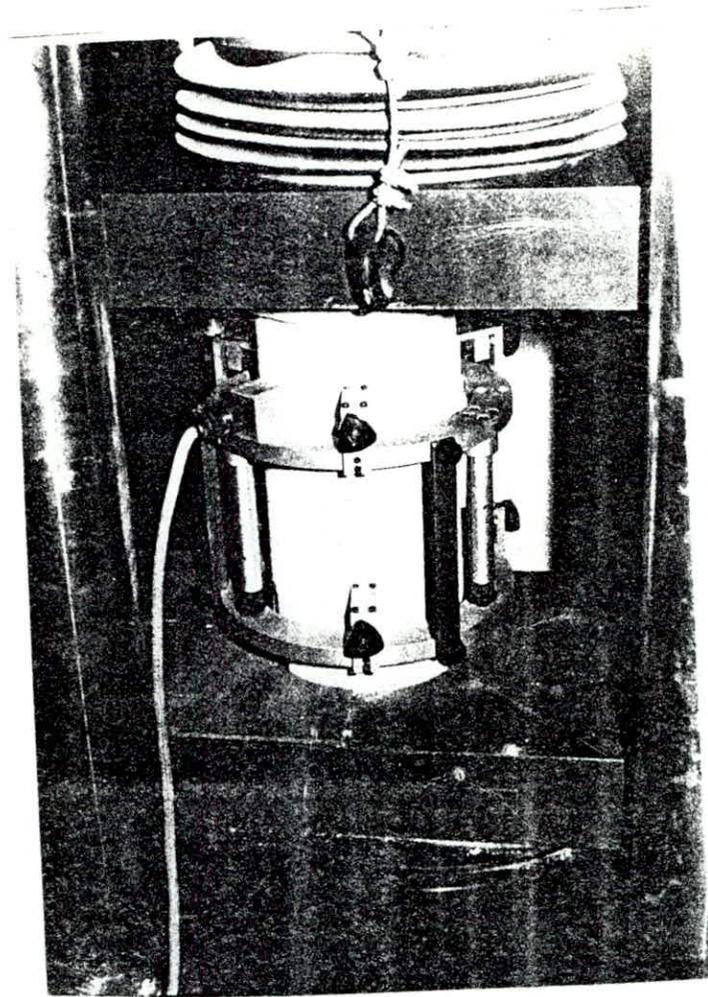
De plus, nous avons procédé à l'étude extensométrique à 7 J et 28 J pour la mesure des contraintes de compression.

La résistance à la rupture en traction est celle obtenue d'un essai de traction par flexion défini par la norme NF P18 407.

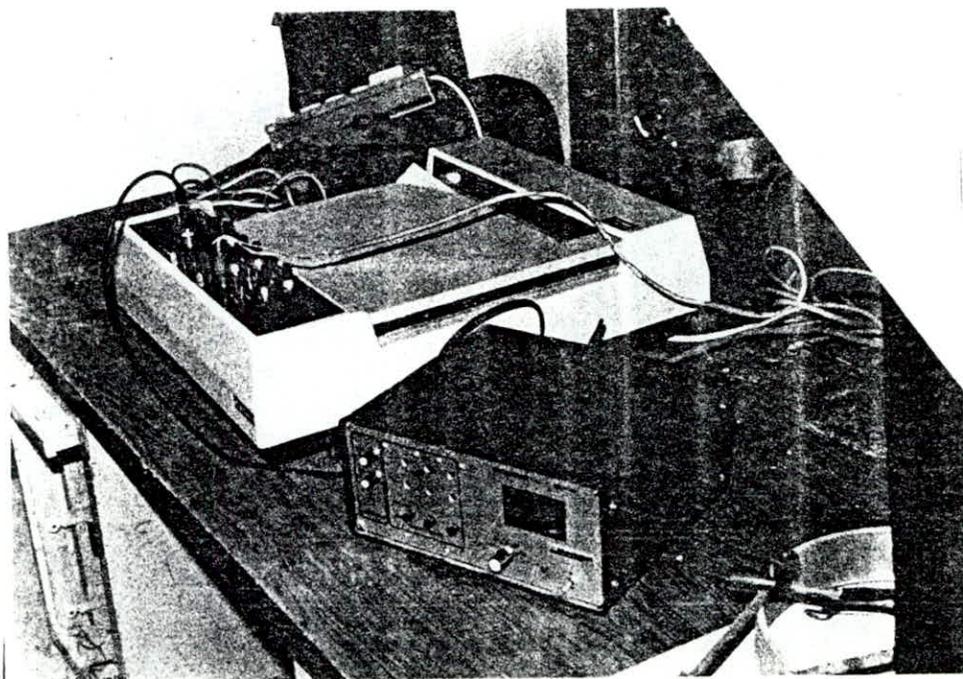
Les valeurs du module d'élasticité secant  $E_s$  et du coefficient de poisson  $\mu$  ont été calculées pour une contrainte égale à 30 % de la contrainte de rupture, par contre le module d'élasticité tangent  $E_t$  est donné par la tangente à l'origine de la courbe contrainte - déformation.

Pour tous les essais, le sable utilisé est préalablement mis à l'étuve (50°C) pendant 24 h, puis tamisé (tamis 2 mm).

Le ciment utilisé est le ciment Portland Artificiel CPA 325 (l'unique ciment utilisé dans le bâtiment en Algérie).



Essai d'extensométrie



FORMULES :

F O R M U L E S	1	2
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	330	
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1530	
EAU (l/m <sup>3</sup> )	340	260

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2
OUVRABILITE - (cm) -	4,5	2
PRISE - DEBUT - FIN	3 H 15 5 H 00	3 H 00 4 H 30
RETRAIT - 7 JOURS ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) - 14 JOURS	881 1144	488 625
MASSE VOLUMIQUE - 7 JOURS (kg / m <sup>3</sup> ) - 28 JOURS	2078 2074	2214 2160
RESISTANCES Compression à 7 J MECANIQUES 28 J (dan / cm <sup>2</sup> ) Traction à 28 J	86,7 123,8 14,8	163 210 19,5
MODULE D'ELASTICITE à 7 J $E_T$ : (dan / cm <sup>2</sup> ) $E_S$ :	289.000 265.000	390.000 362.000
COEFFICIENT DE POISSON $\eta$	0,17	-

COMMENTAIRES :

Il est à noter que la diminution du dosage en eau de gâchage augmente la résistance tout en maintenant une assez bonne ouvrabilité.

Sur cette formule, on fera plusieurs corrections pour améliorer les ouvrabilités et résistances :

1.- Ajout de fines correcteurs granulaires.

2.- Ajout d'adjuvants.

3.2.- ETUDE DE L'INFLUENCE DES FILLERS SUR LA COMPOSITION DE BASE :

Les fillers utilisés dans notre étude sont les mêmes que ceux utilisés dans l'étude précédente (pour plus de détail se référer à la synthèse bibliographique).

3.2.1.- FILLERS CALCAIRES DE BAB-EL-OUED :

- FILLER (2) :

Nous avons utilisé le tamisat du tamis 0,25 mm.

FORMULE :

CIMENT CPA 325.....	330	kg / m <sup>3</sup>
SABLE 0/0,425.....	1360	kg / m <sup>3</sup>
FILLER (2) 9 %.....	190	kg / m <sup>3</sup>
EAU.....	320	ℓ / m <sup>3</sup>

RESULTATS :

OUVRABILITES (cm)		3
PRISE : -DEBUT		3 H 15
-FIN		5 H 00
MASSE VOLUMIQUE -- 7 J		2083
(kg/m <sup>3</sup> ) -28 J		2091
RESISTANCES MECANIQUES (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J :	102,4
	28 J :	141
	Traction à 28 J :	12
MODULE D'ELASTICITE ( daN / cm <sup>2</sup> )	E <sub>T</sub> : 7 J :	149.000
	28 J :	336.000
	E <sub>S</sub> : 7 J :	134.000
	28 J :	313.000

- FILLERS (3) :

Nous avons utilisé le tamisat du tamis 0,10 mm.

FORMULES :

F O R M U L E S	1	2
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	330	
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1310	
FILLER (3) (kg/m <sup>3</sup> )	220	190
EAU (l/m <sup>3</sup> )	320	250

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2
OUVRABILITES (cm)	5	2
PRISE DEBUT	3 H 00	2 H 45
FIN	5 H 00	4 H 30
MASSE VOLUMIQUE 7 J (kg/m <sup>3</sup> )	2103	2206
28 J	2068	-
RESISTANCES MECANQUES (daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J	65
	28 J	-
	117,6	-
	Traction à 28 J	14
		-
MODULE D'ELASTICITE à 7 J (daN/cm <sup>2</sup> )	E <sub>T</sub> :	255.000
	E <sub>S</sub> :	237.000
		312.000
		235.000
COEFFICIENT DE POISSON $\nu$	0,24	-

CHAUX :

FORMULES :

F O R M U L E S	1	2
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	330	330
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1430	1375
CHAUX 8 % (kg/m <sup>3</sup> )	175	175
EAU (l/m <sup>3</sup> )	345	320

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2
OUVRABILITES (cm)	4	2
PRISE - DEBUT	4 H 00	3 H 30
- FIN	6 H 00	5 H 00
RETRAIT à - 7 J	521	-
(w m/m - 28 J	570	-
MASSE VOLUMIQUE à - 7 J	1930	2127
(kg/m <sup>3</sup> ) - 28 J	1997	-
RESISTANCES - Compression à 7 J	62,2	116,5
MECANIQUES 28 J	87,3	-
(kgf/cm <sup>2</sup> ) - Traction à 28 J	10,1	-
MODULE D'ELASTICITE à 7 J - E <sub>T</sub> :	-	342,000
(kgf/cm <sup>2</sup> ) - E <sub>S</sub>	-	291,000

COMMENTAIRES :

Nous remarquons de façon générale que :

- La diminution du dosage en eau de gachage augmente la résistance.
- Pour une ouvrabilité variant de 1 à 3 cm, le béton obtenu est ferme mais assez maniable.
- Les fillers qui semblent les mieux adaptés au sable de HASSI BAHBAH sont le Filler (3) ainsi que la chaux.
- La granulométrie la mieux adaptée est la plus fine.

### 3.3.- ETUDE DE L'INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION DE BASE :

Les adjuvants sont des produits qui ajoutés en faible quantité dans les mortiers et bétons, améliorent certaines de leurs propriétés.

Les adjuvants (provenant de Granitex) utilisés dans notre étude sont :

- PLASTIFIANTS - REDUCTEURS D'EAU : Médaplast SP.

Ils permettent de réduire la quantité d'eau de gâchage tout en conférant au béton une bonne plasticité.

- PLASTIFIANTS - RETENEURS D'EAU : Médaplast PR.

Ils augmentent la viscosité du béton frais et par suite sa cohésion.

- ENTRAINEURS D'AIR : Méda AIR - E.A. -

Ils entraînent la formation dans le béton des bulles d'air jouant le rôle d'un fluide en remplaçant une partie de l'eau de gâchage.

3.3.1. - INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION DE BASE :

TABLEAU 1 :

F O R M U L E S	1	2	3	4
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	330			
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1530		1525	
EAU (l/m <sup>3</sup> )	335	250	340	240
SP (kg/m <sup>3</sup> )	1,65			
PR (kg/m <sup>3</sup> )			4,95	

RESULTATS :

F O R M U L E S		1	2	3	4
OUVRABILITES (cm)		4	2	5	2
PRISE :	- DEBUT	2 H 30	2 H 00	H 15	3 H 00
	- FIN	4 H 45	4 H 00	H 00	4 H 30
RETRAIT à :	- 7 J	937	625	861	-
	(u m/m) - 14 J	1007	851	1057	-
MASSE VOLUMIQUE à :	- 7 J	2066	2221	20	2049
	(kg / m <sup>3</sup> ) - 28 J	2074	-	20.	-
RESISTANCES MECANIQUES (daN / cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J	98	156,2	82,5	103,5
	28 J	125	-	109,8	-
	Traction à 28 J	16,2	-	12,3	-
MODULE D'ELASTICITE (daN / cm <sup>2</sup> )	-E <sub>T</sub> 7 J	295.000	450.000	225.000	300.000
	-E <sub>S</sub>	264.000	400.000	200.000	282.000
COEFFICIENT DE POISSON	$\eta$	0,20	-	0,19	-

3.3.2.- INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION AVEC FILLER (3) :

TABLEAU - 2 -

Nous avons utilisé différents dosages des adjuvants cités :

FORMULES	1	2	3	4	5	6	7	8	
CIMENT	330								
SABLE		1310		1305	1329		1310		
EAU		320					260	250	240
F 3		220					190		
S P	0,33	1,65							
P R			1,65	4,95		4,95			
E.A.					0,99				

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2	3	4	5	6	7	8
Ouvrabilités (cm)	3,5	4	4	5	5	3	2,5	2
Prise -Début -Fin	4H00 6H00	4H00 6H30	4H00 6H30	4H30 7H15	3H45 4H45	4H30 5H15	4H00 5H00	4H15 5H00
Retrait à -7 J ( $\mu\text{m/m}$ ) 14 J	- -	- -	687 780	375 875	- -	- -	463 580	968 1250
Masse Volumique à -7 J ( $\text{kg/m}^3$ ) -18 J	2068 2094	2064 2107	2102 2112	2094 2112	2109 2113	2171 2213	2219 -	2256 -
Résistances Comp.à 7 J Mécaniques 28 J ( $\text{daN/cm}^2$ ) Trac.à 28 J	67,5 125,7 14,2	94,2 130,6 15,4	98,3 128,7	107,3 137,6 17,9	99,7 130,2 17,2	156 220,8 -	161,2 - -	180 230 24,6
Module D'élasticité $E_T$ ( $\text{daN/cm}^2$ ) $E_S$	300.000 275.000	292.000 270.000	300.000 275.000	342.000 310.000	190.000 158.000	440.000 400.000	420.000 417.000	450.000 420.000
Coefficient de Poisson $\eta$	0,20	0,17	0,14	0,18	-	0,15	-	20

3.3.3.- INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA COMPOSITION AVEC LA CHAUX :

TABLEAU - 3 -

F O R M U L E S	1	2	3	4	5	6
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )			330			
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )		1430		1333	1310	1400
EAU (ℓ/m <sup>3</sup> )	345	345	361	382	323	320
CHAUX (kg/m <sup>3</sup> )			175		170	175
S P (kg/m <sup>3</sup> )	0,33	1,65			1,65	4,95
P R (kg/m <sup>3</sup> )			1,65			
E A (kg/m <sup>3</sup> )				0,99		

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2	3	4	5	6
Ouvrabilités (cm)	4,5	3	5	4	2	2
Prise - Début	3 H 00	3 H 00	4 H 30	3 H 00	3 H 00	3 H 15
- Fin	5 H 00	5 H 00	6 H 30	5 H 00	4 H 45	4 H 45
Retrait à - 7 J	-	695	526	-	-	1094
( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) - 14 J	-	970	898	-	-	1125
Masse Volumique - 7 J	2043	2072	2044	2022	2118	2047
( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) - 14 J	2022	2071	2000	2011	2110	2078
Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> )						
{ Compres. à 7 J	74,3	109	64,3	85,2	110,8	120,5
{ 28 J	95,8	138,5	87,7	109,8	149,2	139,5
{ Traction à 28 J	11,3	-	11,9	12,8	14,8	15,9
Module d'élasticité - $E_T$	107.000	300.000	200.000	240.000	320.000	300.000
(daN/cm <sup>2</sup> ) - $E_S$	93.000	230.000	170.000	202.000	278.000	280.000
Coefficient de Poisson $\nu$	-	0,16	0,18	0,20	0,30	-

- INTERPRETATION DES RESULTATS :

Cette série d'essai nous a permis de dégager trois (3) conclusions :

1.- INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LES DIFFERENTES COMPOSITIONS :

(Formule de base, avec filler et avec chaux)

- L'adjuvant améliore les résultats de la composition de base (Voir tableau - 1 - ).
- En présence de l'adjuvant, le comportement du filler calcaire est meilleur que celui de la chaux (Voir tableau 2 - 3).

2.- INFLUENCE DE LA NATURE DE L'ADJUVANT :

- Le comportement des fillers calcaires en présence du plastifiant - retenteur d'eau P R - est meilleur que celui de la chaux, en revanche la chaux réagit mieux en présence du plastifiant - réducteur d'eau S P.
- A ce stade des essais expérimentaux, on peut admettre que la composition de base a une affinité pour le plastifiant réducteur d'eau SP.

3.- INFLUENCE DU DOSAGE DE L'ADJUVANT :

Nous avons fait varier le dosage en adjuvant à l'intérieur des limites proposées par Grtínex (Oued Smar) soit :

MEDAPLAST SP : 0,2 ÷ 0,5 % du poids de ciment.

MEDAPLAST PR : 0,5 ÷ 1,5 % du poids de ciment.

MEDA AIR : 0,1 ÷ 0,3 % du poids de ciment.

Notre constat est que l'augmentation du dosage en adjuvant (tout en restant dans les limites admissibles) améliore légèrement les résultats.

3.4.- ETUDE DE L'INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT :

3.4.1.- INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT SUR LA COMPOSITION DE BASE :

TABLEAU - 1 -

F O R M U L E S	1	2	3	4	5	6	7	8
CIMENT CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	350							
SABLE 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1530	1528	1525	1450	1530			
EAU (L/m <sup>3</sup> )	320			300	300	280	260	240
S P (kg/m <sup>3</sup> )		1,65						
P R (kg/m <sup>3</sup> )			4,95					

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2	3	4	5	6	7	8
Ouvrabilité (cm)	3	3,5	3,5	43	2,5	2	2	2
Prise - - Début	4 H 00	4 H 00	4 H 45	3 H 45	4 H 00	4 H 15	4 H 00	4 H 00
- Fin	6 H 30	6 H 00	9 H 45	5 H 00	5 H 15	5 H 00	5 H 00	5 H 00
Retrait - 7 J	687	744	530	-	-	-	690	-
( $\mu\text{m/m}$ ) - 28 J	800	813	750	-	-	-	780	-
Masse Volu. - 7 J	2070	2053	2039	2140	2142	2211	2190	2180
( $\text{kg/m}^3$ ) - 28 J	2076	2067	2050	-	-	-	-	-
R.M. C : - 7 J	114	105,6	108,5	137,5	147,5	140,4	157	150,7
- 28 J	149,6	131	137,4	-	-	-	-	-
( $\text{daN/cm}^2$ ) : - 28 J	15,2	16	16,5	-	-	-	-	-
Module d'Elasticité - $E_T$	300.000	266.000	369.000	360.000	400.000	384.000	400.000	400.000
- ( $\text{daN/cm}^2$ ) - $E_S$	244.000	250.000	250.000	330.000	360.000	366.000	375.000	361.000
Coeff. de Poisson $\nu$	0,20	0,16	0,15	0,24	-	-	-	-

3.4.2.- INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT SUR LA COMPOSITION AVEC FILLER (3)

TABLEAU - 2 -

F O R M U L E S	1	2
Ciment CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	350	
Sable 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1310	
Eau (l/m <sup>3</sup> )	297	240
Filler (3) (kg/m <sup>3</sup> )	220	190
PR (kg/m <sup>3</sup> )	4,95	

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2
Ouvrabilités (cm)	3	2
masse Volumique à - 7 J ( kg / m <sup>3</sup> ) - 28 J	2113 2090	2228 -
Résistances Mécaniques ( daN/cm <sup>2</sup> )	Compression à 7 J 28 J Traction à 28 J	178 - -
Module d'élasticite à 7 J - E <sub>T</sub> : (daN / cm <sup>2</sup> ) - E <sub>S</sub> :	300.000 230.000	480.000 420.000

3.4.3. : INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT SUR LA COMPOSITION AVEC CHAUX

TABLEAU - 3 -

F O R M U L E S	1	2
Ciment CPA 325 (kg/m <sup>3</sup> )	350	
Sable 0/0,425 (kg/m <sup>3</sup> )	1355	
Eau (l/m <sup>3</sup> )	320	
Chaux (kg/m <sup>3</sup> )	175	
SP (kg/m <sup>3</sup> )	1,65	

RESULTATS :

F O R M U L E S	1	2
Ouvrabilités (cm)	2	2
Masse Volumique à - 7 J (kg/m <sup>3</sup> ) - 28 J	2124 2219	2132 2133
Résistances Mécaniques (daN/cm <sup>2</sup> ) Compression 7 J 28 J Traction à 28 J	150,5 200 17,3	152,3 188 19,5
Module d'élasticité ( daN/cm <sup>2</sup> ) - E <sub>T</sub> - E <sub>S</sub>	280.000 250.000	312.000 294.000

- COMMENTAIRES -

Les résultats obtenus ne permettent que d'exposer avec réserves les conclusions qui suivent :

- L'augmentation du dosage en ciment n'a aucun effet sur les résistances de la composition avec filler (3).
- Toutefois, cette augmentation accroît les résistances de la composition avec la chaux.

L'étude de l'influence du dosage en ciment sera traitée en annexe.

- CONCLUSION -

1.- FORMULES RETENUES :

Trois formules ont été retenues sur la base de 3 critères :

- L'un d'ordre économique : Dosage minimal en fillers et ciment.
- Les 2 autres d'ordre technique :
  - . La meilleure maniabilité possible pour faciliter la mise en oeuvre.
  - . Le minimum en dosage en eau pour obtenir les meilleures performances mécaniques.

LES TROIS FORMULES SONT :

FORMULE - 1 -

C : 330 (kg/m<sup>3</sup>)  
 S : 1530 (kg/m<sup>3</sup>)  
 E : 260 (l/m<sup>3</sup>)

RESULTATS - 1 -

Compression à - 7 J : 163  
 28 J : 210  
 (daN/cm<sup>2</sup>)

Traction à - 28 J : 19,5  
 (daN / cm<sup>2</sup>)

FORMULE - 2 -

C : 330 (kg/m<sup>3</sup>)  
 S : 1310 (kg/m<sup>3</sup>)  
 E : 240 (l/m<sup>3</sup>)  
 F3 : 190 (kg/m<sup>3</sup>)  
 PR : 4,95 (kg/m<sup>3</sup>)

RESULTATS - 2 -

Compression à - 7 J : 180  
 28 J : 230  
 (daN/cm<sup>2</sup>)

Traction à 28 J : 24,6  
 (daN/cm<sup>2</sup>)

FORMULE - 3 -

C : 350 (kg/m<sup>3</sup>)  
 S : 1355 (kg/m<sup>3</sup>)  
 Ch : 175 (kg/m<sup>3</sup>)  
 E : 320 (l/m<sup>3</sup>)

RESULTATS - 3 -

Compression à 7 J : 152,3  
 28 J : 183  
 (daN/cm<sup>2</sup>)

Traction à 28 J : 19,5  
 (daN/cm<sup>2</sup>)

Ainsi les nombreux essais ont finalement conduit à l'obtention d'une résistance à la Compression de 200 bars à 28 Jours : Objectif préalablement fixé atteint.

