

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: genie_civil

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

Etude du Comportement
Structurel du Beton de
Sable dunaire

Proposé par :

cnerib

Etudié par :

A. Aktouche

F. Rouani

Dirigé par :

A. charif

PROMOTION : Juin 86

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبية — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

" L'expérience est la source
unique de vérité, elle seule
peut vous apprendre quelque
chose de nouveau "

" HENRI POINCARÉ "

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: genie_civil

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

Etude du Comportement
Structural du Beton de
Sable dunaire

Proposé par :

cnerib

Etudié par :

A.Aktouche

F.Rouani

Dirigé par :

A.Charif

PROMOTION : Juin 86

Département : Genie Civil هندسة مدنية مصلحة :
Promoteur : Mr A. CHARIF مع شريف مرصع :
Elève Ingénieur : AKTOUCHE A اکتوش عبد الوهاب تلميذ :
ROUANI .F رواني فاطمة

الموضوع : السلوك البنيوي لبيطون رمل الكثمان

الملخص : يتمثل مشرونا هذا في دراسة السلوك البنيوي لبيطون رمل الكثمان وقد
اجرينا ثلاث سلاسل من التجارب في الخير :

- تجارب التقلص ;

- تجارب الالتصاق بين الفولاذ والبيطون

- تجارب خاصة لبعض العناصر البنيوية ;

1، عارضة من بيطون رمل الكثمان المسلح ، واقعة تحت تأثير الانعطاف البسيط

2، عارضة من البيطون رمل الكثمان المسلح ، واقعة تحت تأثير القصر

Sujet : Comportement Structurel du Béton de sable dunaire

Resumé :

Notre projet de fin d'étude consiste en l'étude du comportement structurel du béton
de sable dunaire. Trois series d'essais ont été effectués au laboratoire

- Essais de retrait

- Essais d'adhérence

- Essais sur éléments structurels ;

* Poutres en béton de sable armées soumise à la flexion.

* Poutres en béton de sable armées soumise au cisaillement

Subject : Structural behaviour of sand concrete

Abstract :

the aim of this project is the study of the structural behaviour of "dune sand"
concrete .

Three series of tests were carried out :

- Shrinkage tests

- Adhesion tests

- Structural tests :

* Reinforced sand concrete deans subjected to flexure

* Reinforced sand concrete deans subjected to shear

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Les remerciements les plus simples sont les plus sincères.

Merci Monsieur CHARIF !
Merci Melle CHIKHI !
Merci Monsieur MOUAICI !

Que tous - ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

* D E D I C A C E S *

A nos parents

A nos frères et soeurs

A tous nos amis (es)

WAHAB -- FATIMA

<u>CHAPITRE I : GENERALITES</u>	
1.1 Introduction	Page 1
1.2 Objectif de l'étude	Page 2
1.3 Présentation de l'étude	Page 3
1.4 Synthèse Bibliographique	Page 4
<u>CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DU BETON</u>	
<u>DE SABLE</u>	Page
2.1 Sable at Filler	Page 7
2.2 Ciment	Page 9
2.3 Acier	Page 12
2.4 Compositions de Béton retenues	Page 13
<u>CHAPITRE III : ETUDE DU PHENOMENE DU RETRAIT</u>	Page 15
3.1 Introduction	Page 15
3.2 Effets du retrait	Page 16
3.2.1 Retrait de déssiccation interne	Page 16
3.2.2 Retrait d'évaporation avant prise	Page 16
3.2.3 Retrait hydraulique après prise	Page 17
3.2.4 Retrait thermique	Page 17
3.3 ETUDE EXPERIMENTAL	Page 18
3.3.1 But de l'essai	Page 18
3.3.2 Présentation de l'essai	Page 18
3.3.3 Résultats de l'essai	Page 20
3.4 Intérprétations des résultats	Page 21
3.5 Conclusion	Page 22
3.6 Remèdes a adopter pour atténuer les effets du retrait	Page 23