## 2 - REMARQUES GENERALES -

- La série d'essais a permis d'affirmer que la diminution du dosage en eau augmente les résistances mécaniques, et par conséquent le module d'élasticité.
- La granulométrie de fillers qui semble la mieux adaptée au sable de HASSI BANBAH est la plus fine.
- Les adjuvants améliorent dans certains cas les résistances.
- Pour le calcul de retrait, par manque de comparateurs à notre disposition, nous ne sommes pas en mesure d'avancer des résultats concluants. Toutefois nous pouvons noter que les deux bétons : classique et de sable, présentent des valeurs de retrait du même ordre de grandeur.
- La formule - 2 - qui semble donner les meilleures performances mécaniques présente un inconvénient : Le tamisage des fillers exigent l'utilisation des machines à tamiser de grande taille (d'où investissement supplémentaire).
- L'utilisation des adjuvants en petite quantité présente des inconvénients de manipulation sur chantier.

### 3 - SUGGESTIONS :

Avant de clore ce chapitre, nous souhaitons porter quelques suggestions :

- Tout d'abord, pour remédier aux inconvénients cités, précédemment, il serait intéressant d'améliorer les résultats de la composition de base (sans utilisation de fillers ou d'adjuvants).
- Diversifier la granulométrie du sable :

Nous avons utilisé un seul sable au cours de notre étude; il ne peut représenter de ce fait, l'ensemble des sables de dunes.

Il aurait été intéressant d'étudier des sables qui diffèrent par leur granulométrie, porosité, état de propreté etc.... pour pouvoir tracer un fuseau granulométrique représentatif.

- Utilisation de fillers de HASSI BAHBAH :

Il aurait été souhaitable d'utiliser des fillers de HASSI BAHBAH (provenant de roches sédimentaires) au lieu de ceux provenant de BAB-EL-OUED (issus de roches métamorphiques). Bien que tous deux de nature calcaire, leurs compositions minéralogiques sont certainement différentes vu leur origines.

- Calcul de retrait :

Nous ne pouvons pas faire un calcul précis sur le retrait vu que les conditions atmosphériques à l'intérieur du laboratoire sont différentes de celles qui existent dans un chantier du Sud.

CHAPITRE 4

ASSOCIATION BETON DE SABLE / ACIER

ESSAI D'ADHERENCE

#### 4.1. - INTRODUCTION

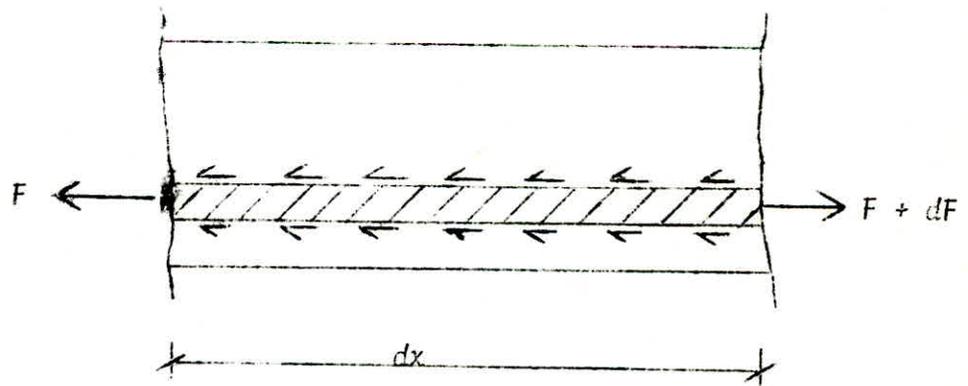
L'obtention de compositions de béton de sable de résistances dépassant les 200 bars à 28 jours (chapitre 3) ouvre de nouvelles possibilités nous permettant ainsi d'envisager une association BÉTON DE SABLE / ACIER pour une utilisation structurale où le béton reprendrait les forces de compression et l'acier celles de traction.

L'action composée des deux matériaux nécessiterait une liaison intime entre l'acier et le béton de sable.

L'adhérence désigne l'action des forces de liaison qui s'oppose au glissement des armatures suivant leur axe par rapport au béton qui les enrobe.

L'adhérence acier - béton est une propriété essentielle, c'est elle qui assure le transfert des efforts et la répartition équilibrée des contraintes et des déformations .

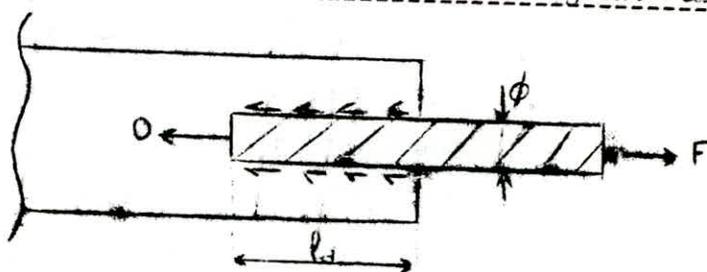
La contrainte d'adhérence varie le long de l'armature. Cette variation est due à la variation du moment et par suite de la force longitudinale dans l'armature.



$$F + dF - F = \tau(x) \cdot \pi \phi \cdot dx \Rightarrow \tau(x) = \frac{dF}{\pi \phi \cdot dx}$$

où :  $dF$  : variation de l'effort axial exercé sur l'armature.  
 $\emptyset$  : périmètre de la barre enrobée .  
 $dx$  : variation de la longueur d'ancrage .

- Cas particulier où la barre est ancrée sur une longueur  $ld$  :



$$F - O = \int_0^{ld} \tau(x) \cdot \pi \emptyset dx \Rightarrow F = \pi \emptyset \int_0^{ld} \tau(x) dx$$

En élasticité on assume :  $\tau(x) = \text{Constante}$  .

$$\text{d'où } F = \tau \cdot \pi \emptyset \cdot ld$$

$$\text{par suite } \tau = \frac{F}{\pi \emptyset \cdot ld}$$

où  $F$  : Effort de traction exercé sur la barre

$\emptyset$  : diamètre de la barre d'acier

$ld$  : longueur d'ancrage de la barre

L'adhérence remplit trois fonctions dans les pièces en béton armé :

### 1 - Entraînement des barres :

L'association du béton et de l'acier est efficace parcequ'il y a adhérence entre les deux matériaux, ce qui permet le transfert d'efforts.

### 2 - Ancrage des barres à leur extrémité :

Si l'armature est trop courte, elle va s'arracher du béton sous l'effet de l'effort de traction. Elle doit donc être suffisamment longue pour être ancrée convenablement dans le béton et reprendre tout l'effort de traction .

### 3 - Distribution de la fissuration dans les pièces tendues :

Plus l'adhérence est grande, plus le nombre de fissures augmente, mais leur largeur cumulée restant constante.

L'adhérence a donc un rôle bénéfique en évitant la formation de grosses fissures concentrées.

#### 4.2. - PRESENTATION DE L'ESSAI :

##### 4.2.1. : But de l'essai :

Cet essai a pour but :

- d'évaluer les contraintes d'adhérence des aciers par rapport au béton .
- d'étudier les influences agissant sur la contrainte d'adhérence.
- voir la relation entre l'adhérence et le glissement relatif de l'acier et du béton .

##### 4.2.2. : Principe de la méthode :

L'essai consiste à mesurer :

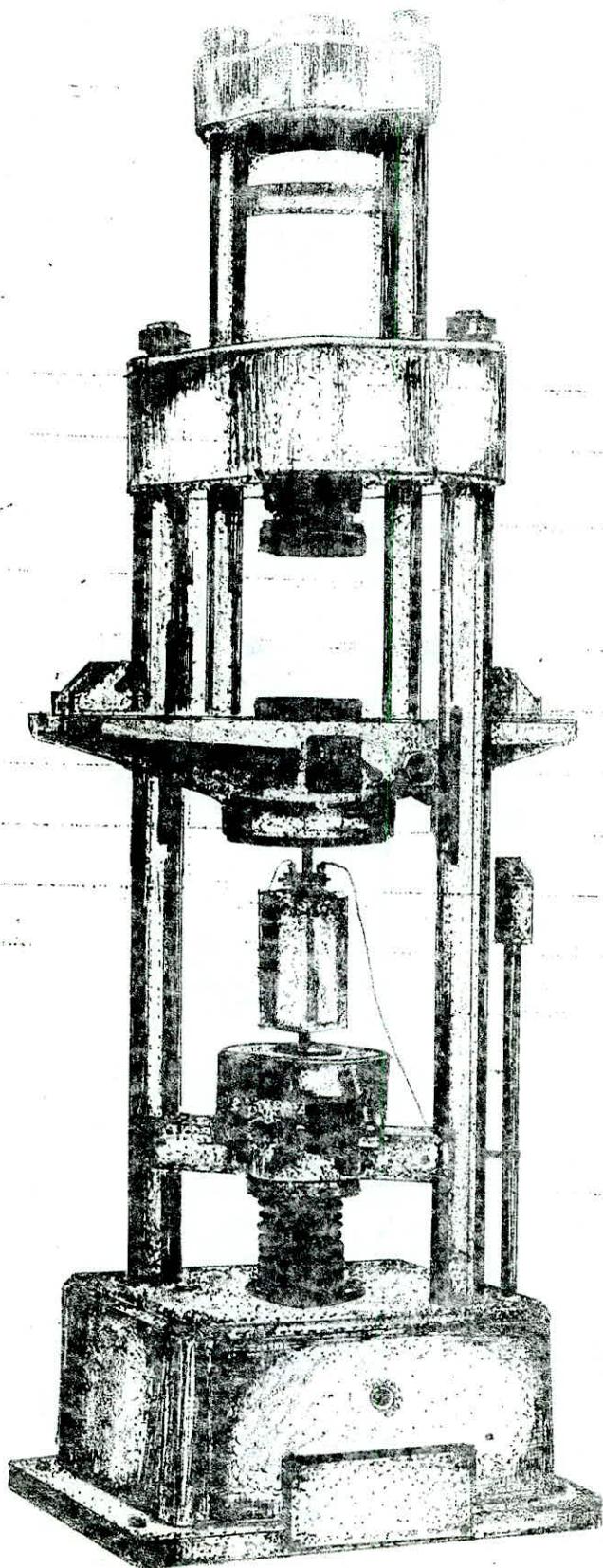
- Au moyen d'une "machine de traction", la force nécessaire pour rompre l'adhérence.
- A l'aide d'un comparateur "électronique", le déplacement des barres d'aciers ancrées par rapport au béton. Ce déplacement est mesuré du début de chargement jusqu'au détachement de la barre de sa gaine de béton (donc juste avant que la barre ne commence à glisser).

##### 4.2.3. Appareillage spécifique.

Voici les différents appareils utilisés :

- Une machine de traction à vitesse de traction variable, qui possède :
  - . Une capacité de charge nominale égale à dix tonnes.
  - . Une partie fixe et une partie mobile, portant chacune un dispositif d'attache (mors), conçues de telle sorte qu'elles permettent un alignement rigoureux de l'éprouvette dès que l'effort de traction est appliqué à celle-ci .
  - . Une sortie électrique servant à la relier à une table traçante.

Machine a traction



La mise en marche de cette machine est réalisée progressivement par commande manuelle et lecture du cadran indicateur de charges afin de réaliser une charge statique et d'éviter une rupture brutale de l'éprouvette.

- Un comparateur "électronique" muni de deux capteurs (permettant de donner une valeur moyenne) à induction avec électronique associée - amplificateur avec indicateur de lecture.

Les capteurs présentent une course nominale d'au moins 7 mm et servent à capter les déplacements relatifs de la barre d'acier par rapport à la surface plane de l'éprouvette de béton.

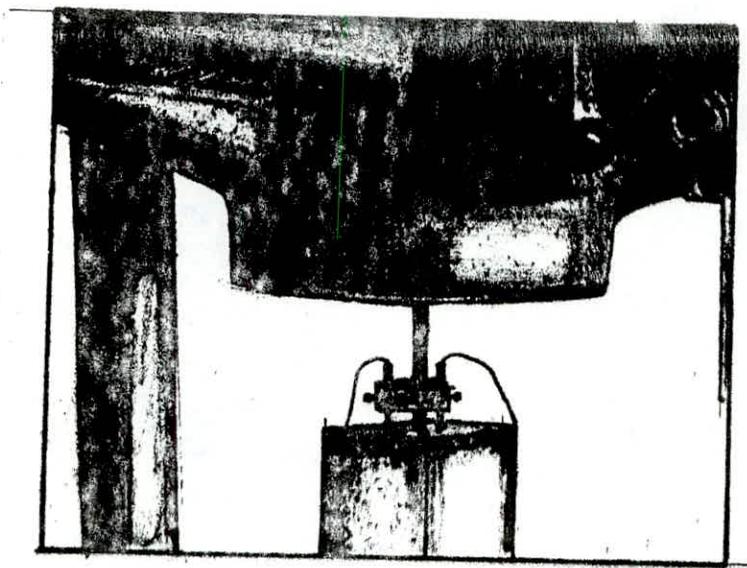
- Un conditionneur réalisant la moyenne des deux informations délivrées par les deux capteurs, relié à une table traçante.
- Une table traçante (appareil mesureur - enregistreur) permettant de reproduire sur un diagramme la force de traction en fonction du déplacement relatif de la barre. En abscisse, nous avons les déplacements fournis par les capteurs de déplacement et en ordonnée, les forces données pour les capteurs de force incorporés dans la machine.

#### 4.2.4. - Exécution de l'essai d'adhérence :

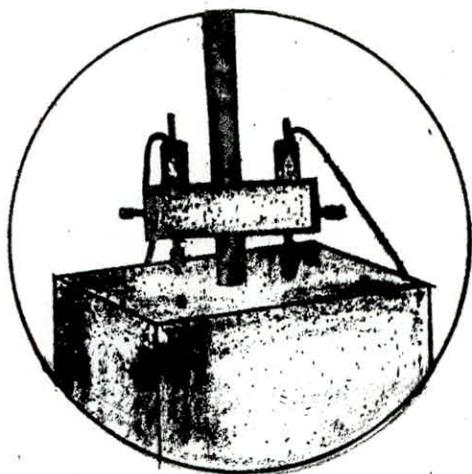
L'action principale de l'adhérence entre l'acier et le béton est une action de cisaillement.

Les adhérents (acier et béton) peuvent être soumis soit à la compression soit à la traction.

Les essais d'adhérence sont généralement de deux types : compression - compression ou traction - traction (où l'acier et le béton sont soit tous les deux comprimés soit tendus).



- Détail du capteur à déplacement -



il existe en effet, d'autres types d'essais :

- Essai de flexion : Beam Test
- Essai compression - traction : Pull Out Test.

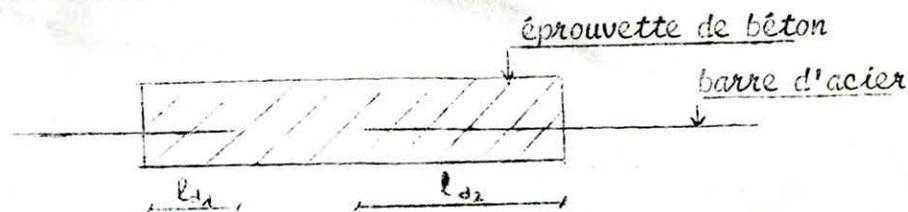
L'adhérence est, dans le cas où les barres sont comprimées supérieure à celle où les barres sont tendues : en effet, le raccourcissement de la barre comprimée s'accompagne, par effet Poisson d'un gonflement transversal qui favorise la liaison de l'acier au béton, alors que le phénomène inverse intervient pour la traction .

De plus, le renforcement se fait plus en traction qu'en compression. D'où le choix de notre essai : Essai du double arrachement de bout à bout.

### 1 - Préparation des éprouvettes d'essai :

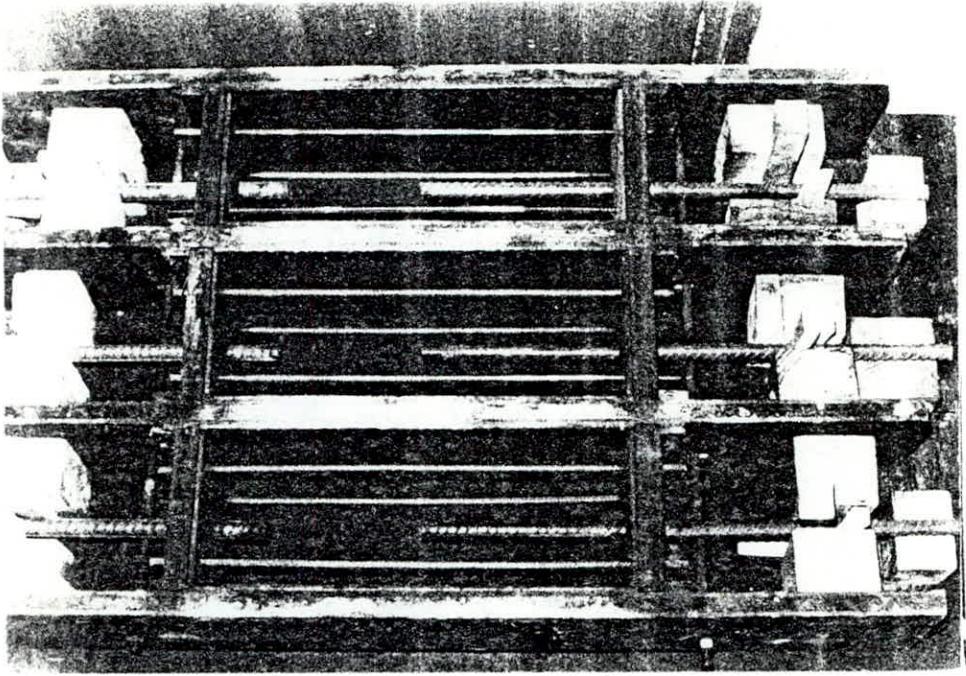
La capacité d'adhérence des barres au béton se mesure par divers essais.

Nous avons fait nos expériences selon l'essai du double arrachement de bout à bout : Il consiste à confectionner des éprouvettes en béton de sable dans lesquelles sont noyées (suivant leur axe) deux barres d'acier comme indiqué sur le schéma :

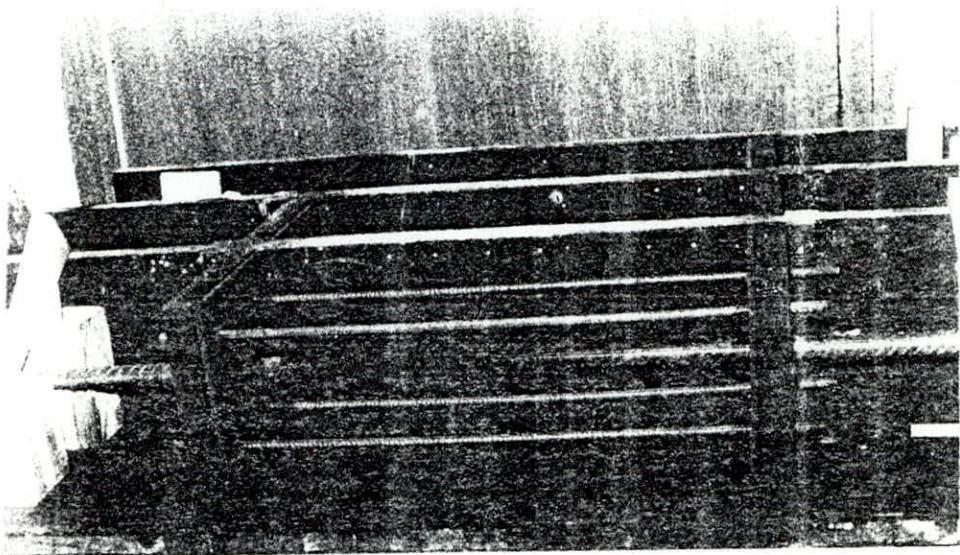


Les premiers essais sur ce modèle ont donné rupture par traction de l'éprouvette avant apparition du phénomène d'adhérence.

Nous pouvons déduire de ces premiers essais que le phénomène d'adhérence a lieu à condition que la contrainte de traction du béton soit supérieure à la contrainte d'adhérence.



Dispositif pour essai d'adhérence



Pour apporter une solution, nous avons renforcé le ferrailage de l'éprouvette en ajoutant quatre barres d'acier (de diamètre  $\emptyset$  8) placées longitudinalement .

Il est à remarquer que ce renforcement n'a aucune influence sur la contrainte d'adhérence. Sa présence permet par contre, d'éviter les risques de rupture prématurée de la gaine de béton d'où une meilleure sécurité .

## 2 - Réclivation des essais :

Pour étudier le phénomène d'adhérence, nous avons effectué une série d'essais à 7 Jours .

Pour chaque essai, nous avons confectionné trois éprouvettes pour obtenir une valeur moyenne de la contrainte d'adhérence les éprouvettes sont conservées à l'air libre.

Nous avons fait varier les divers paramètres, concernant les aciers (nature, diamètre, longueur d'ancrage), les sections des éprouvettes et la composition du béton de sable (donc sa résistance à la traction) pour voir leur influence sur l'adhérence.

### - ACIERS :

Nous avons utilisé :

- Deux types d'aciers : Ronds lisses et à haute adhérence .
- Différentes longueurs d'ancrage : 10,15 et 20 cm .
- Différents diamètres des barres : 10,12,14 et 16 cm .

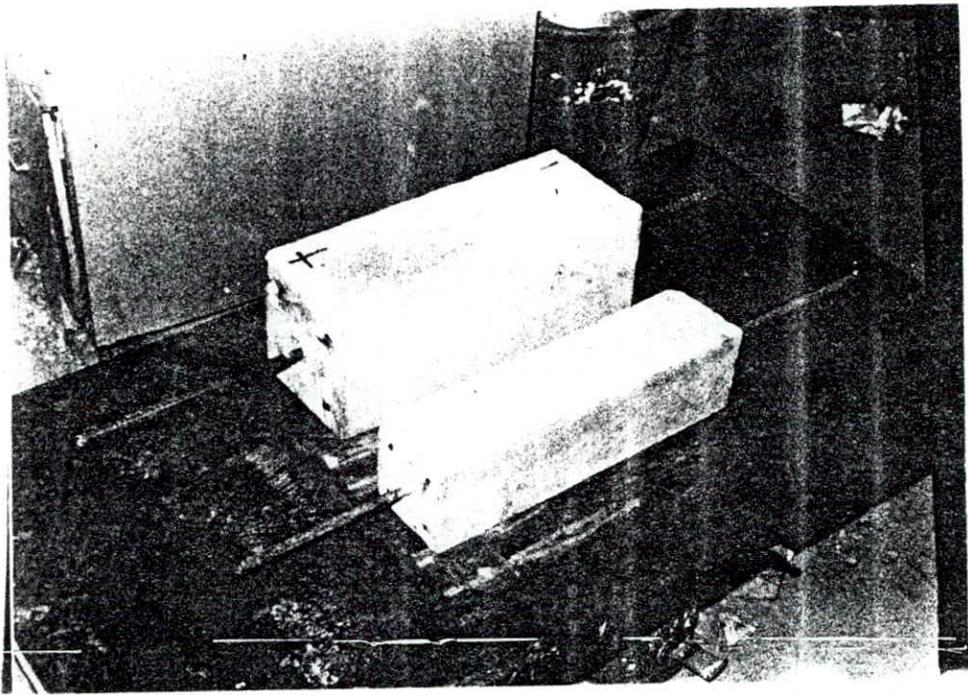
### - EPROUVETTES :

Nous avons confectionné des éprouvettes de sections différentes : 10 x 10 x 40 cm et 15 x 15 x 40 cm .

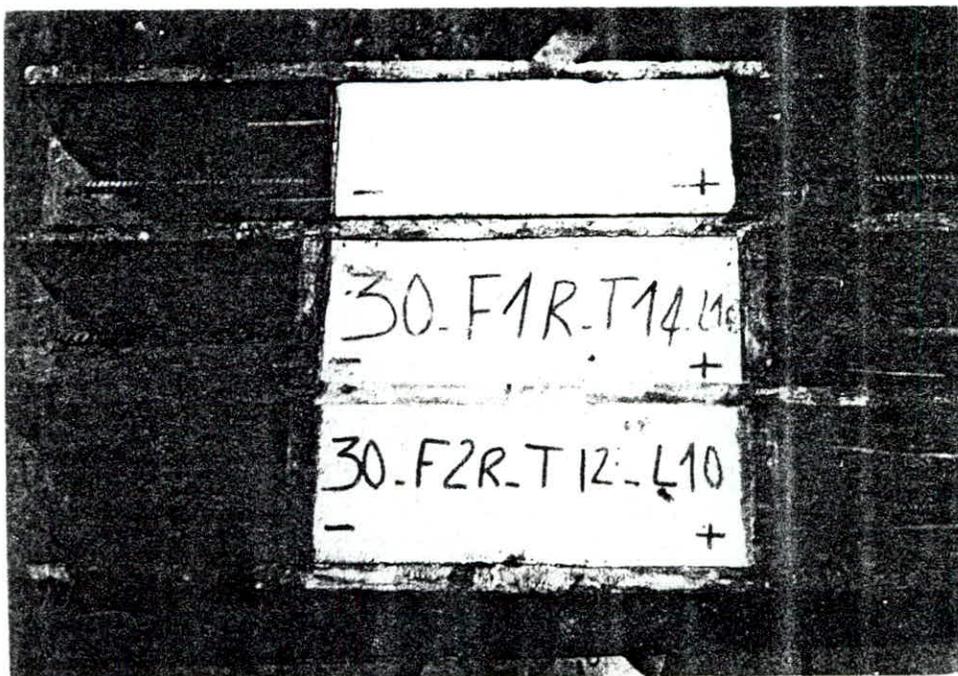
Les moules utilisés sont en bois .

### - COMPOSITION :

Deux compositions optimales de béton de sable ont été choisies



Eprouvettes d'adhérence : 10 x 10 x 40 cm  
15 x 15 x 40 cm



parmi les trois formules retenues : sable + ciment + eau et sable + ciment + eau + filler (3) + plastifiant PR (voir chapitre 3).

### 3 - Exécution de l'essai :

Détaillons un des essais classiques d'arrachement d'une barre d'acier que nous avons effectué .

Deux barres d'acier sont enrobées au moulage dans un prisme droit de béton suivant l'axe de ce dernier .Elles en dépassent les bases des deux côtés pour pouvoir être saisies dans les mors de la machine de traction.

Après durcissement convenable, l'éprouvette est soumise à l'essai en exerçant une traction sur la barre d'acier. Cet effort de traction entraîne le glissement de la barre d'acier par rapport au béton, qui croît constamment avec la charge.

La charge passe par un maximum pour une valeur du déplacement qui est de l'ordre du centième de millimètre, elle décroît ensuite régulièrement au fur et à mesure que la barre glisse et demeure encore importante après un glissement de quelques millimètres.

A la fin de l'essai, nous avons remarqué de légères fissures sur le prisme de béton.

Les résultats des essais sont reportés sur un graphe.

En ordonnée est portée la charge  $F$ , en abscisse le glissement de la barre par rapport au béton .

Les résultats d'un essai d'arrachement s'exprime habituellement non par des valeurs de l'effort de traction mais par les valeurs correspondantes de la contrainte d'adhérence moyenne qui est égale au quotient de la force de traction  $F$  par la surface latérale de contact  $\pi \phi L$ .

En résumé, on observe trois phases au cours de l'essai :

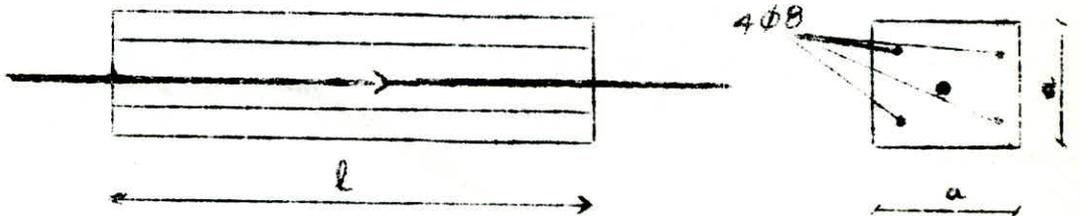
- 1 - phase élastique : le glissement est proportionnel à l'effort de traction et il est réversible .

- 2 - phase de fissuration : il apparait des fissures qui découpent des troncs de cône inclinés d'environ  $45^\circ$  visibles sur la partie où le phénomène d'adhérence apparait .
- 3 - phase de rupture : lorsque l'effort d'arrachement atteint une certaine valeur (maximum de la courbe), le béton commence à périr et le glissement s'accroît. Il y a rupture par glissement libre de la barre dans sa gaine, le frottement est alors nul .

Remarque :

Quand  $l_{d1} = l_{d2} = \frac{l}{2} = 20 \text{ cm}$ , où  $l$  : longueur de l'éprouvette  
 $l_{d1}, l_{d2}$  : longueurs d'ancrage

le phénomène d'adhérence peut apparaitre à l'une ou l'autre extrémité. A défaut d'un deuxième comparateur à notre disposition, nous avons utilisé une petite astuce permettant de localiser l'adhérence d'un seul côté. (voir schéma).



#### 4.3. - RESULTATS ET INTERPRETATIONS:

Dans un premier temps, nous allons évaluer les contraintes d'adhérence en fonction de la force de traction exercée.

Dans un second temps, nous étudions les facteurs qui influencent sur les contraintes.

Et enfin, voir la relation entre l'adhérence et le glissement des aciers par rapport au béton.

##### 4.3.1. - : Influence de divers facteurs sur l'adhérence :

###### - ACIERS :

- Nature des aciers : Nous avons utilisé deux types d'acier, les ronds lisses et les aciers à haute adhérence à surface rouillée.
- Diamètre des barres : Nous avons utilisé les différents diamètres ( $\emptyset$ ) des barres mis à notre disposition.
- Longueur d'ancrages : Nous avons pris une longueur d'ancrage fixe ( $l_{d_2} = 20 \text{ cm}$ ), l'autre étant variable ( $l_{d_1} = 10, 15, 20 \text{ cm}$ )

Nous avons fait deux séries d'essai pour une comparaison rigoureuse et complète, pour cela nous avons considéré des compositions de béton de sable et des dimensions d'éprouvettes différentes.

Les valeurs des contraintes d'adhérence sont données en  $\text{kg/cm}^2$ .

###### - 1ere Serie d'essai:

- Composition du béton de sable utilisée:

Ciment CPA 325	:	330	$\text{kg/cm}^2$
Sable 0/0,425	:	1310	$\text{kg/cm}^2$
Eau	:	240	$\text{kg/cm}^2$
Filler (3)	:	190	$\text{kg/cm}^2$
Plastifiant PR	:	4,95	$\text{kg/cm}^2$

- Dimension des éprouvettes : 10 x 10 x 40 cm .  
Les résultats de cette série d'essai sont récapitulés dans les tableaux 1 et 2 .

TABLEAU 1 - Aciers à Haute adhérence .

$\phi$ (mm) \ l (cm)	12	14	16
10	35,2	31,0	27,3
15	31,7	28,6	26,7
20	29,2	25,4	-

TABLEAU 2 - Aciers Ronds Lisses .

$\phi$ (mm) \ l (cm)	10	14	16
10	31,0	28,8	21,3
15	30,0	20,2	-
20	27,2	-	-

2ème série d'essai :

- Composition du béton de sable utilisée:  
Ciment CPA 325 : 330 kg/m<sup>3</sup>  
Sable 0/0,425 : 1530 kg/m<sup>3</sup>  
Eau : 260 kg/m<sup>3</sup>
- Dimension des éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm .

Les résultats de cette 2ème série d'essai sont récapitulés dans les tableaux 3 et 4 .

TABLEAU 3 - Aciers à haute adhérence.

$\phi$ (mm) / $l_{d1}$ (cm)	10	12	14
10	55,7	49,2	37,1
15	-	48,2	36,4
20	-	39,8	34,6

TABLEAU 4 - Aciers Ronds lisses

$\phi$ (mm) / $l_{d1}$ (cm)	10	16
10	46,2	24,3
15	43,1	-
20	41,8	-

### INTERPRETATION DES RESULTATS:

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'adhérence maximale moyenne est une fonction :

- Décroissante du diamètre pour les aciers à haute adhérence ou les ronds lisses, en effet, si l'on fait varier le diamètre de la barre sans changer la section transversale de l'éprouvette de béton et la longueur d'ancrage, on change ainsi l'épaisseur de la gaine de béton de la barre; la contrainte d'adhérence et donc son glissement moyen par rapport au béton sont d'autant plus petits que cette barre est plus grosse.
- Décroissante de la longueur d'ancrage (enrobée): pour les deux types d'aciers. L'effort de traction croît en effet avec cette longueur .
- Variante selon la nature de l'acier : En effet, la rugosité des barres à haute adhérence leur confère une adhérence nettement meilleure que celle des ronds lisses.  
Pour les ronds lisses, la rupture d'adhérence s'est effectuée par glissement de l'acier sans fissuration du béton enrobé, au contraire pour les aciers crénelés, la rupture se fait par éclatement du prisme de béton (fissuration très prononcée)
- BETON :
  - - Résistance du béton à la traction : Nous avons utilisé deux compositions de béton de sable différentes avec résistances à la traction optimales différentes .
  - - Epaisseur du béton d'enrobage : Des éprouvettes de dimensions différentes (10 x 10 x 40 cm et 15 x 15 x 40 cm) ont été utilisées.

Deux séries d'essai ont été faites dans le but d'étudier l'influence de ces deux paramètres sur l'adhérence.

### 1er Série d'essai

- Composition du béton de sable simple : Ciment - Sable - Eau
- Dimension des éprouvettes : 10 x 10 x 40 cm.

### Résultats :

TABLEAU - 5 - Aciers à haute adhérence .

$\phi$ (mm) Lx1 (cm)	10	12	14	16
10	32,9	33,1	32	31,4

### 2ème Série d'essai :

- Composition du béton de sable avec adjonction de filler (3)
- Dimension des éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm

### Résultats :

TABLEAU - 6 - Aciers à haute adhérence .

$\phi$ (mm) Lx1 (cm)	12	14	16
10	43,0	41,8	34,6

### INTERPRETATION DES RESULTATS .

Les résultats d'essai nous montrent que l'adhérence croît avec :

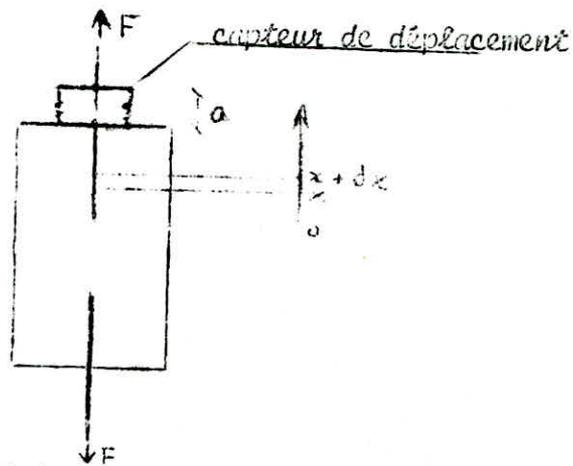
- La résistance du béton à la traction : La rupture de l'adhérence du béton intervenant par éclatement du béton situé autour de l'armature, il est naturel que la résistance de celle-ci au glissement soit proportionnelle à la résistance du béton à la traction .

- L'enrobage : Plus épaisse, la gaine de béton serait plus raide et se déformerait moins quand la barre tend à glisser d'où plus grande résistance à ce glissement.

L'augmentation de l'épaisseur de l'enrobage accroît nettement la sécurité vis à vis de son fendage longitudinal .

#### 4.3.2.: Relation entre l'adhérence et le glissement des aciers par rapport au béton :

Soit l'essai classique d'arrachement par traction dont le schéma est représenté ci-dessous :



Le glissement relatif,  $g(x)$  du béton et de l'acier, à une abscisse  $x$ , est égal à :

$$g(x) = g(0) + \int_0^x (\varepsilon_a + \varepsilon_b) dx + \int_x^a \varepsilon_a dx$$

En désignant par  $\varepsilon_a$  et  $\varepsilon_b$  les allongements respectifs de l'acier et du béton; l'origine des abscisses étant prise à l'extrémité non chargée de la longueur enrobée de la barre.

Nous remarquerons que la déformation du béton est négligeable par rapport à celle de l'acier (elle même petite): Donc le béton est négligé.

$$\text{d'où } g(x) = g(0) + \int_0^x \varepsilon_a dx + \int_x^a \varepsilon_a dx \quad (1)$$

$$\text{avec } \int_x^a \varepsilon_a dx = \int_x^a \frac{\sigma_a}{E_a} dx = \frac{F/S}{E_a} \int_x^a dx$$

$$\implies \int_x^a \varepsilon_a dx = \frac{F/S}{E_a} \cdot a$$

L'équation (1) s'écrira :  $g(x) = g(0) + \frac{F/S}{Ea} \cdot a + \int_x^a \epsilon_a dx$

où

$F$  : force de traction

$S$  : section de la barre

$Ea$  : module d'élasticité de l'acier

$a$  : distance entre la surface du béton et le capteur à déplacement .

Par contre, la valeur de l'intégrale  $\int_x^a \epsilon_a dx$  ne peut être calculée vu que la force varie le long de la barre enrobée .

De plus, l'adhérence sur la surface latérale du tronçon de barre situé entre  $x$  et  $x + dx$  équilibre la variation de l'effort de traction de la barre  $A \cdot \sigma_a$  entre les mêmes abscisses .

$$A \cdot d\sigma_a = \pi \phi \cdot \tau(g(x)) \cdot dx$$

L'essai donne les valeurs de  $\sigma(0) = 0$ ,  $\sigma(a)$  et  $g(x)$  : valeur du glissement donné par le capteur .

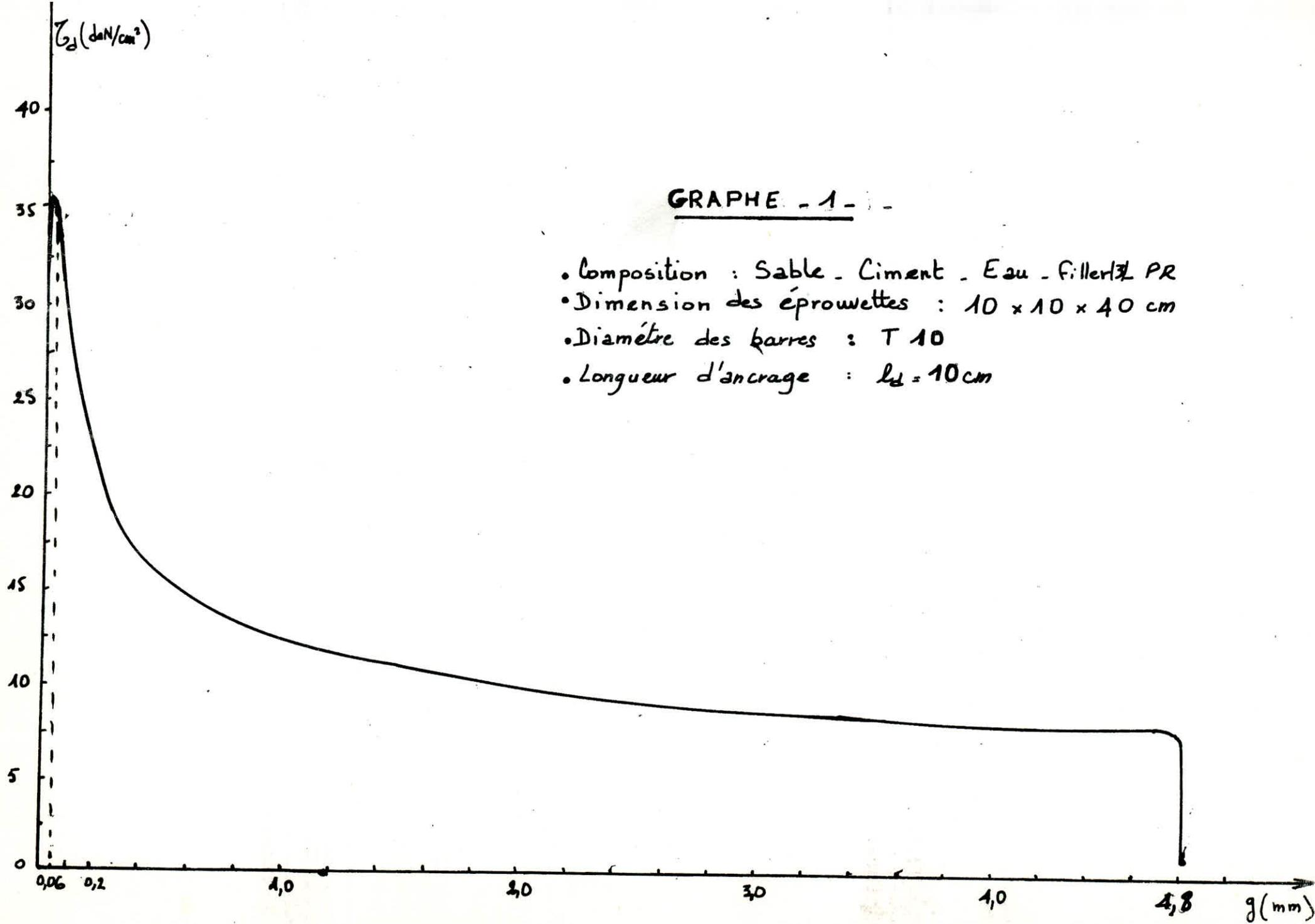
Autrement dit, pour avoir le glissement de la barre il faudrait tenir compte de l'allongement de l'acier .

D'après le graphe, la charge passe par un maximum pour une valeur du glissement  $g_u$  de l'ordre du centième de millimètre pour décroître ensuite rapidement (voir graphe 1) : d'où absence de palier indiquant qu'un déplacement appréciable peut avoir lieu, sans diminution notable de l'effort, ce qui confirme qu'il ne s'agit pas d'un collage mais d'un frottement .

L'absence de ce palier est dû au fonctionnement de la machine de traction qui ne permet pas le maintien de cette charge constante.