<u>CHAPITRE IV : ETUDE DU PHENOMENE D'ADHERENCE</u>	Page 26
4.1 Introduction	Page 26
4.2 Rôle de l'adhérence en béton armé	Page 27
4.3 Etude expérimentale	Page 29
4.3.1 Présentation générale	Page 29
4.3.2 Corps d'épreuves	Page 29
4.3.3 Réalisation des essais	Page 30
4.3.4 Résultats	Page 34
4.4 Interprétation des résultats	Page 39
4.3.1 Influences agissant sur le taux d'adhérence..	Page 39
4.5 CONCLUSION	Page 47

CHAPITRE V : ESSAIS SUR ELEMENTS STRUCTURELS EN BETON DE SABLE :

POUTRES :

FLEXION - CISAILLEMENT	Page 48
5.1 Introduction	Page 48
5.2 Programme des essais	Page 48
5.3 Observations expérimentales	Page 51
5.3.1 Morphologie des fissures	Page 51
5.4 Etude théorique	Page 56
A. Poutre soumise à la flexion	Page 56
B. Poutre soumise au cisaillement	Page 61
5.5 Résultats des différents essais	page 64
5.6 Interprétation	page 68
5.7 Conclusion	Page 69
CONCLUSION GENERALE	Page 71

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

GENERALITES

INTRODUCTION :

Le besoin en logement est ressenti avec acuité dans notre pays, l'ampleur des besoins et l'économie conditionnent généralement le choix des matériaux dans le domaine du bâtiment.

La valorisation des matériaux locaux constitue une des solutions favorables pour la construction notamment dans les hauts plateaux et le Sud, et ce dans le but d'une utilisation rationnelle et étendue des ressources locales surabondantes et inutilisables dans certaines régions (sable de dune, chaux, plâtre).

En ce sens le béton de sable pourrait être un matériau adéquat en particulier dans les régions du Sud Algérien.

En effet le matériau devrait permettre d'une part de réduire l'augmentation constante de consommation de gravillons alluvionnaires et d'autre part d'utiliser divers sables du Sud (non utilisables dans le béton classique).

OBJECTIFS DE L'ETUDE :

L'objectif de cette étude est de compléter la thèse intitulée béton de sable structuré présentée en Janvier 86 par Melles CHIKHI et OUCHERIF élèves ingénieurs à l'Ecole Nationale polytechnique d'Alger.

Afin de déterminer l'aspect structurel de ce nouveau matériau nous avons fait varier le nombre de paramètres qui influencent le phénomène de l'adhérence, de la flexion et du cisaillement.

La méthodologie suivie consiste à étudier le retrait d'une manière détaillée. La deuxième étape a permis d'évaluer les contraintes d'adhérences et ce dans le but d'une association béton de sable Acier.

Enfin la troisième étape étudie le comportement structurel en flexion et en cisaillement sur des poutres.

PRESENTATION DE L'ETUDE :

Notre travail est divisé en quatre parties :

- La première partie consiste à étudier brièvement les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des différents composants du béton de sable structural : sable, ciment, *acier*.
- Dans la deuxième partie, une étude détaillée du retrait a été effectuée sur éprouvettes prismatiques en faisant varier les paramètres suivants :
Dimensions, humidité relative, température, formule de base
- La troisième partie des essais d'adhérence à 28 jours ont été effectués sur des éprouvettes de 10 x 10 x 40 cm et 15 x 15 x 40 cm en jouant sur les paramètres suivants :
Aciers (RL, HA), états de surface (poli, , corrodé), diamètres des barres, longueurs d'ancrage des barres d'aciers et la résistance à la traction du béton utilisé.
- La dernière partie consiste à étudier le comportement structural en flexion et en cisaillement sur des poutres à section rectangulaire de dimension 12,5 x 22 cm et de portée 2,20 m.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE :

Pour notre travail nous nous sommes référés aux trois études sur le béton de sable.

- Etude présentée par les laboratoires régionaux des ponts et chaussées de Bordeaux et Blois en 1982.
- La thèse 1 : Béton de sable.. sable de dunes. présentée à l'E.N.P.A par Melles CHELGHOUH et LOUATI en Juin 1985.
- La thèse 2 : Béton de sable structurel présentée à l'E.N.P.A par Melles CHIKHI, OUCHERIF en Janvier 1986.