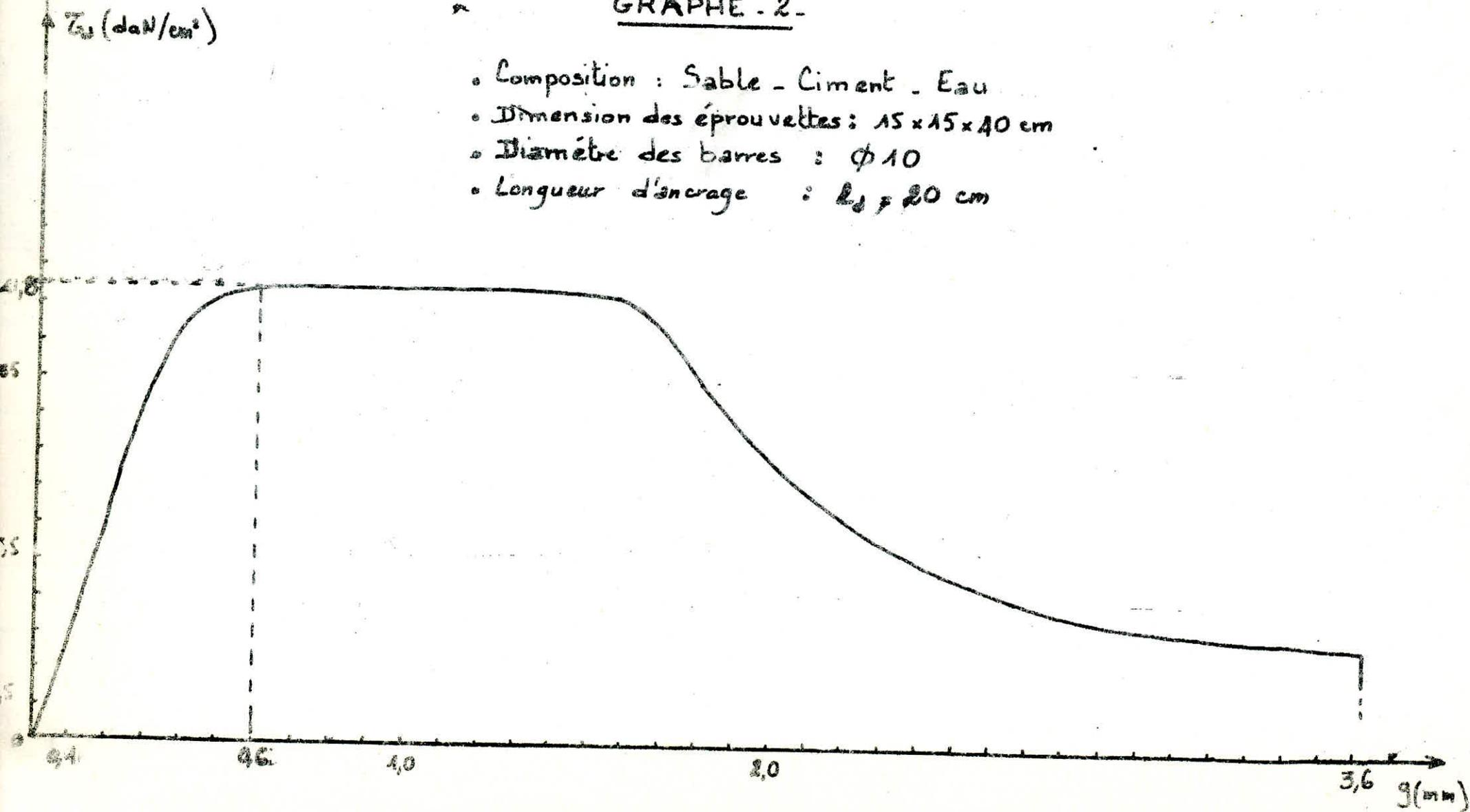
Néanmoins, nous avons pu voir ce palier sur quelques graphes en particulier pour les rovers lisses. (Voir graphe 2 )

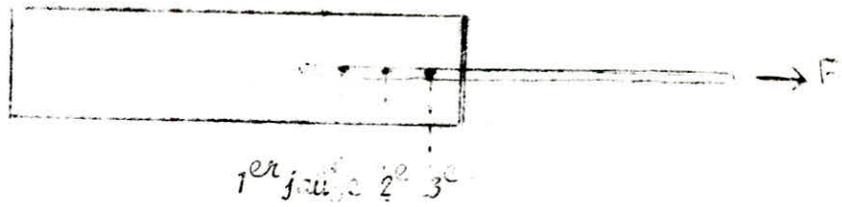
La répartition des forces longitudinales dans une barre tendue peut être mesurée avec précision grâce à l'emploi de jauges de traction d'acier réparties à l'intérieur d'une barre creuse ou scellées à l'intérieur d'une barre (voir schéma).



GRAPHE - 2 -

- Composition : Sable - Ciment - Eau
- Dimension des éprouvettes :  $15 \times 15 \times 40$  cm
- Diamètre des barres :  $\phi 10$
- Longueur d'ancrage :  $l_d = 20$  cm





En effet, cet essai nous permet de mesurer en des points suffisamment rapprochés la déformation longitudinale de l'acier et obtenir ainsi sa contrainte  $\sigma$  tout le long de sa longueur enrobée, on peut en déduire la contrainte d'adhérence  $\tau$  tout le long de cette longueur :

$$\tau_{x,L} = \frac{\Delta F}{\pi \phi \cdot dx} = \frac{F_2 - F_1}{\pi \phi \cdot (l_2 - l_1)}$$

L'équation (1) :  $g(x) = g(0) + \int_0^x \frac{F/S}{Ea} dx$  nous permet alors de calculer le glissement  $g$  tout le long de la barre à partir de sa mesure effective en un point.

Le graphe donnant la contrainte d'adhérence en fonction du diamètre des barres d'acier montre que celle-ci est linéairement décroissante pour différentes valeurs du diamètre.

D'autre part, nous avons porté sur un même graphe, les variations de l'adhérence et de la force de traction en fonction de la longueur d'ancrage, ce graphe montre la décroissance de l'adhérence et, la croissance de la force de traction en fonction de cette longueur.

De plus, le graphe donnant la force de traction en fonction de la longueur enrobée montre l'existence d'une longueur utile au delà de laquelle toute longueur serait sans apport efficace.

TABLEAU - 1 -

Aciers: HA.

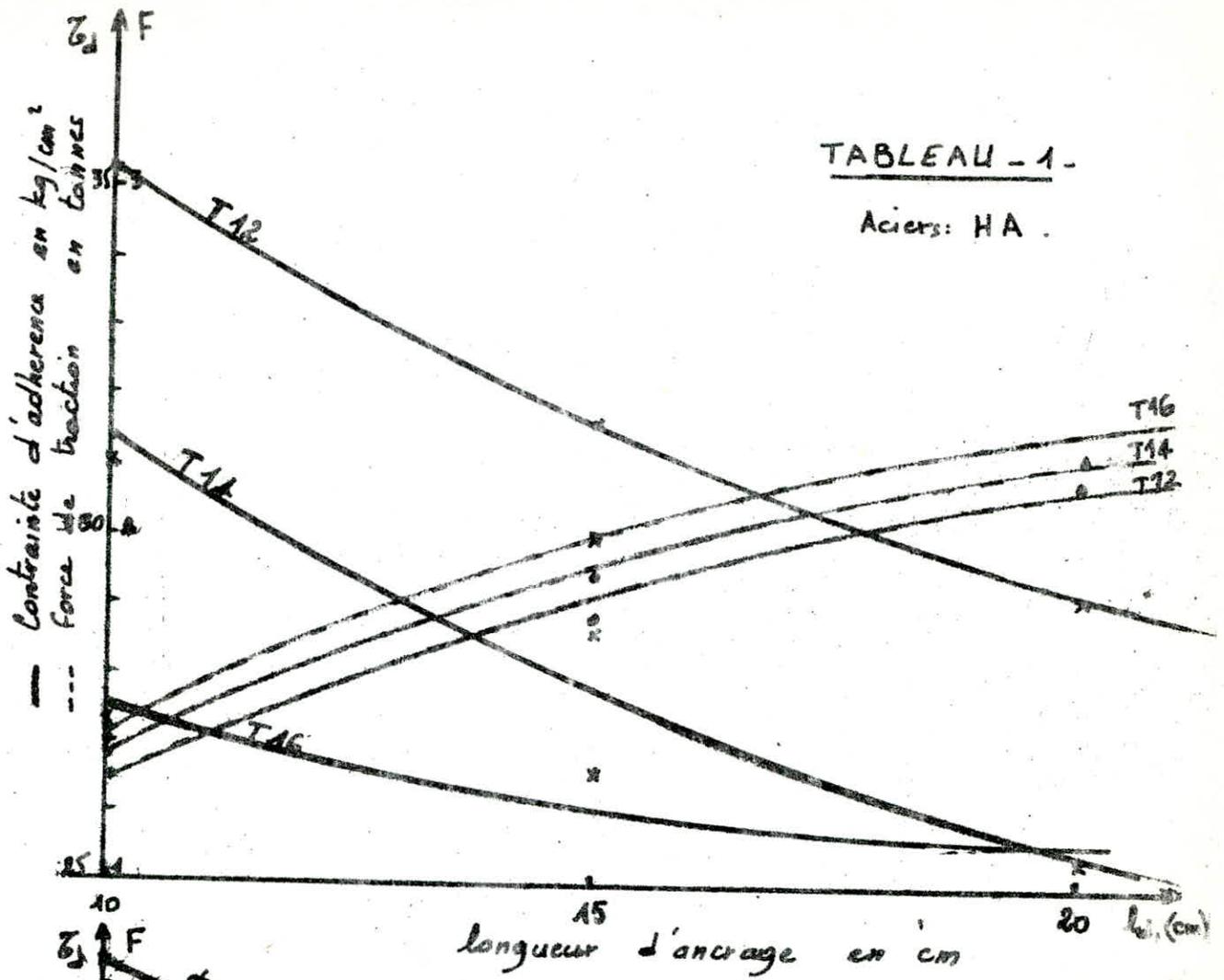
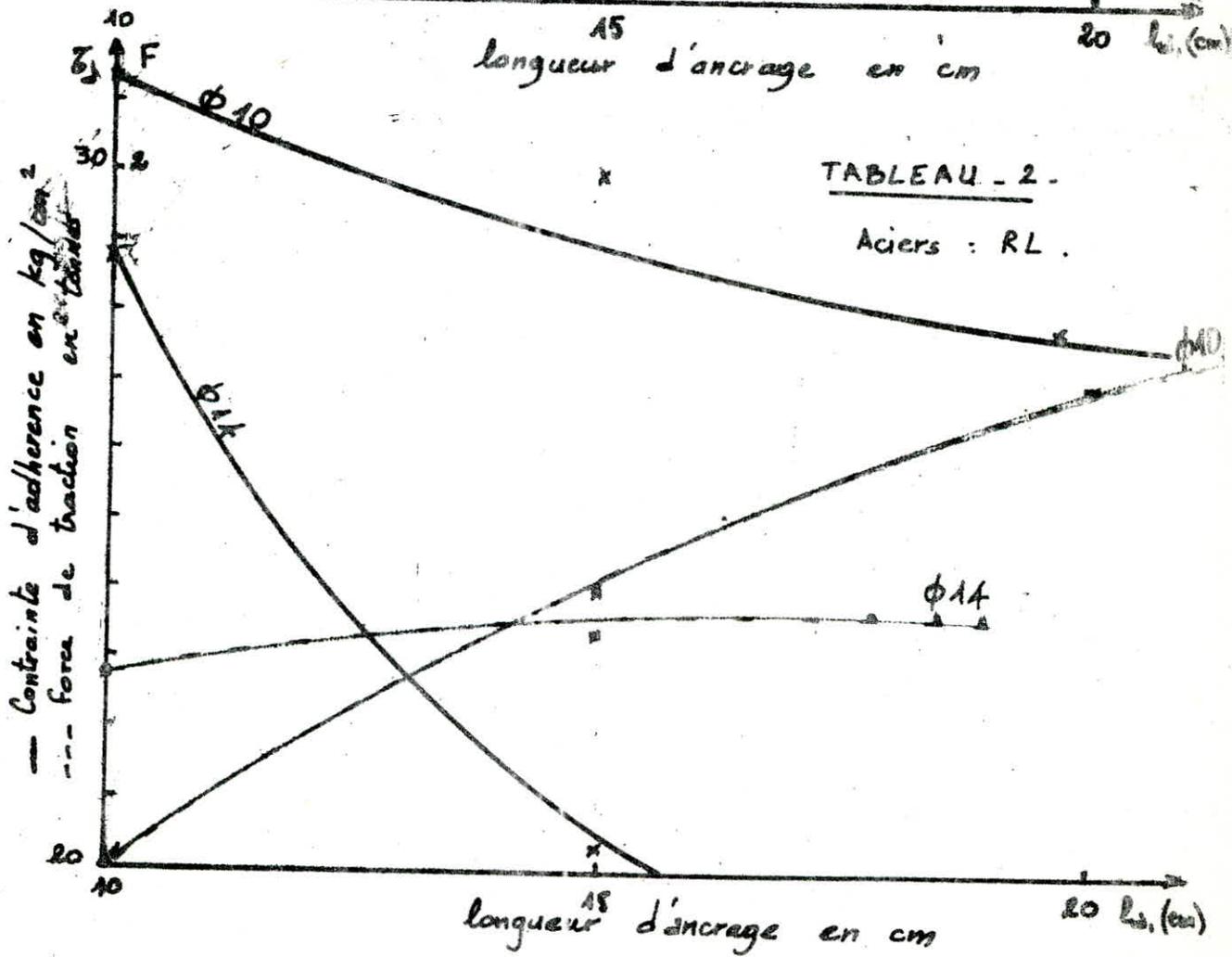


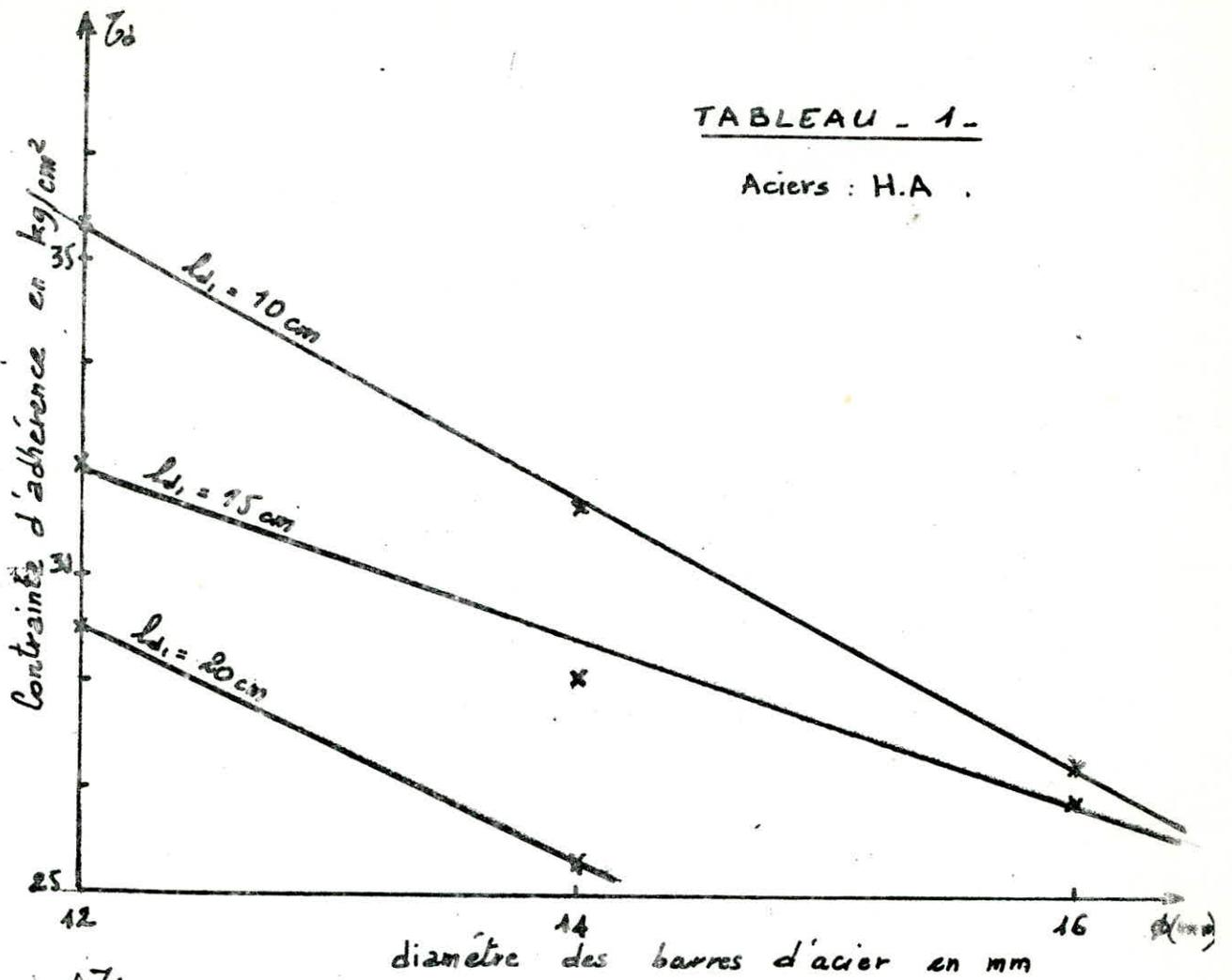
TABLEAU - 2 -

Aciers: RL.



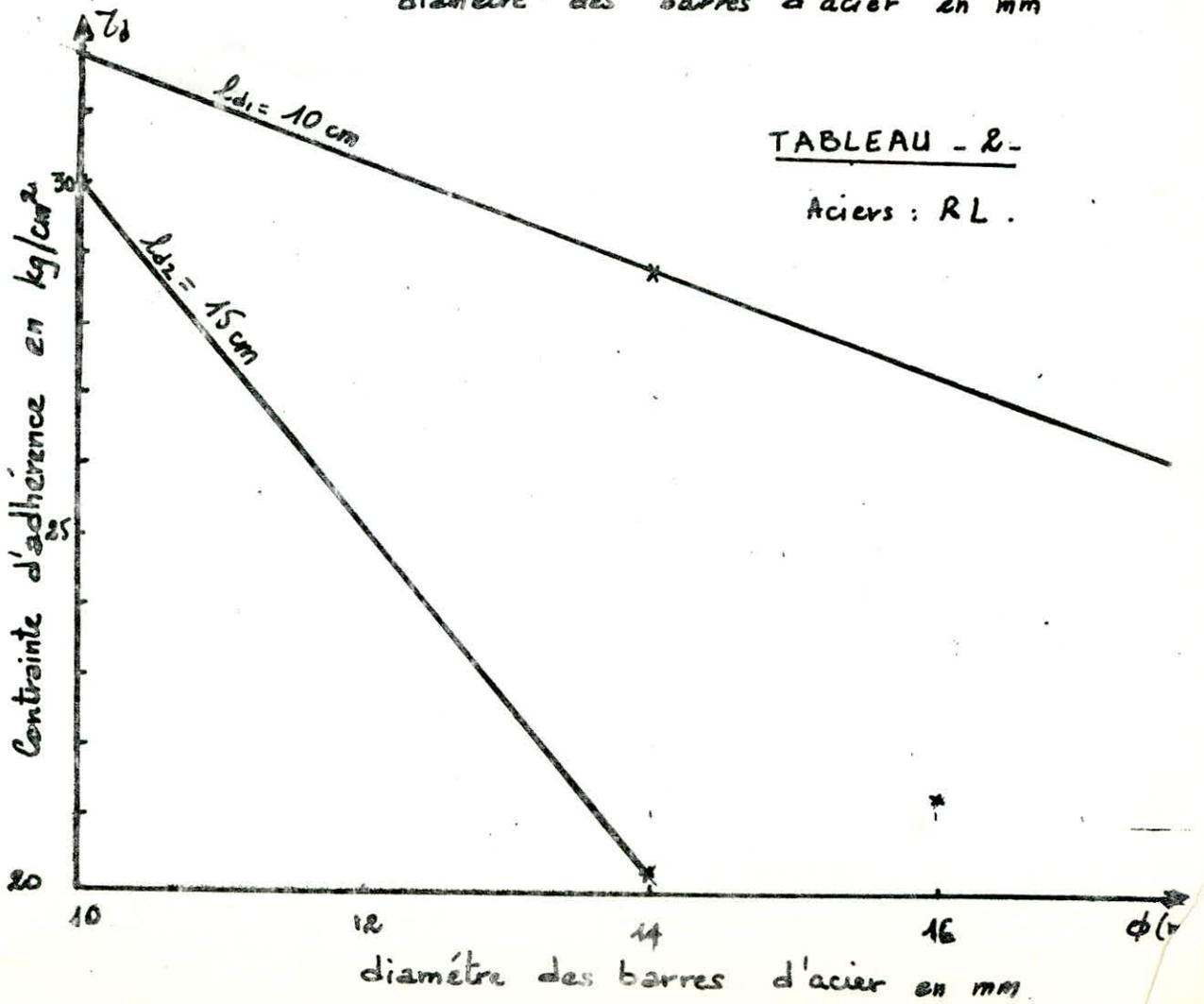
TABEAU - 1 -

Aciers : H.A .



TABEAU - 2 -

Aciers : R.L .



### CONCLUSION

Les résultats de nos essais en laboratoire ont mis en évidence l'influence de ces différents facteurs sur le phénomène d'adhérence :

- La nature de l'acier
- Le diamètre des barres d'acier.
- La longueur d'ancrage des barres d'acier
- La résistance à la traction du béton utilisé .
- Les dimensions des éprouvettes (donc l'enrobage)

En effet, nous avons vu que l'adhérence est d'une part inversement proportionnelle au diamètre des barres et à leur longueur d'ancrage , et d'autre part proportionnelle à la résistance à la traction du béton ainsi qu'à l'épaisseur du béton d'ancrage .

Notons la diversité des résultats quant à la valeur de l'adhérence. L'essai d'arrachement est donc très sensible aux conditions d'essai. Ce qui est un grand inconvénient . On pourrait y remédier en normalisant l'essai .

Dans l'ensemble, nous ne jugeons pas très probants les résultats obtenus vu :

- Le temps limité restreignant le nombre d'expériences.
- Les difficultés de l'exécution de l'essai d'adhérence entre autres: la mise en place précise des armatures suivant l'axe de l'éprouvette (afin d'éviter l'effet d'un moment parasite résultant), l'adhérence dépendant étroitement du soin apporté à son exécution .

Pour obtenir des résultats plus concluants, il aurait fallu:

- Agrandir l'éventail des diamètres des barres d'acier.
- Varier davantage les longueurs d'ancrage afin de mettre en évidence l'existence d'une longueur d'ancrage utile donnant la contrainte d'adhérence optimale.
- Voir l'influence de l'état de surfaces des aciers (rouillé et poli) sur l'adhérence : Une barre légèrement rouillée présente une meilleure adhérence pourvu que la rouille soit elle même adhérente .

- Faire des essais à différents âges : 14, 28 et 90 jours.
- Utiliser éventuellement des moules verticaux : Un grand nombre d'expérimentateurs ont montré qu'une barre disposée verticalement à son moulage accuse une adhérence supérieure à celle d'une barre bétonnée en position horizontale. L'une des causes est la pesanteur, elle joue un rôle essentiel dans la mise en place d'un béton et dans la précision de son adaptation aux parois de son moule : tassement du béton frais sous son propre poids .

De plus lorsqu'une barre est horizontale, il est difficile d'obtenir un excellent enrobage du dessous de celle-ci, même avec une vibration énergétique .

- Effectuer éventuellement des expériences à l'aide d'autres essais opératoires à savoir le Pull Out Test et le Beam Test qui pourraient donner de meilleurs résultats .

Soulignons tout de même, qu'un essai d'arrachement quel qu'il soit, bien que comportant la mesure des glissements, en particulier à l'extrémité libre de la barre en essai, ne donne qu'un renseignement global sur l'adhérence. Il ne permet pas de déterminer la loi de variation de l'adhérence avec le glissement relatif acier - béton en un point sauf par utilisation d'instrument de mesure appropriés .

Le phénomène d'adhérence observé dans le béton sable est pratiquement identique à celui d'un béton normal, donnant ainsi des résultats analogues à ce dernier (Ultime variant de 30 à 50 bars).

Des essais effectués, l'association Béton de sable /acier a engendré une adhérence suffisante du béton à l'acier.