A PERCU DU RAPPORT DU L.C.P.C DE BORDEAUX ET BLOIS.

Ce rapport présente une étude de base et quelques applications pour l'utilisation des sables de diverses natures et origines, ainsi que la création de produits nouveaux dérivés du béton de sable.

RESUME DE LA THESE " BETON DE SABLE "

Une étude en laboratoire a permis de déterminer :

- Les caractéristiques de sable utilisé
- La formule de base (ciment, sable, eau)
- L'influence des fillers et adjuvants sur la formule de base.

RESUME DE LA THESE " BETON DE SABLE STRUCTUREL "

L'objectif de ce travail expérimental consistait à déterminer :

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

Pour plus de précision se référer aux thèses précédentes.

**CARACTERISTIQUES
DES COMPOSANTS
DU BETON
DE SABLE DÛNAIRE .**

INTRODUCTION

Le béton de sable est un matériau composite, Hétérogène, ses caractéristiques et ses comportements dépendent donc des propriétés de ses constituants :

SABLE - CIMENT - EAU.

Nous avons procédé aux essais classiques afin d'étudier les propriétés physiques chimiques et mécaniques des constituants du béton du sable dunaire.

Tous les essais ont été fait conformément aux normes françaises AFNOR.

I. ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU SABLE DE DUNES :

1- Etude granulométrique :

La courbe granulométrique traduit la distribution pondérale des granulats élémentaires composant un granulat donné.

L'essai granulométrique est une opération de criblage qui consiste à tamiser à travers une série de tamis d'ouverture de mailles décroissantes, une quantité de 2000 g de sable sec sorti de l'étuve et de peser le refus de chaque tamis.

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

La courbe granulométrique rapporte les renseignements suivants :

- Les limites D et d des granulats
- La plus ou moins grande proportion en éléments fins
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE -

DATE : 19.02.86

LIMENSIONS DES TAMIS (mm)	POIDS DES REFUS PARTIELS (g)	POIDS DES REFUS CUMULES (g)	REFUS CUMULES EN (%)	TAMISAT EN (%)	OBSERVATIONS
1,00	0,26	0,26	0,013	99,987	
0,63	1,78	2,04	0,102	99,893	
0,425	79,86	81,9	4,095	95,905	
0,315	361,96	443,86	22,193	77,807	
0,25	772,04	1215,9	60,795	39,205	
0,20	358,18	1574,08	78,704	21,296	
0,16	247,22	1821,3	91,065	8,935	
0,125	99,56	1920,86	96,043	3,957	
0,10	26,44	1947,3	97,365	2,635	
0,08	31,04	1978,34	98,917	1,083	
FOND	17,06	1995,4	99,770	0,23	

- 6 -

N.B POIDS DE L'ECHANTILLON : 2000 g.

TABLEAU N°1

E.N. P. A.