Ceci nous a conduit à envisager l'étude du comportement structurel du béton de sable .

CHAPITRE-5-

COMPORTEMENT STRUCTUREL  
DU BETON DE SABLE

L'étude du comportement structurel d'un béton armé est nécessaire si l'on envisage une utilisation rationnelle de ce matériau dans la construction .

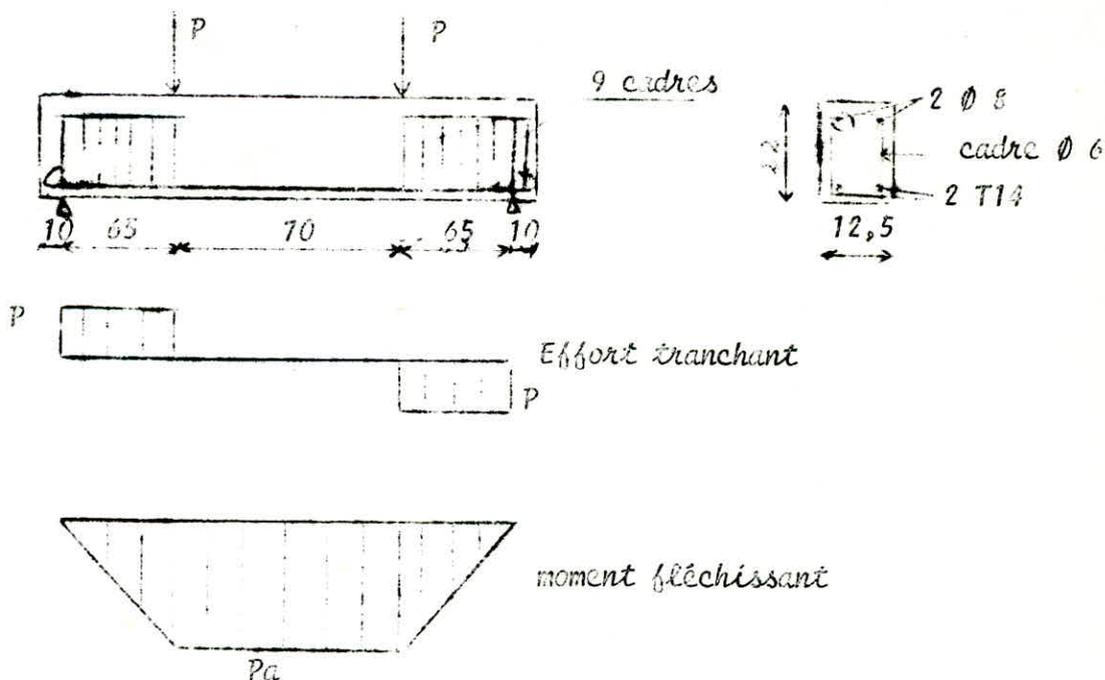
Le type d'essai le plus souvent exécuté pour l'étude du comportement structurel d'un béton armé est l'essai de flexion simple car dans le bâtiment, les éléments soumis à la flexion sont les plus courants .

### 5.1. : ETUDE D'UNE POUTRE A SECTION RECTANGULAIRE SOUMISE A LA FLEXION SIMPLE :

#### 5.1.1. Définitions.

Une poutre à plan moyen est sollicitée en flexion simple lorsqu'elle est soumise à l'action des forces disposées symétriquement par rapport au plan moyen transversal.

Le diagramme des efforts qui agissent sur la poutre d'essai est le suivant :



On place des cadres entre les abouts des poutres et les points d'application des charges pour reprendre l'effort tranchant, et éviter ainsi une rupture prématurée par cisaillement .

On place des armatures longitudinales en fibre inférieure pour reprendre la traction engendrée par le moment de flexion .

On place des armatures de construction en fibre supérieure pour maintenir les cadres .

### 5.1.2. : but de l'essai:

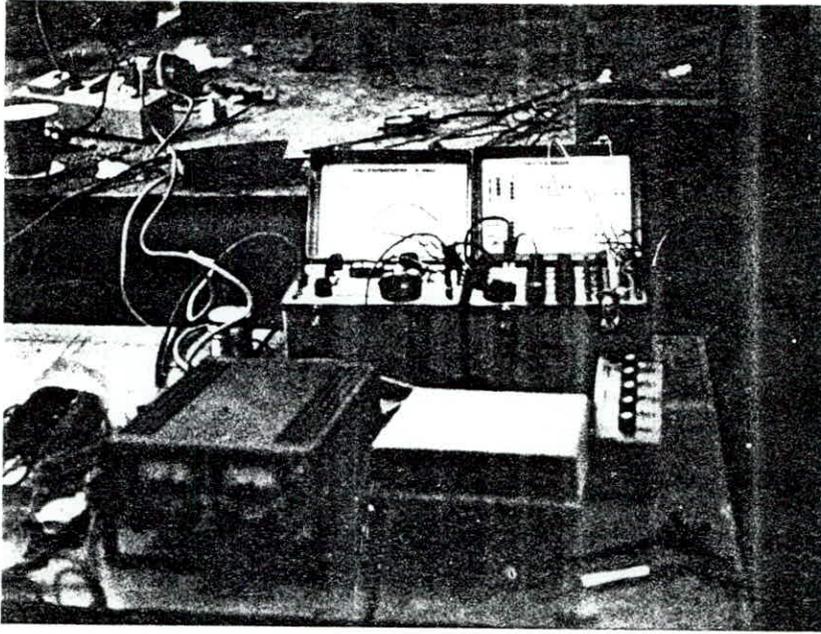
Etudier le comportement d'un élément en béton de sable armé soumis à une flexion simple à partir de l'état non fissuré jusqu'aux états limites et voir les phénomènes qui en résultent à savoir : les déformations de l'acier et du béton, la fissuration du béton et la flèche de l'élément .

### 5.1.3: Principe de la méthode:

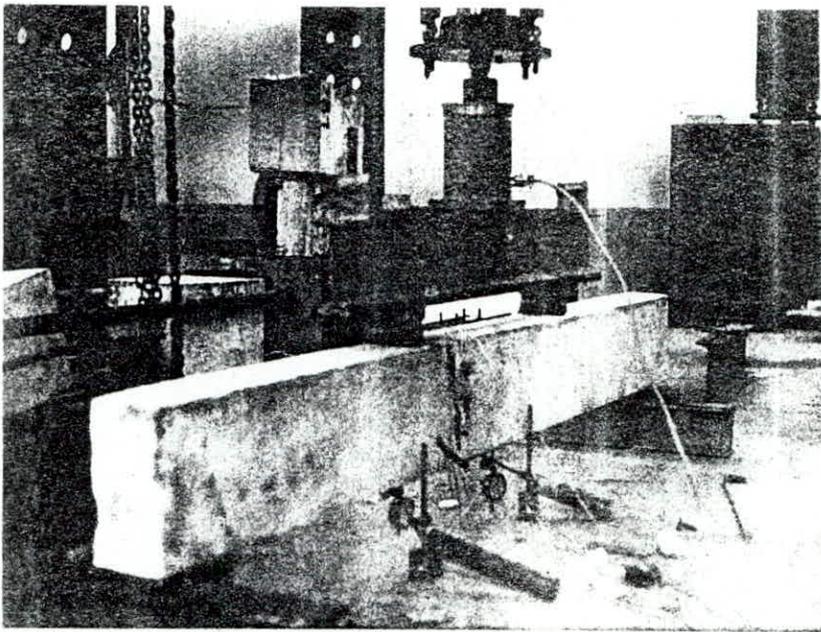
L'essai consiste à mesurer :

- Au moyen d'une presse pour essai de flexion, la force nécessaire pour atteindre l'état de rupture. Cette force est lue sur un cadran gradué.
- A l'aide de jauges d'acier, la déformation des barres d'acier tendues de la poutre .
- A l'aide de jauges à béton, les déformations du béton comprimé.
- Au moyen de comparateurs, la flèche résultant des contraintes de flexion .
- Grâce à un fissuromètre, les fissures apparentes au cours de l'essai .

Ces mesures sont prises à différents paliers de chargement .



Appareillage spécifique à l'essai de flexion simple



## 5.2. PRESENTATION DE L'ESSAI.

### 5.2.1.: Appareillage spécifique :

Lors de notre essai, nous avons utilisé :

- Une presse pour essai de flexion composée de:
  - . Une table d'essai .
  - . Un portique coulissant sur lequel est suspendu un palonnier.
  - . Un dispositif de chargement réglable permettant d'exercer une charge centrée sur la poutre .
- Un palonnier partageant la charge initiale en deux charges égales et symétriques.
- Un capteur de forces servant à régulariser la force exercée sur la poutre, il est relié à un enregistreur digital.
- Des jauges d'acier fixées à l'aide d'une colle spécifique sur les barres d'acier tendues de la poutre.
- Des jauges à béton collées à l'aide d'une colle spéciale sur la surface du béton comprimé.

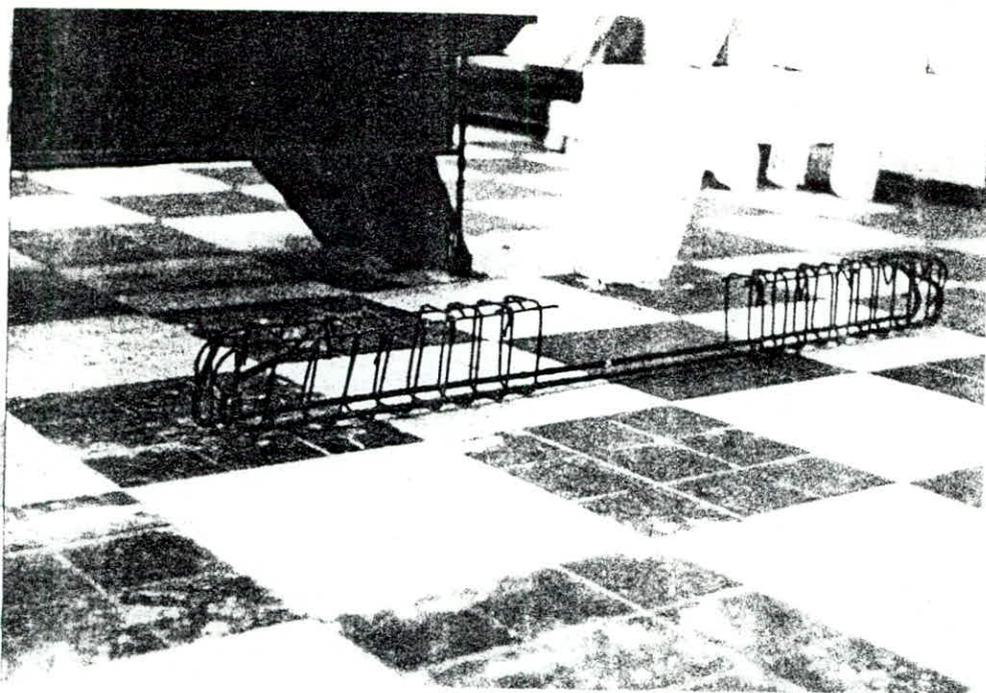
Ces deux types de jauges extensométriques à résistance sont connectées par des fils électriques à un pont d'extensiométrie.

- Un pont d'extensiométrie possédant plusieurs sorties, auquel sont reliées les jauges.
- Des comparateurs mécaniques gradués, de première précision effleurant la surface du béton.
- Un fissuromètre : règle donnant la largeur des fissures aux diverses étapes du chargement.

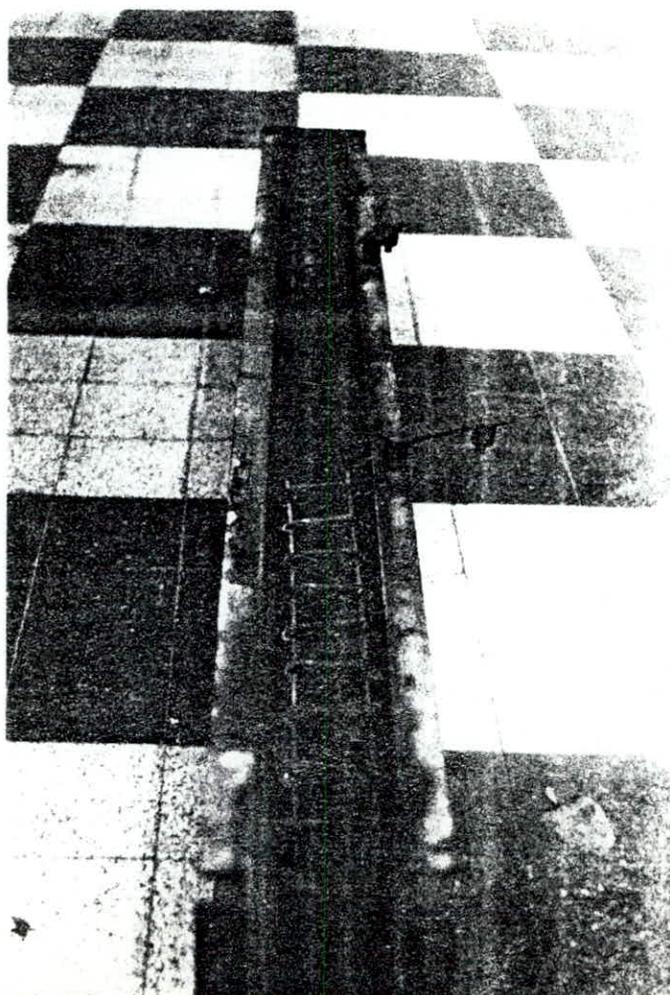
### 5.2.2. Exécution de l'essai :

Pour effectuer l'essai de flexion, nous avons confectionné :

- Deux poutres à section rectangulaire de dimension 12,5 x 22 cm et de portée 2,20 m ; l'une soumise à des essais à 14 jours, l'autre à 28 jours .



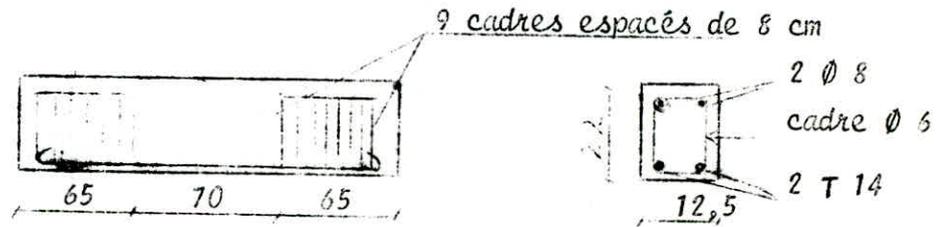
Ferrailage et Coffrage de la poutre



- Trois éprouvettes "temoin" cylindriques 16x32 cm pour chacun des deux essais.

La composition du béton de sable utilisé est celle donnée par la formule de base : Ciment, Sable et Eau .

Le ferrailage de notre poutre est représenté par le schéma ci-après : ( voir photo)



Le coffrage de notre poutre est un coffrage métallique.

Les deux poutres ont été conservées à l'air libre, et arrosées de temps à autre.

Pour éliminer toute influence de l'effort tranchant, il est naturel de choisir un mode de chargement de la poutre d'essai où l'effort tranchant soit nul .

La flexion sous moment constant s'obtient en appliquant à la poutre, posée sur deux appuis simples, deux charges égales équidistantes des appuis. Ce qui est le plus souvent réalisé par l'action d'une seule charge agissant par l'intermédiaire d'un palonnier.

### 5.2.3.: Observation expérimentale du comportement du béton de sable structural.

En faisant croître la charge par incréments réguliers, nous observons l'évolution des phénomènes suivants :

- La déformation du béton enregistrée sur le pont d'extensiométrie.
- La déformation de l'acier captée par les jauges d'acier.
- La fissuration de la poutre: les premières fissures n'étaient pas facilement observables; avec l'accroissement de la charge elles apparaissent plus nombreuses et plus larges dans la zone centrale.
- L'amorce de la flèche: l'aiguille du cadran du comparateur se déplace en fonction de l'accroissement de la charge

La rupture est survenue assez brusquement par écrasement du béton de la zone comprimée. Une sorte de ménisque de béton s'est trouvée expulsée.

A l'état final, nous observons les faits suivants:

- La poutre prend une forme courbe.
- Les extrémités de la poutre reposant sur appuis libres ont tourné.
- La flèche est maximale au milieu de la poutre.
- La partie supérieure s'est raccourcie: compression.
- La partie inférieure s'est allongée: traction.
- L'apparition de groupes de fissures ramifiées et importantes.

### 5.3. : RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Avant de présenter les résultats expérimentaux obtenus, faisons un calcul théorique que nous comparons aux résultats expérimentaux.

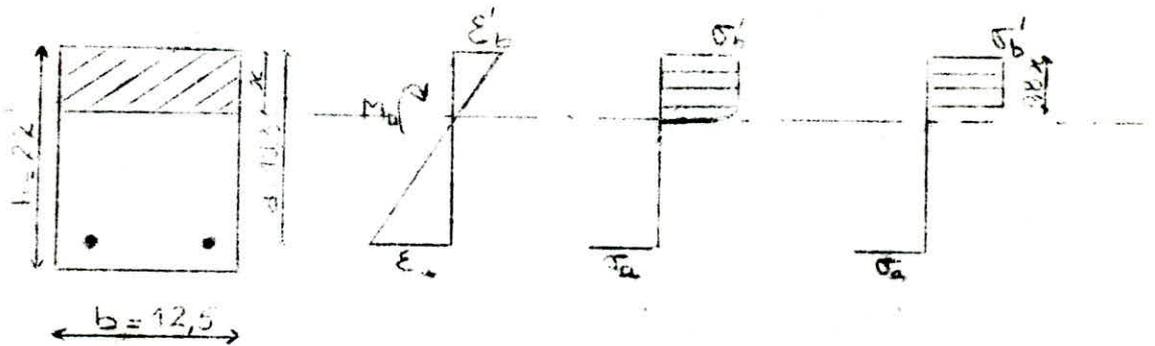
Notons que les essais de compressions sur les éprouvettes "témoin" ont donné des résistances à 14 jours de 170 bars et à 28 jours de 210 bars.

- Cas d'un état limite ultime de résistance (après rupture) (après rupture)

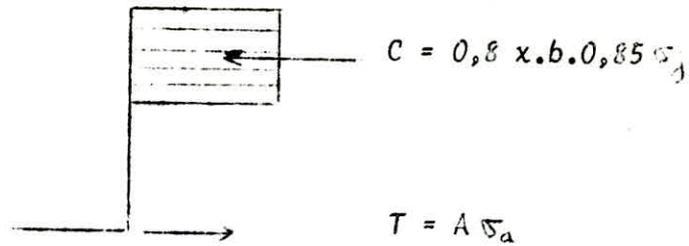
La section de notre poutre est sollicitée par un moment fléchissant  $M_u$  positif : les fibres supérieures de la section sont donc comprimées.

Nous savons d'après les hypothèses de l'article II.2 du chapitre VII du BAEL 80, que le diagramme des déformations est linéaire, que la résistance du béton tendu est négligée, que le diagramme des contraintes sur la partie de béton comprimé est le diagramme parabole rectangle, et que l'on peut supposer concentrées en leur centre de gravité les armatures.

Nous avons donc les diagrammes suivants :



Soit le diagramme des contraintes suivant :



Nous avons rupture lorsque le béton atteint sa déformation ultime .

Deux cas se présentent :

- 1er cas : Poutre sous-armée :

Dans ce cas, l'acier atteint sa limite élastique avant que le béton atteigne quant à lui sa déformation ultime .

Ceci implique que :  $\epsilon_a \geq \epsilon_{ay}$  avec  $\epsilon_{ay} \approx 2 \%$

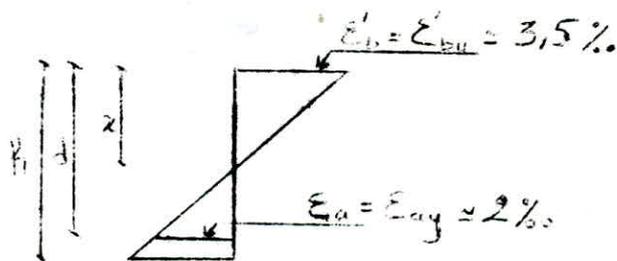
et que :  $\sigma_a = \sigma_{ay}$

- 2ème cas : Poutre sur armée :

L'acier n'atteint pas sa limite élastique, par suite :

$$\epsilon_a < \epsilon_{ay} \Rightarrow \sigma_a < \sigma_{ay}$$

Pour savoir dans quel cas notre poutre se situe, déterminons le pourcentage d'acier pour lequel le béton atteint sa déformation ultime en même temps que l'acier atteint sa limite élastique .



$\epsilon'_{cu} = 3,5 \%$  dans le cas d'un béton classique, il faudrait refaire les calculs pour la valeur expérimentale de notre béton de sable .

Déterminons tout d'abord la position de l'axe neutre :

- En utilisant les rapports de similitude de deux triangles semblables, nous obtenons les relations suivantes :

$$\frac{\epsilon_{bu}}{x} = \frac{\epsilon_{bu} + \epsilon_{ay}}{d} \Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{3,5}{5,5}$$

$$\Rightarrow x = \frac{3,5}{5,5} d$$

Application numérique :

$d = 19,3 \text{ cm}$  d'où  $x = 12,28 \text{ cm}$ .

Par suite,

$$C = 0,8 \times b \cdot 0,85 \sigma'_d$$

$$C = 22 \text{ tonnes}$$

$$C = 17,7 \text{ tonnes}$$

$$\sigma_{s1} = 210 \text{ bars}$$

$$\sigma_{s2} = 170 \text{ bars}$$

L'équation d'équilibre donne :

$$T = C \Rightarrow A_a = \frac{C}{\sigma_a} \quad \sigma_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{op1} = 5,2 \text{ cm}^2 \quad \text{et} \quad A_{op2} = 4,2 \text{ cm}^2$$

$A_{op}$  : Quantité d'acier optimale.

$A$  : Quantité d'acier utilisée : 2 T 14 :  $A = 3,08 \text{ cm}^2$

Or si  $A < A_{op}$  alors la poutre est sous armée, avec  $A_{op} = \min(A_{op1}, A_{op2})$   
et si  $A > A_{op}$ , la poutre est sur armée.

dans notre cas  $A < A_{op}$  donc notre poutre est sous armée.

A présent, déterminons la charge ultime théorique permettant d'atteindre la rupture totale.



En utilisant les règles du BAEL 80:

- La position de l'axe neutre est donnée par :

$$C = T \Rightarrow x = \frac{A_s \sigma_s}{0,85 \gamma_j \cdot 0,8 b} = \begin{cases} x_{14j} = 8,95 \text{ cm à 14 jours} \\ x_{28j} = 7,24 \text{ cm à 28 jours} \end{cases}$$

- Le moment ultime est donné par :

$$M_u = 0,85 \gamma_j \cdot 0,8 x \cdot b \cdot (d - 0,4 x) = \begin{cases} M_u = 2,03 \text{ t.m à 14 jours} \\ M_u = 2,12 \text{ t.m à 28 jours} \end{cases}$$

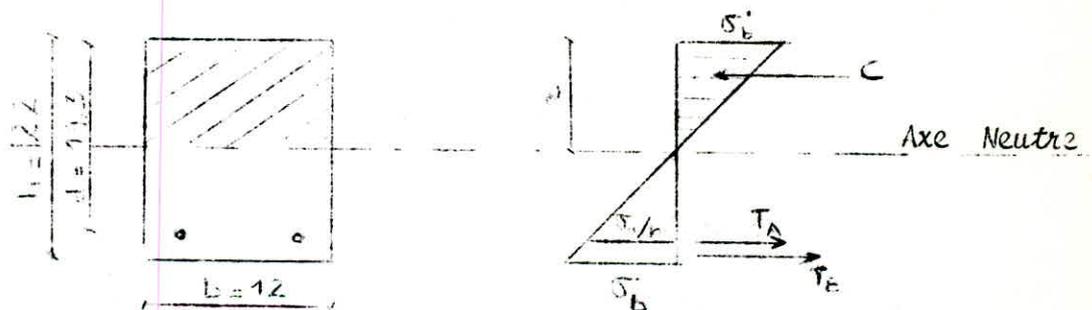
- La charge ultime est égale à

$$P_u = \frac{M_u}{a} = \frac{M_u}{0,65} = \begin{cases} P_u = 3,13 \text{ t} \\ P_u = 3,26 \text{ t} \end{cases}$$

- Charge ultime totale :

$$P_{uT} = 2P_u = \begin{cases} P_{uT} = 6,26 \text{ t à 14 jours} \\ P_{uT} = 6,52 \text{ t à 28 jours} \end{cases}$$

Passons à présent au calcul du moment de première fissuration dans le cas où la section n'est pas fissurée :



Faisons un calcul de contraintes élastique, en tenant compte du béton tendu :

L'équilibre des efforts donne :

$$C = T_B + T_A \quad (1)$$

Avec :

$$C = 1/2 b \cdot x \cdot \sigma'_b$$
$$T_A = A \sigma_s$$
$$T_B = 1/2 b \sigma_b (h-x) - n T_b A$$

Utilisons les relations sur les triangles semblables et exprimons toutes les contraintes en fonction de la contrainte de traction du béton  $\sigma_s = 35$

$$\frac{\sigma'_b}{x} = \frac{\sigma_b}{h-x} \Rightarrow \sigma'_b = \frac{x}{h-x} \sigma_b$$

$$\frac{\sigma_s/n}{d-x} = \frac{\sigma_b}{h-x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{n \sigma_s (d-x)}{h-x}$$

- Position de l'axe neutre :

Après résolution de l'équation (1) ;  $x = 10,55 \text{ cm}$

- Moment d'inertie I de la section non fissurée :

$$I = \left[ \frac{bx^3}{12} + bx \cdot \frac{x^2}{2} \right] + \left[ b \frac{(h-x)^3}{12} + b (h-x) \frac{(h-x)^2}{2} - A(d-x)^2 \right] + \frac{1}{E_b} \left[ AE_a (d-x)^2 \right]$$

Application numérique :  $b = 12,5 \text{ cm}$

$$h = 22 \text{ cm}$$

$$d = 19,3 \text{ cm}$$

$$a = 65 \text{ cm}$$

$$x = 10,55 \text{ cm}$$

$$A = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$\frac{E_a}{E_b} = n = 15$$

$$\sigma_s = 35 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 12000,67 \text{ cm}^4 .$$

- Moment de 1<sup>ère</sup> fissuration :

$$\sigma_c = \frac{M_f \cdot V_1}{I} \Rightarrow M_f = \frac{\sigma_c \cdot I}{V_1} = \frac{\sigma_c \cdot I}{h - x} = 0,36 \text{ t.m}$$

- Charge correspondant à ce moment :

$$P_f = \frac{M_f}{a} = 0,95 \text{ t} \Rightarrow P_f \text{ totale} = 2P_f = 1,90 \text{ t}$$

L'essai sur la poutre a donné les résultats suivants :

$$\epsilon_a = 2,8 \text{ ‰}$$

$$P_f = 2,4 \text{ t}$$

$$P_u = 6,8 \text{ t}$$

En comparant les valeurs théoriques aux valeurs expérimentales, nous pouvons faire les remarques suivantes :

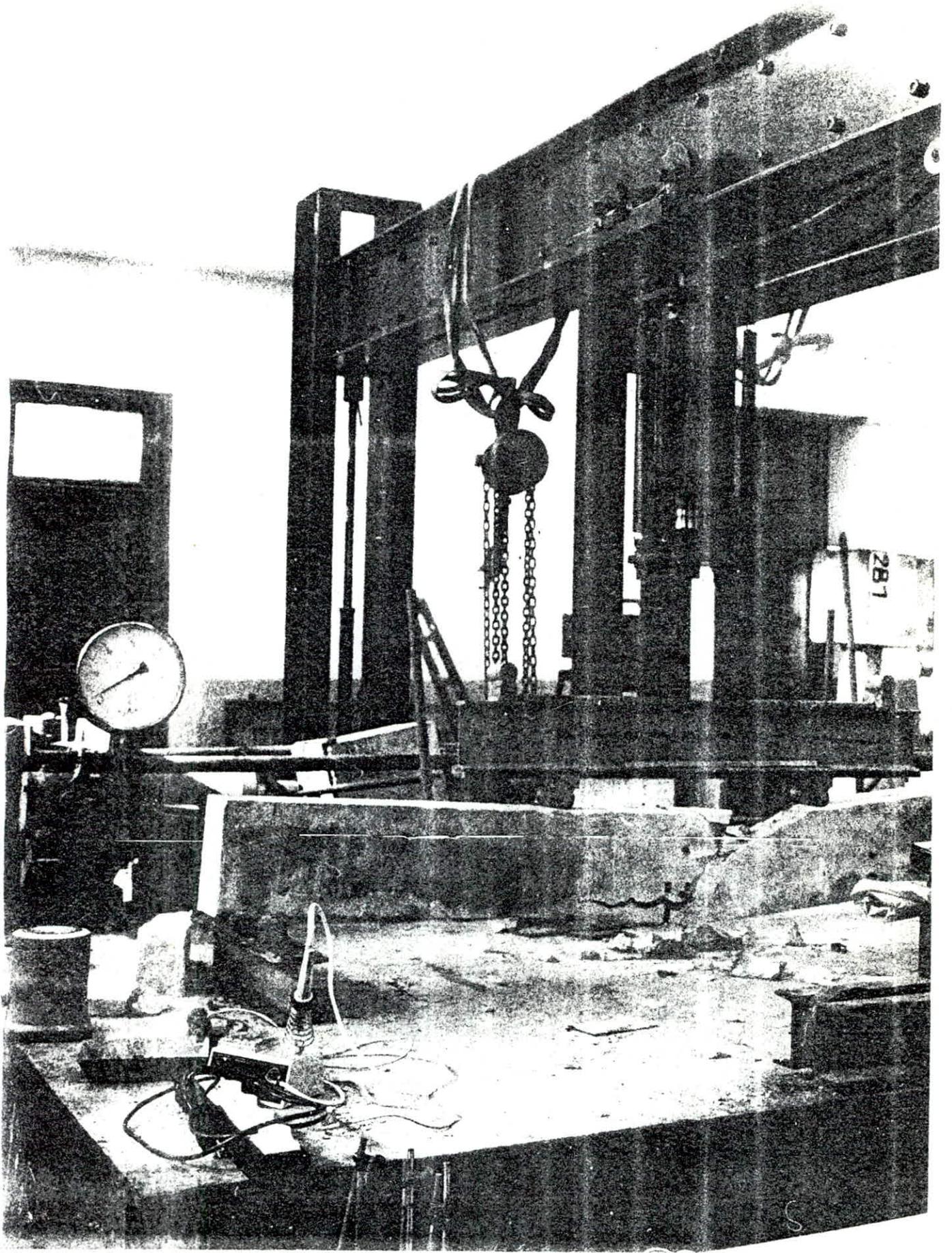
- Notre poutre (calculée avec une déformation limite d'élasticité  $\epsilon_a = 2,8 \text{ ‰}$ ) reste sous armée .

- Les valeurs expérimentales sont supérieures aux valeurs théoriques ce qui était prévisible car dans un calcul théorique on tient compte d'un coefficient de sécurité .

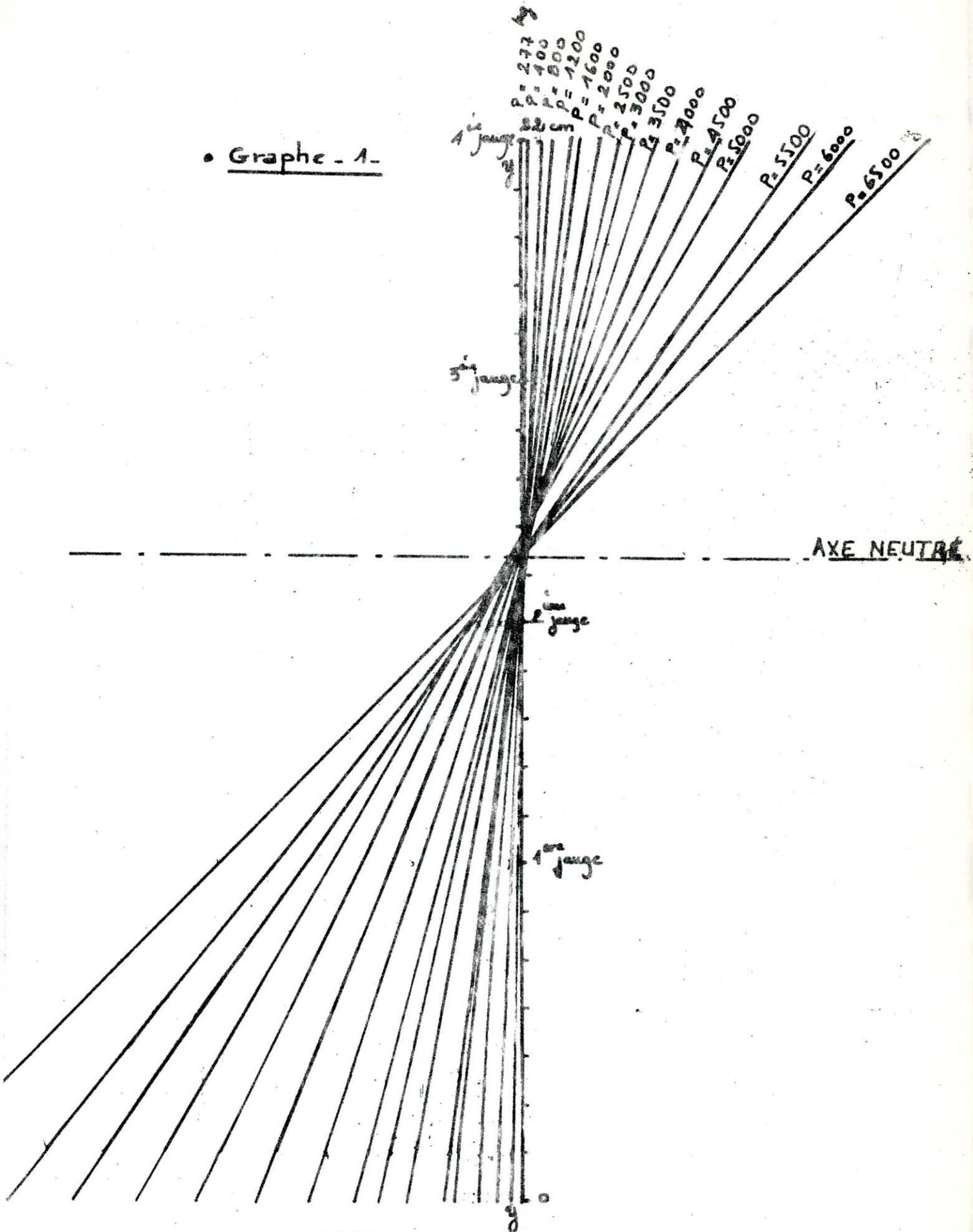
Le graphe donnant le chargement en fonction de la flèche montre qu'il croit avec celle-ci .

Le diagramme de déformation du béton (raccourcissement-allongement) montre qu'il est linéaire, et que l'axe neutre se déplace sur l'axe yy.

Les jauges d'acier ayant rompu aux premiers chargements, nous n'avons malheureusement pas pu relever les déformations de l'acier.



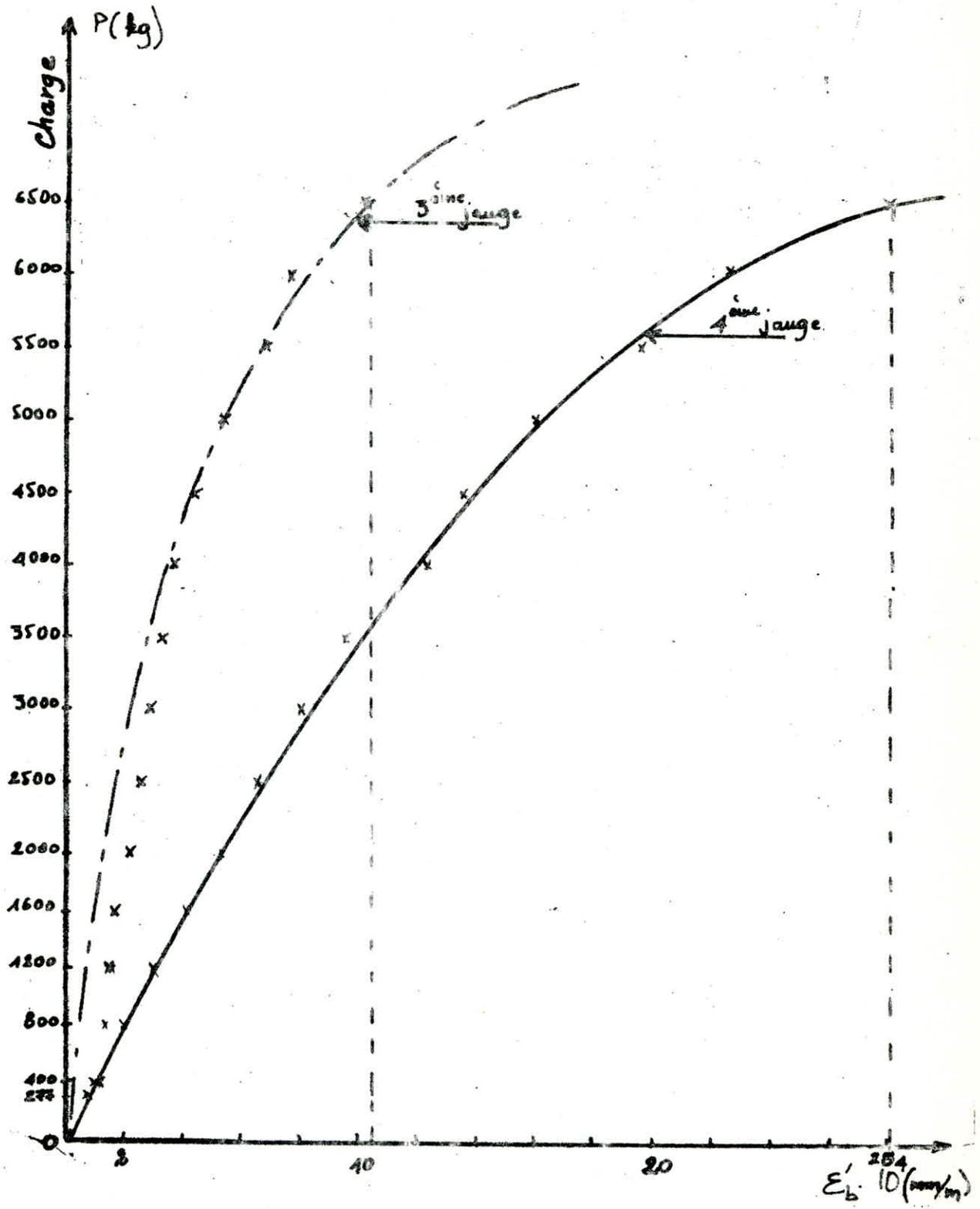
• Graphique - 1.



**DEFORMATION DU BETON**

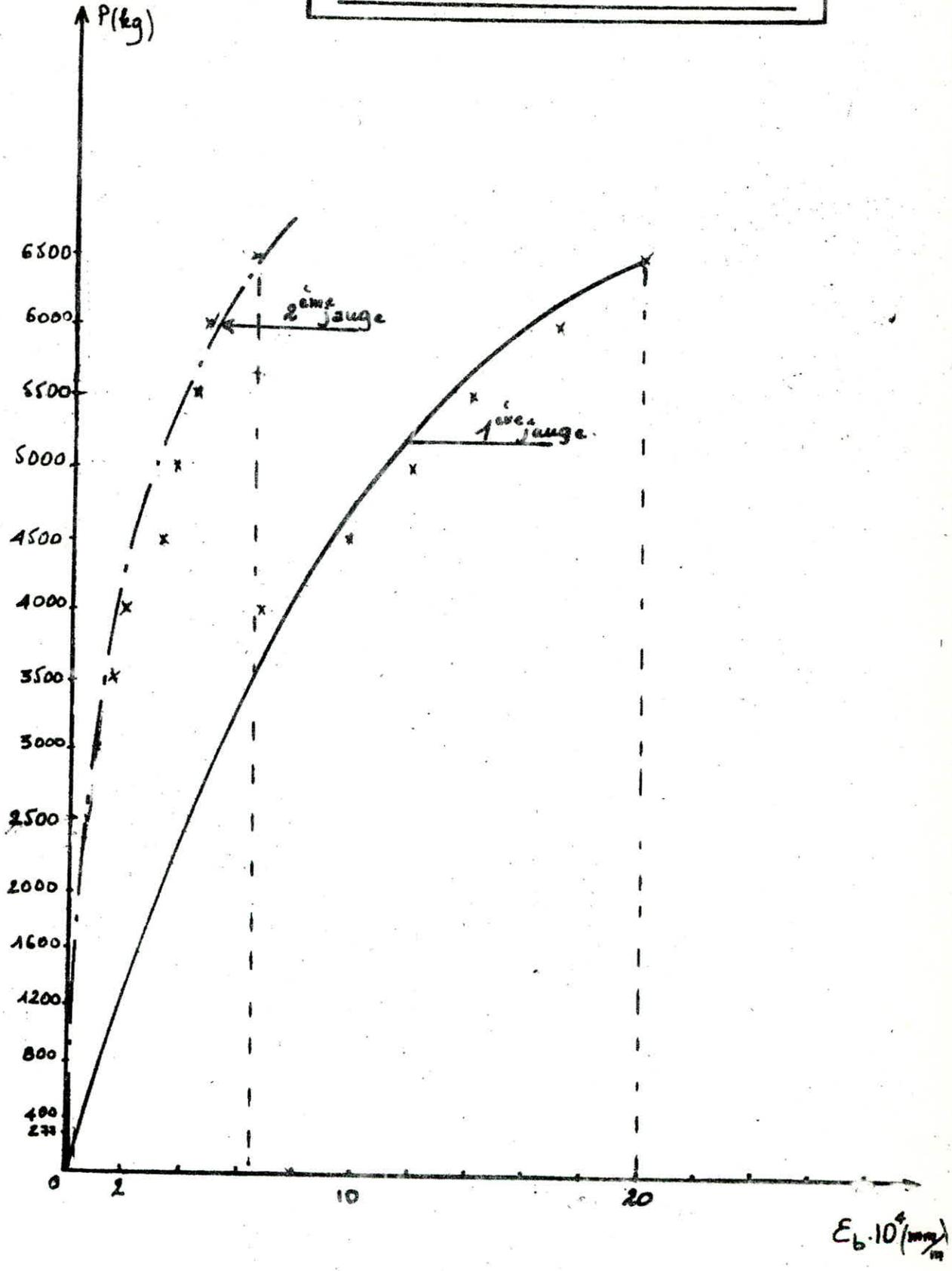
Graph-2.

# RACCORDRISSEMENT DU BETON



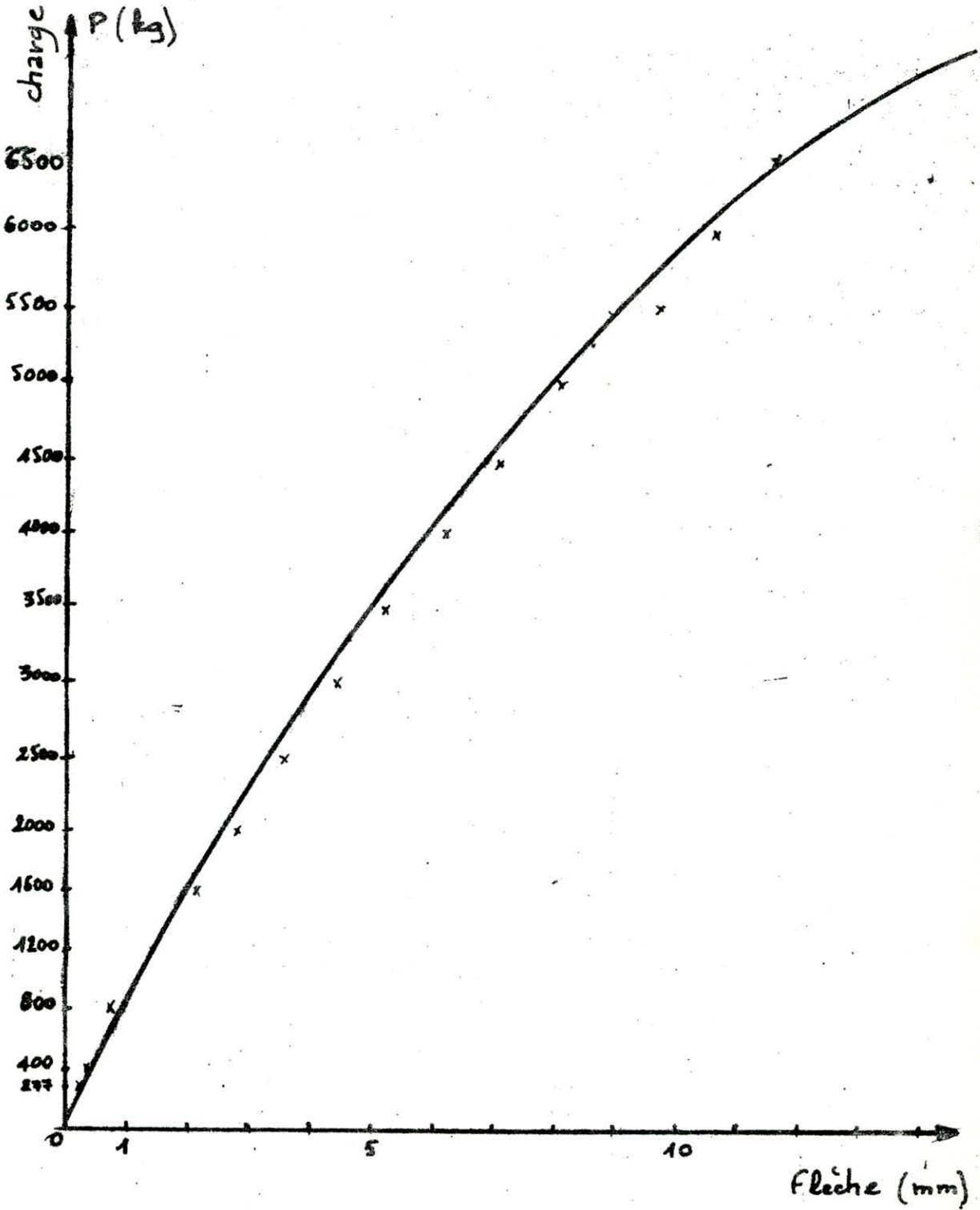
Graph 5.

ALLONGEMENT DU BETON



• Graphe. 4.

FLECHE AU MILIEU DE LA POUTRE



## CONCLUSION :

Les constatations que l'on peut faire sur cet essai de flexion sont :

- Le béton de sable a eu le même comportement que le béton classique, à part que la déformation ultime du premier est légèrement inférieure à celle du deuxième .
- La charge ultime théorique se rapproche de la charge de rupture obtenue lors de l'essai .
- Le béton comprimé s'est raccourci (la loi charge - déformation est sensiblement linéaire).
- Les flèches mesurées au milieu de la poutre sont très sensiblement proportionnelles aux charges.
- La rupture est survenue d'une façon brutale par épaufrement et écrasement du béton dû probablement à la non-fragilité de celui-ci.

Ces résultats expérimentaux, paraissent en effet digne de foi, il demanderait cependant à être vérifié et complété par d'autres essais et avec différents modes de sollicitations .

## ASPECT ECONOMIQUE

Nous ne pouvons achever notre étude sans donner un aperçu économique, plus précisément une comparaison économique d'un béton classique et d'un béton de sable .

Voyons les compositions respectives :

<u>BETON CLASSIQUE</u>	<u>BETON DE SABLE</u>
Ciment CPA 325 : 330 kg/m <sup>3</sup>	Ciment CPA 325 : 330 kg/m <sup>3</sup>
Sable moyen : 596 kg/m <sup>3</sup>	Sable 0/0,425 : 1530 kg/m <sup>3</sup>
Gravier 5/15 : 1232 kg/m <sup>3</sup>	
Eau : 175 L /m <sup>3</sup>	Eau : 260 L /m <sup>3</sup>

Il est évident que l'utilisation de matériaux locaux (sable de dunes) minimise les dépenses relatives au transport .

Par ailleurs,

Dans la confection d'un béton classique les opérations entrant en jeu sont :

- L'excavation du gravier.
- Le concassage du gravier et éventuellement du sable.
- Le tamisage de ces granulats .
- Leur lavage .

Or dans le béton de sable toutes ces opérations n'ont pas lieu .

Le béton de sable présente donc un intérêt économique remarquable .

## CONCLUSION GENERALE :

Notre étude sur le béton de sable et les résultats obtenus lors des diverses expériences relatives aux essais de détermination de la composition optimale, aux essais d'adhérence et enfin aux essais étudiant le comportement structural de ce béton, ont fait ressortir que le béton de sable armé peut avoir les qualités d'un béton structural .

Néanmoins apparaît un besoin impérieux d'établir :

- d'une part, un D.T.U. (Document Technique Unifié) spécifique au béton de sable .
- d'autre part, une méthodologie rigoureuse pour la détermination de la composition optimale s'impose .

Ayant été confrontées quotidiennement aux problèmes fastidieux de laboratoire dus en particulier à :

- Un manque de matériel de base .
- Un retard dans l'approvisionnement des matériaux,

nous n'avons pu compléter nos résultats en raison du retard remarquable sur le déroulement de nos essais.

Toutefois, cette étude nous a amenées à formuler quelques suggestions qui pourraient servir à des études plus poussées dans ce domaine.

Il serait intéressant de :

- Diversifier la granulométrie et la nature du sable utilisé dans la confection de ce béton, et peut être même envisager un mélange de deux sables de dunes différents par leur origine (calcaire ou siliceuse), leur granulométrie etc ...
- Prévoir l'utilisation de ce béton dans différents domaines du Génie Civil par exemple :
  - béton à usage routier
  - béton cellulaire
  - micro béton

- Etudier le comportement structurel du béton de sable en flexion - cisaillement .
- Voir le comportement du béton de sable structurel à long terme notamment les déformations différées de retrait et de fluage.

Habitues tout au long de nos études à ne travailler que dans l'abstrait, cette étude basée essentiellement sur des essais en laboratoire nous a initiées au côté pratique du domaine du Génie Civil.

L'objectif de la technologie appropriée étant de réaliser le maximum avec des coûts réduits, peu de gaspillage d'énergie et d'autres ressources rares. Nous estimons le recours à l'utilisation de matériaux locaux indispensable .

Dans ce sens et à la lumière de notre étude sur le BÉTON DE SABLE, nous croyons fermement à une utilisation rationnelle et étendue de ce matériau dans les constructions du Sud Algérien et donc, que le béton de sable pourrait être un matériau d'avenir dans les constructions du Sud .

-\*- BIBLIOGRAPHIE -\*-

-\*-

- . ARRAMBIDE J. & DURIEZ M. "Nouveau traité de matériaux de construction" Edition Dunod 1957
- . DINNEQUIN P. " Cours supérieur de béton armé " Règles BAEL 80
- . DREUX G. "Nouveau guide du béton " Edition Eyrolles 1976
- . GORISSE F. "Essai et contrôle de béton" Edition Eyrolles 1978
- . GUERRIN A. "Traité de béton armé" Edition Dunod 1973.
- . KOMAR A. " Matériaux et éléments de construction " Edition de MOSCOU 1976
- . LACROIX - FUENTES - THONIER : "Traité de béton armé" Edition Eyrolles 1985
- . LETERTRE F.- RENAUD H. " Ouvrage en béton armé " Edition FOUCHER 1978
- . OLIVIER E. "Technologie des matériaux de construction " Entreprise Moderne d'Édition 1978
- . ROBINSON J-R. " Construction de béton armé" Centre de Hautes Etudes de la Construction 1976
- . LES BETONS DE SABLES . Document du Laboratoire Régional de Bordeaux 1982
- . BETON DE SABLE - Sable de Dunes - Thèse Ecole Polytechnique d'Alger ENPA 1985

- . MATERIAUX DE CONSTRUCTION -  
Reunion d'ingénieur Edition Eyrolles 1979
  
- . Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics  
I T B T P 1955
  
- . Laboratoires du Batiment des Travaux Publics  
R I L E M 1947
  
- . Normes AFNOR.

- ANNEXES -

- ANNEXE 1 -

Nous avons rassemblé les trois courbes obtenues en extensométrie des trois formules retenues donnant les meilleures performances mécaniques.

• Graphe - 1 -

Composition : Sable - Ciment - Eau

Nous avons tracé les courbes de déformations longitudinale et transversale sur un même graphe.

Nous constatons que la déformation longitudinale maximale est de 2,7 ‰ et la déformation transversale est de 0,7 ‰ nous obtenons alors un coefficient de Poisson  $\eta$  égal à 0,26, ce qui est conforme aux valeurs obtenues pour le béton classique.

D'autre part, le module d'élasticité  $E = 450.000 \text{ daN/cm}^2$  est important ce qui implique que le béton est résistant et déformable.

• Graphe - 2 -

Composition avec Filler (3)

Nous faisons les mêmes remarques que pour le graphe 1, de plus, l'ajout de fines a augmenté la compacité et par suite la résistance du béton. Le module d'élasticité  $E = 540.000 \text{ daN/cm}^2$  est encore plus important. La déformation longitudinale maximale est de 2,9 ‰, le coefficient de Poisson = 0,30

• Graphe - 3 -

Composition avec chaux

Dans ce cas les résultats sont moins bons que les précédents :

$$E = 300.000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\eta = 0,31$$

$$\epsilon_p = 3,2 \text{ ‰}$$

NOTA :

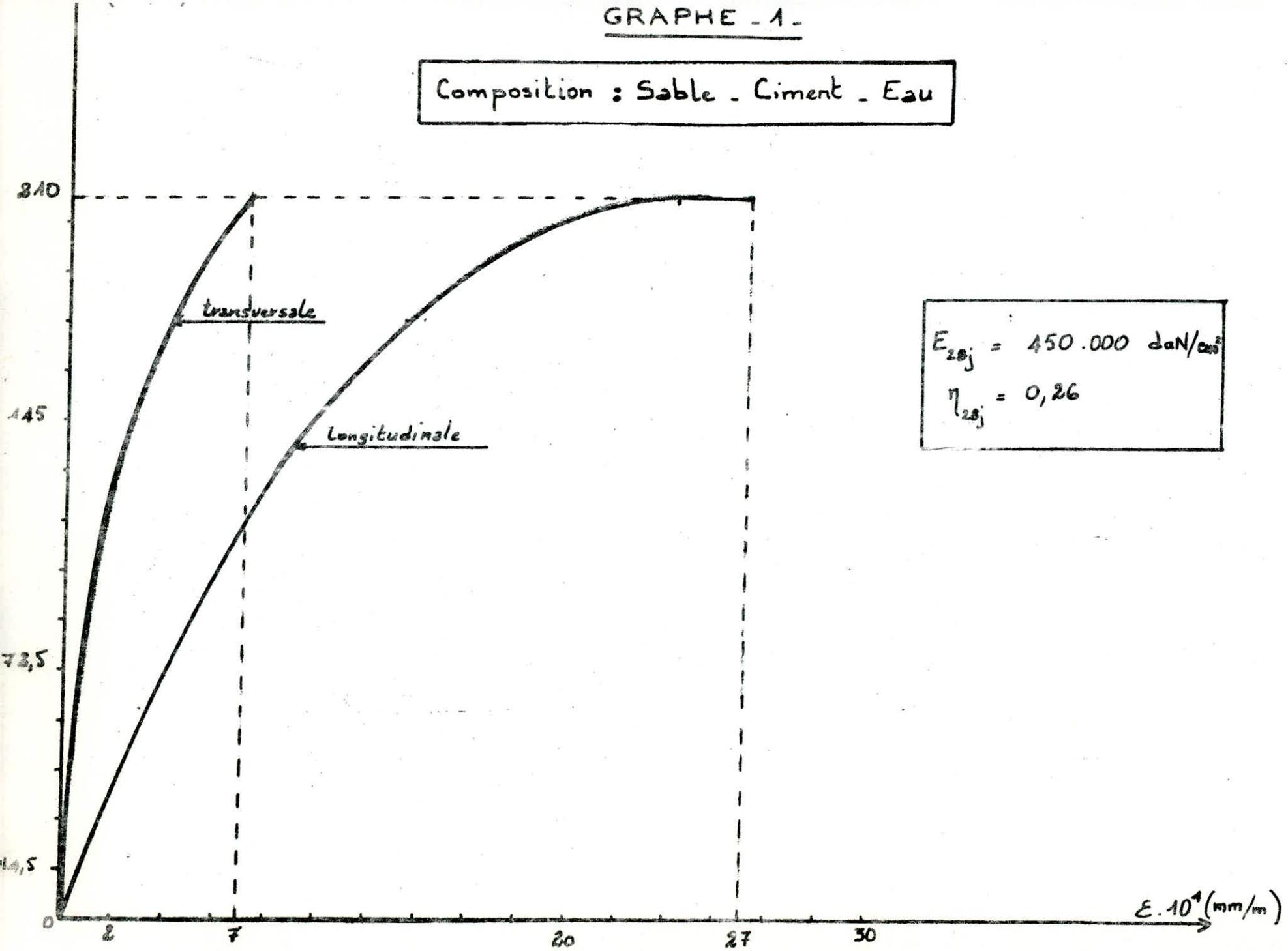
- . Cette étude extensométrique a été faite à 28 jours .
- . Les valeurs des modules d'élasticité et coefficient de Poisson ont été calculées pour une contrainte égale à 30 % de la contrainte de rupture .

ET

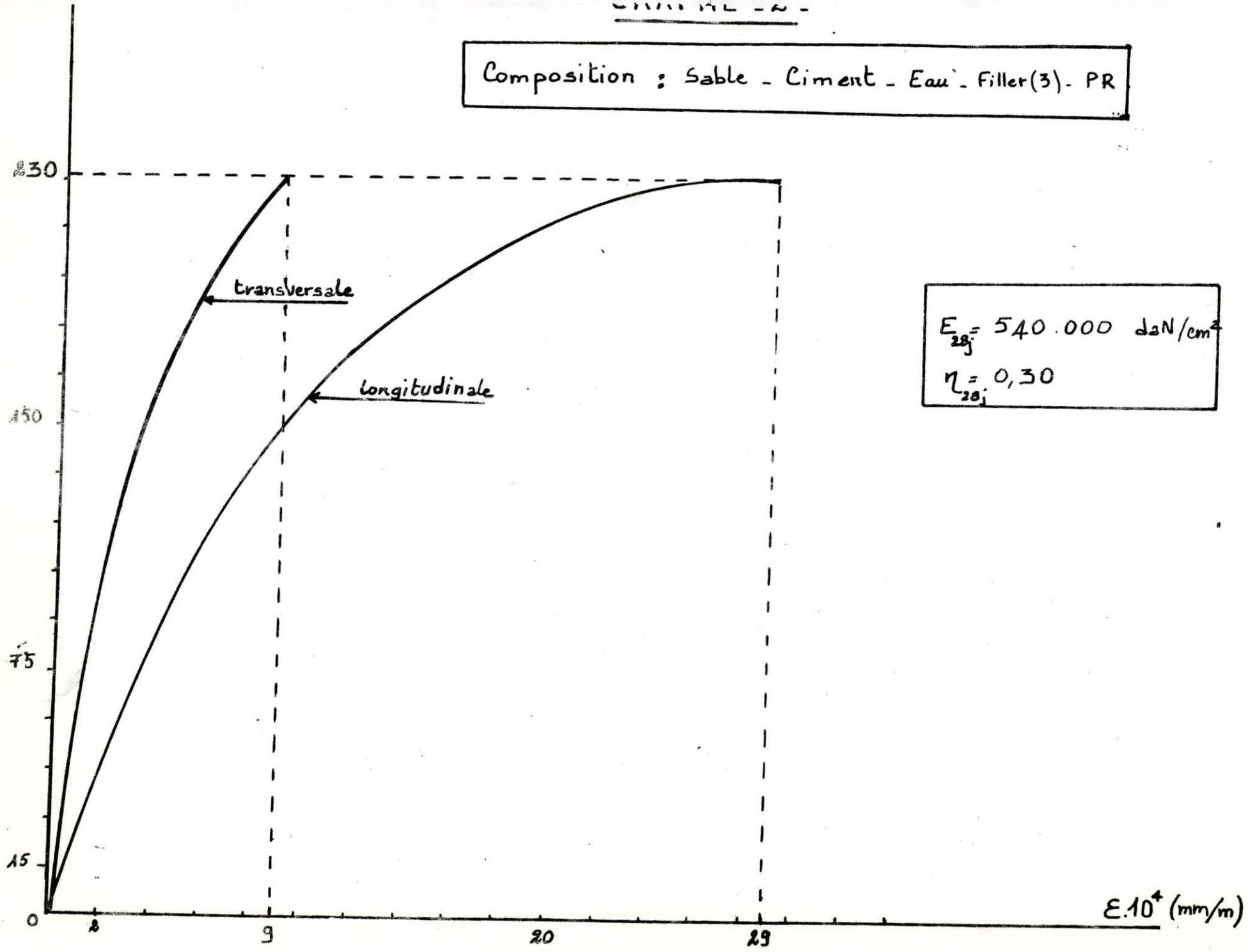
- . Cette contrainte a été appliquée pendant 24 heures .
- . Les valeurs des modules d'élasticité et coefficient de Poisson ont été calculées pour une contrainte égale à 30 % de la contrainte de rupture .

GRAPHE - 1 -

Composition : Sable - Ciment - Eau

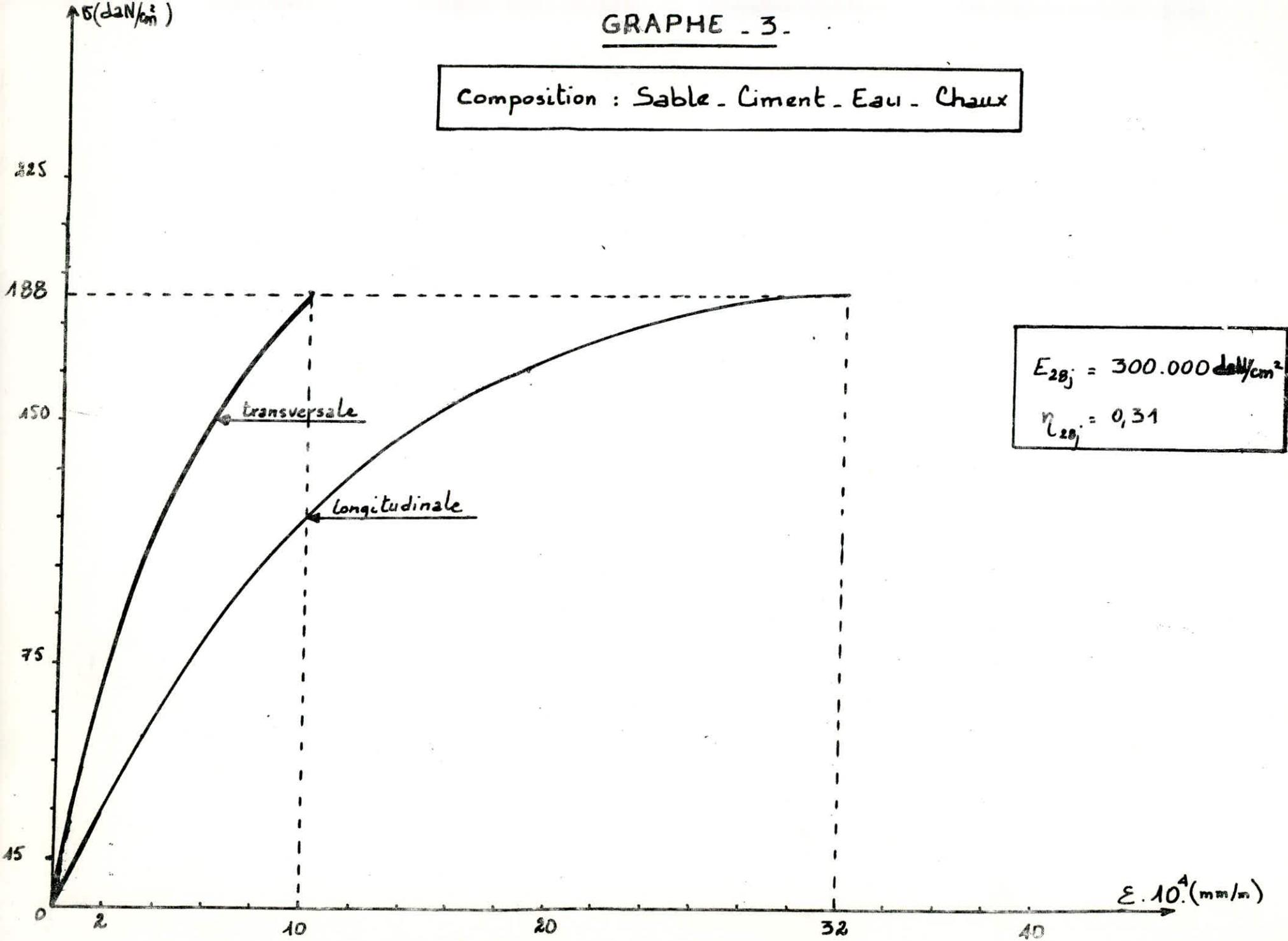


Composition : Sable - Ciment - Eau - Filler(3) - PR



# GRAPHE - 3.

Composition : Sable - Ciment - Eau - Chaux



Un mortier ou un béton, après sa confection, contient normalement un excès d'eau. Cette eau est nécessaire pour la mise en place de la pâte, elle est indispensable pour assurer la prise et le durcissement du ciment, réaction lente qui se poursuit pendant de nombreux mois.

Dans le cas général, la pièce en mortier ou en béton est en contact avec l'atmosphère. L'eau en excès va donc disparaître peu à peu, à la fois par évaporation et par combinaison avec le ciment. Son départ s'accompagne d'une diminution du volume que l'on appelle le retrait.

Il existe plusieurs types de retrait :

- Le retrait d'hydratation .
- Le retrait d'évaporation avant prise.
- Le retrait hydraulique après prise.
- Le retrait thermique .

Dans une pièce mince parfaitement libre, le retrait provoque une diminution des dimensions sans autres dommages. Dans une pièce plus importante, le retrait s'effectue plus rapidement en surface qu'au coeur de la pièce. Il y aura donc un "retrait différentiel" avec apparition de contraintes internes de traction dans le matériau. Comme la résistance à la traction des bétons est relativement faible, il va y avoir rupture et apparition de fissures. Ces fissures sont des portes ouvertes à la corrosion et les armatures de l'élément peuvent être attaquées et détruites à la longue.

Pour toutes ces raisons, il est capital de prévoir et de réduire au maximum l'importance du retrait .

Dans notre cas, il est indispensable d'étudier ce retrait vu les conditions climatiques où sera utilisé notre béton .

On mesure le retrait à l'aide de comparateurs, sur des éprouvettes de dimension  $4 \times 4 \times 16$  cm conservées à l'air libre.

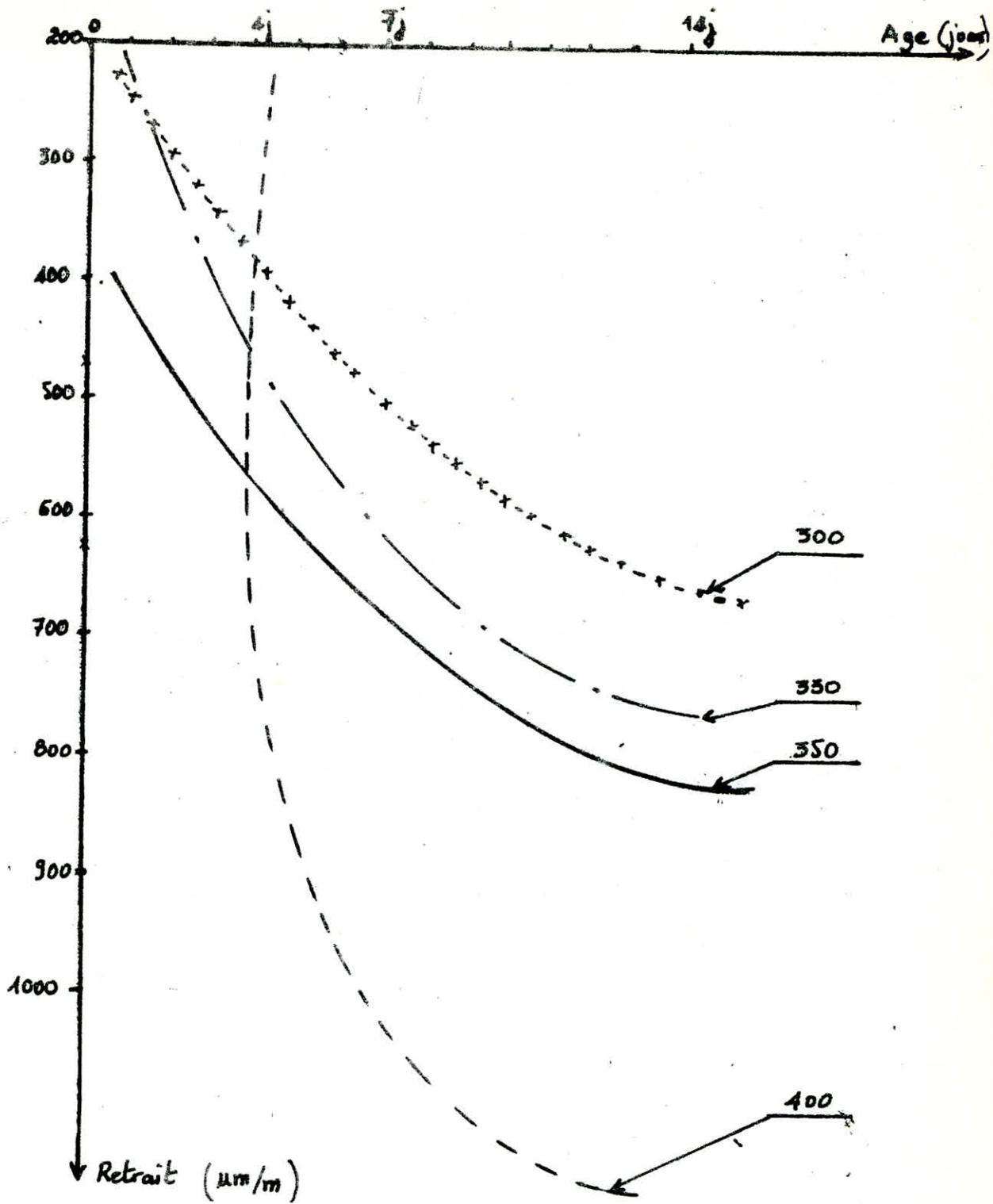
Les mesures du retrait ont été prises à une température variant entre  $15^\circ$  et  $18^\circ$  avec une humidité variant entre 80 et 90 %, donc la pièce où sont installées les éprouvettes ne réunit pas les conditions exigées à un laboratoire ( $20^\circ$  C et 50 % d'humidité).

Nous avons étudié l'influence du dosage en ciment sur le retrait ; les constatations qui s'en peuvent faire sont :

- Le retrait est important les premiers jours.
- Le retrait augmente linéairement avec le dosage en ciment.

Le retrait des bétons est un phénomène naturel, que l'on ne peut supprimer, mais dont on peut réduire l'importance en prenant un certain nombre de mesures et de précautions :

- Choisir, des ciments aussi peu fins que possible, avec un dosage minimal,.
- Choisir le dosage en eau strictement nécessaire (minimal).
- Choisir des agrégats durs.
- Utiliser un pourcentage de ferrailage élevé .
- N'employer les adjuvants qu'à bon escient .
- Assurer une protection contre l'évaporation aussi poussée et aussi prolongée que possible .

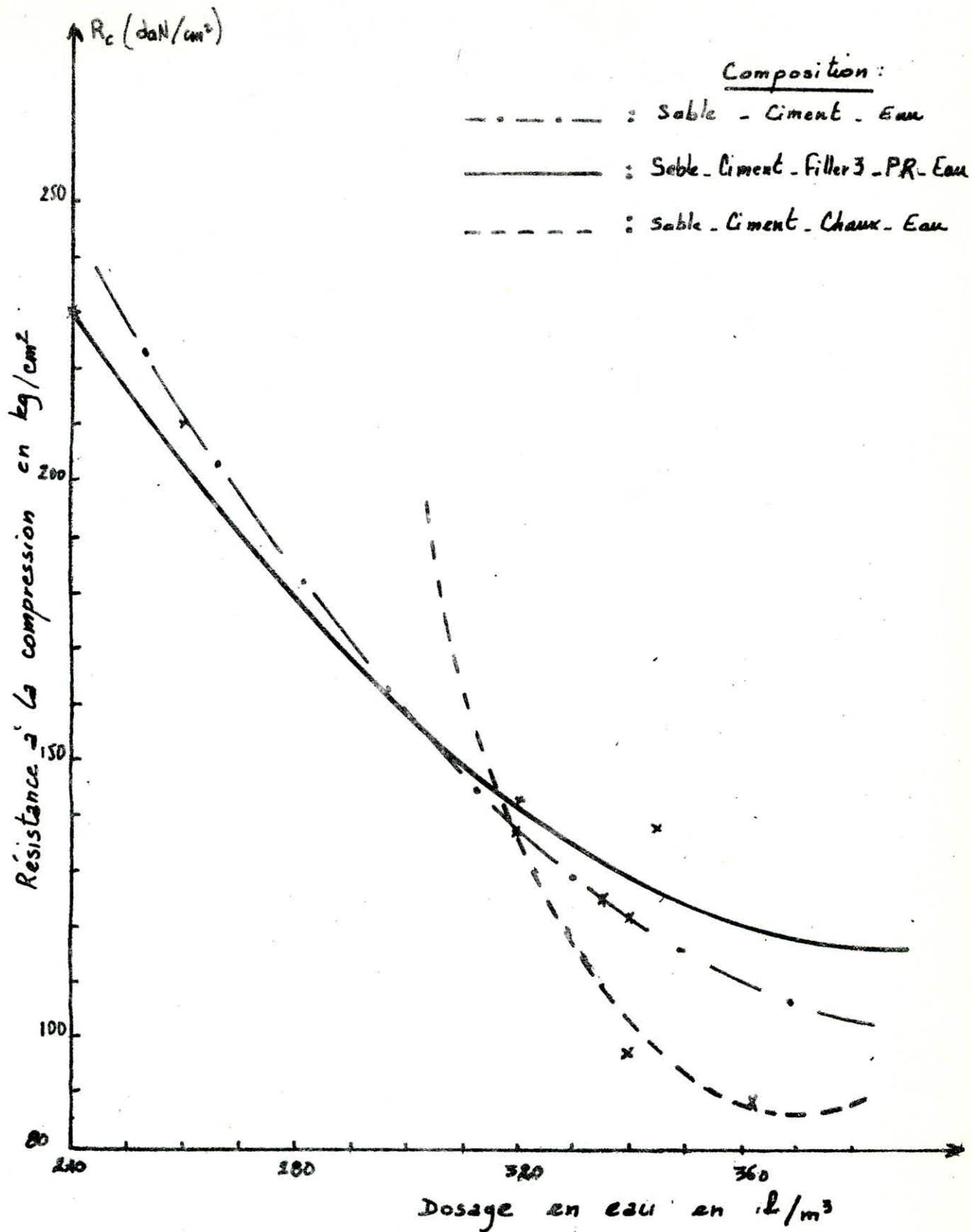


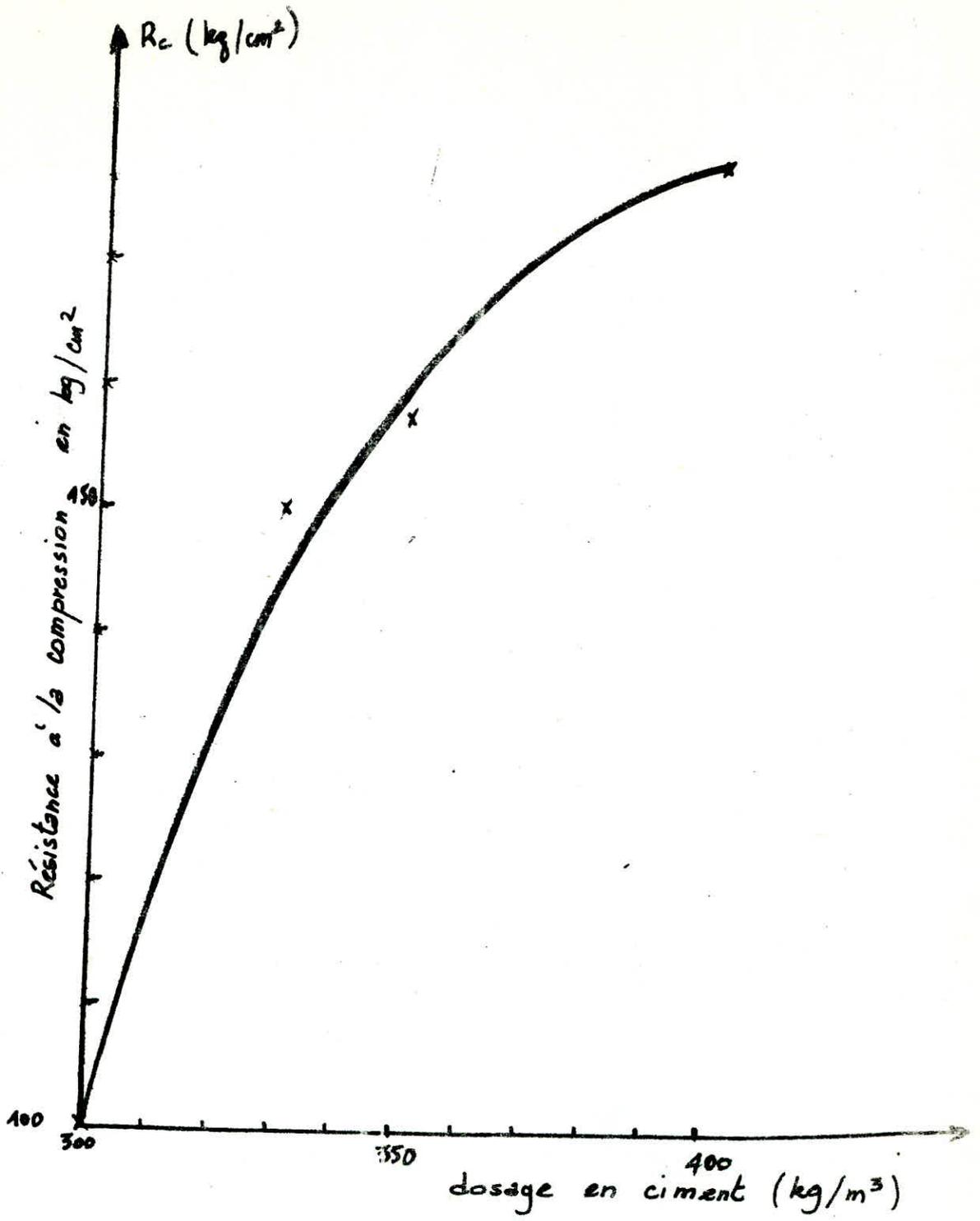
Nous avons tracé deux graphes étudiant respectivement l'influence du dosage en eau et en ciment sur la résistance à la compression du béton.

Graphes - 1 : Influence du dosage en eau .

Graphes - 2 : Influence du dosage en ciment .

Nous constatons aisément que la résistance à la compression du béton est proportionnelle au dosage en ciment et inversement proportionnelle au dosage en eau .





#### ANNEXE - 4

La sédimentométrie est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage.

Les grains de diamètres différents sédimentent dans un milieu liquide au repos à vitesses différentes. La relation entre le diamètre des grains et la vitesse de sédimentométrie est donnée par la loi de Stokes.

On obtiendra des diamètres équivalents car cette relation est applicable pour des grains sphériques .

##### • Appareillage :

- Un densimètre de forme torpille .
- Une éprouvette de 2 litres de contenance .
- Un défloculant : hexamétaphosphate de sodium .
- Un agitateur manuel pour l'homogénéisation de la suspension avant essai.
- Un thermomètre .
- Un chronomètre .

##### • Préparation de l'échantillon :

Mettre à imbiber 20,20 g de matériau sec dans une éprouvette avec la moitié de la contenance de l'éprouvette en défloculant et bien agiter. Remplir jusqu'au repère supérieur avec de l'eau distillée et laisser reposer 24H00 pour faire l'essai.

##### • Execution de l'essai :

La tige du densimètre doit être parfaitement propre pour la formation correcte du ménisque.

Avant de plonger le densimètre, on agite vigoureusement la suspension pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette. On retire l'agitateur et on déclenche le chronomètre puis on plonge lentement le densimètre .

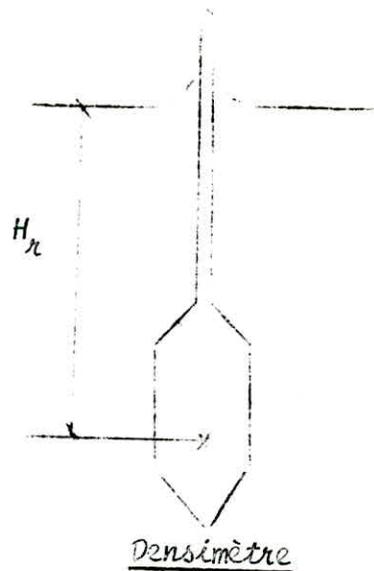
Les lectures sont faites à : 15, 30 secondes, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4, 24 heures, ces temps étant tous comptés, à partir du début de l'essai. Les 2 lectures à 15, 30 secondes, 1 et 2 minutes se font sans retirer le densimètre de la suspension. Pour les autres lectures, plonger le densimètre 15 à 20 secondes avant la lecture. On notera après chaque lecture la température.

• Correction, calculs et présentation des résultats :

On calcule les lectures corrigées  $R_1$ , tenant compte de la température. A l'instant  $t$ , à la profondeur  $H_x$  à laquelle est faite la mesure de densité, il n'y a plus de particules de diamètre supérieur à  $D$ , car leur sédimentation est plus rapide. D'autre part, au même instant  $t$ , la concentration de la suspension en particules de diamètre inférieurs ou égaux à  $D$  à la profondeur  $H_x$  est la même qu'à l'instant initial.

Le calcul de pourcentage d'éléments inférieurs à  $D$ , contenus dans la suspension essayée est :

$$p = 0,276 \times R_1 \quad \text{où : } R_1 : \text{lecture corrigée.}$$



- ANALYSE SEDIMENTOMETRIE -

ECHANTILLON : SABLE DE DUNES - HASI-BAHBAH -

Temps. de lecture	Lecture	Température (°C)	Facteur F	Diamètre	Lecture corrigée	% Grains
15 "	13	18,5	-0,265	0,080	12,735	3,51
30 "	12,5	18,5	-0,265	0,056	12,235	3,37
1 °	12	18,5	-0,265	0,040	11,735	3,23
2 '	11	18,5	-0,265	0,028	10,735	2,96
3 '	11	18,5	-0,265	0,018	10,735	2,96
10 '	11	18,5	-0,265	0,013	10,735	2,96
20 '	11	18,5	-0,265	0,009	10,735	2,96
40 '	11	18,5	-0,265	0,006	10,735	2,96
80 '	10,5	18,5	-0,265	0,004	10,235	2,82
4 h	10,5	18,5	-0,265	0,002	9,735	2,82
24 h	10	15	-0,780	0,001	9,735	2,68

- ANNEXE - 5 -

Nous avons fait l'étude granulométrique du mélange sable + 10% Filler(3).

La courbe montre qu'il y a eu apport de fines d'où correction granulairre du sable par le filler .

Dossier : **BETON DE SABLE**

Date :

N° de l'échantillon : **Sable de dunes + Filler (3)**

S. 6 — TAMISAGE

Opérateur :

Imp. Nat. Alg. - Bld

POIDS de l'échantillon	DIMENSIONS		POIDS DES REFUS partiels (g)	POIDS DES REFUS cumulés (g)	REFUS cumulés en %	COMPLE- MENT à 100 des refus cumulés	TAMISAT en %	O B S E R V A T I O N S
	Passoires (mm)	Tamis (mm)						
Sable : 1310g		1,00	0,18	0,18	0,01		99,99	$M_f = 0,83$
+		0,63	5,44	5,62	0,37		99,63	
Filler(3): 220g		0,425	256,70	262,32	17,14		82,86	
		0,25	763,46	1026,02	49,90		50,10	
<u>Poids total:</u>		0,20	149,46	1175,48	76,83		23,17	
1530 g		0,16	89,52	1265,00	82,68		17,32	
		0,10	54,80	1319,80	86,26		13,74	
		0,08	60,74	1380,54	90,23		9,77	

# B. E. T.

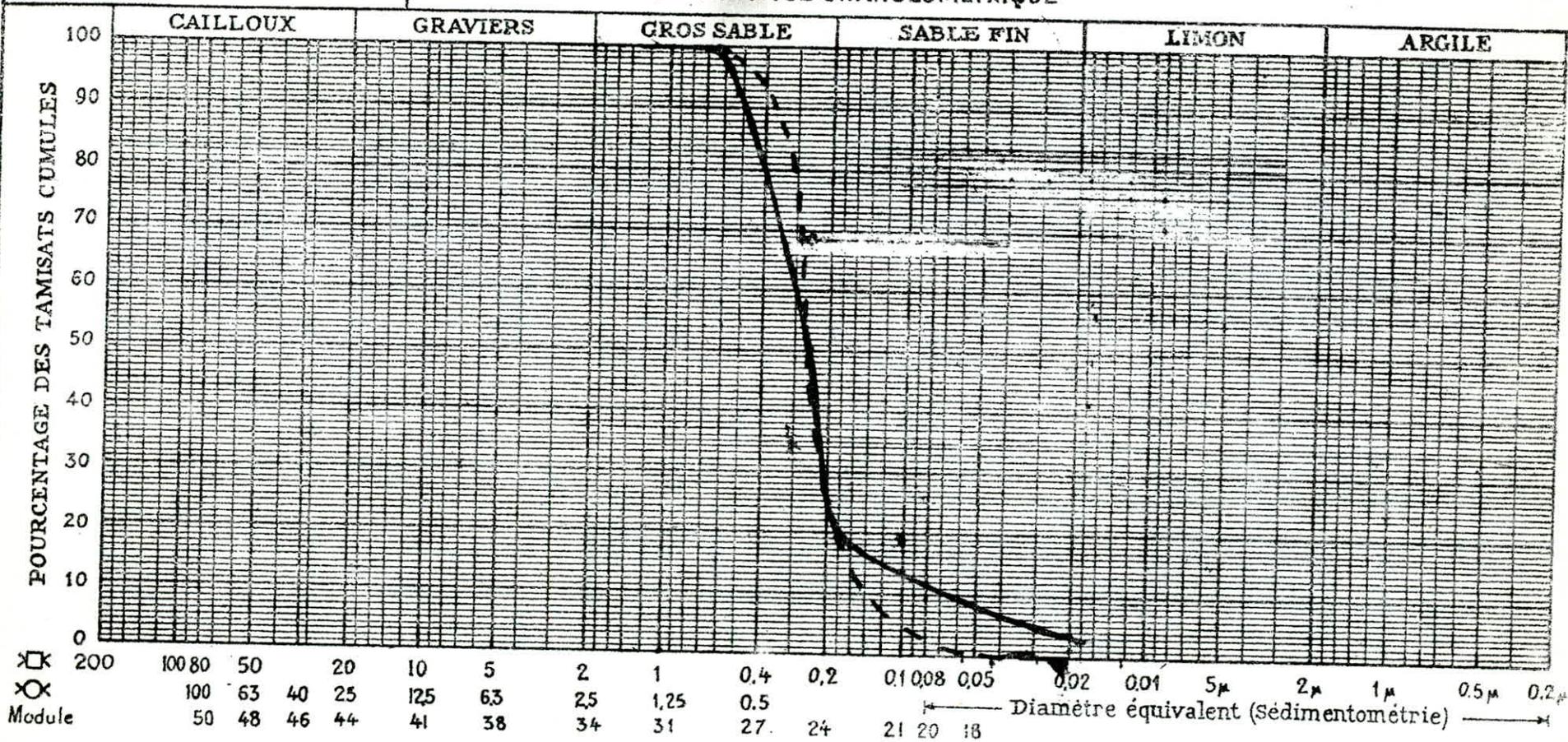
## Laboratoire Géotechnique

Sable de Dunes 0/0,425 + 10% Filler(3) calcaire "tamisato,1"

Désignation des échantillons { N° \_\_\_\_\_  
 N° \_\_\_\_\_  
 N° \_\_\_\_\_

DOSSIER :

S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE



	% < 80 $\mu$	S. 8 LIMITES D'ATTERBERG			S. 20 E. S.
		L. L.	I. P.	L. R.	
Ech. _____	10%				
Ech. _____					
Ech. _____					

--- : Courbe Granulométrique du sable.  
 ——— : Courbe Granulométrique du sable + 10% Filler 3