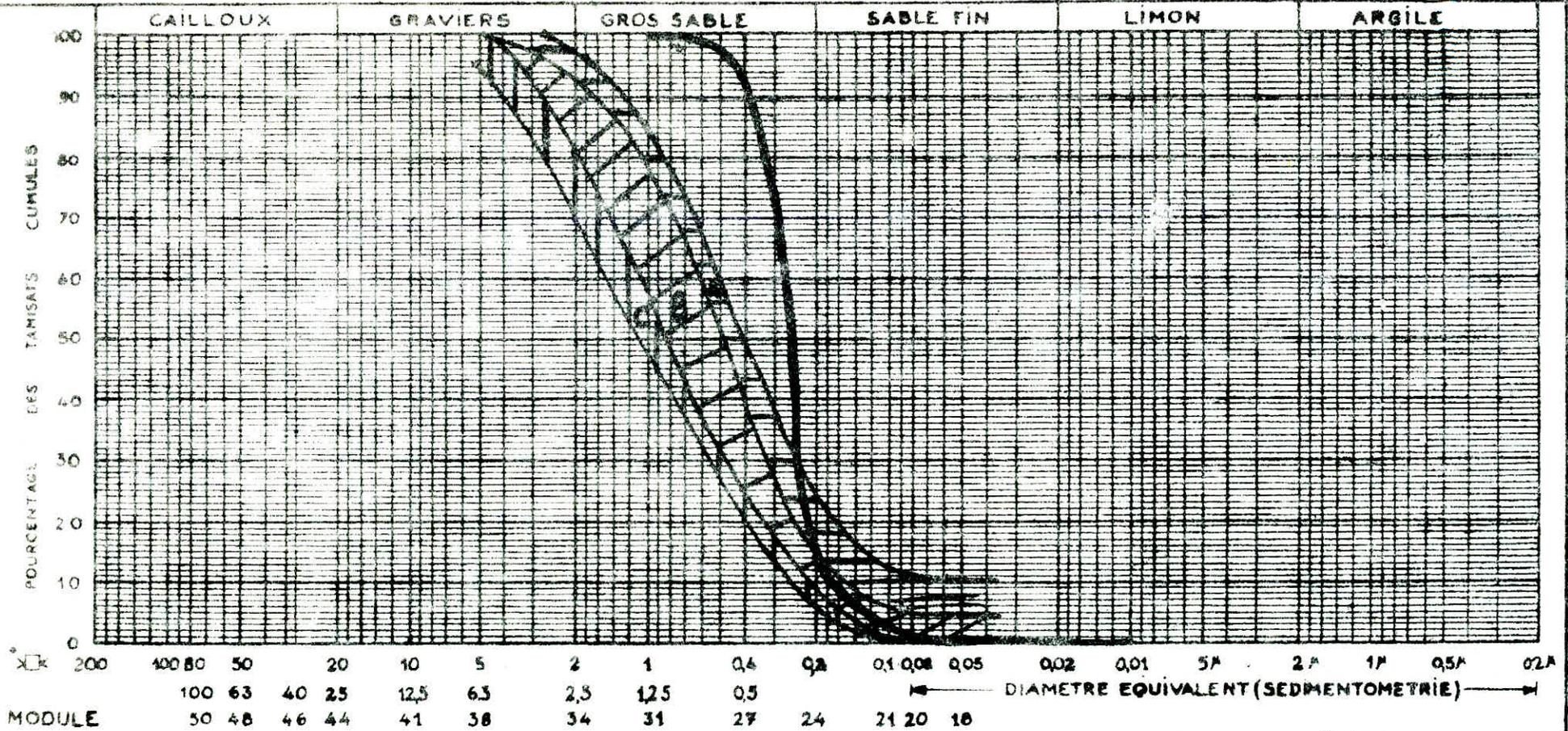
MUSSEIN-BEY - ALGER

COURBE GRANULOMETRIQUE

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS { N° N° SABLE DUNAIRE DE HASSI BAHBAH N°

DOSSIER

S6 et S7 ANALYSE GRANULOMETRIQUE



	%	S.8 LIMITES D'ATTERBERG			S.20 E.S.
		W.L.	W.P.	W.R.	
Ech.	3,5				
Ech.					
Ech.					

Le sable de Hassi Bahbah est un sable de granularité CONTINUE.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau n°1 ce qui nous a permis de tracer la courbe N°1.

1.1 CLASSE DU SABLE

Par définition un granulat est dit "granulat d/D "

D et d étant respectivement la plus grande et la plus petite des dimensions.

Le refus sur le tamis de maille D doit être compris entre 1 et 15 %.

Le refus sur le tamis de maille 1,56 D doit être considéré nul.

D'après les résultats obtenus le sable utilisé est de classe O/O,425

1.2 MODULE DE FINESSE

Le module de finesse d'un granulat est égal à $\frac{1}{100}$ de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante.

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

le sable étudié à un module de finesse.

$$Mf = 1,13$$

1.3 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SABLE

Des essais ont été effectués afin de déterminer les caractéristiques physiques du sable étudié.

Ces essais ont donné les résultats suivants :

Compacité	59,67 %	Masse spécifique	2536 kg/m ³
Porosité	40,00 %	Densité apparente	1476 kg/m ³

1.4 EQUIVALENT DE SABLE (E.S)

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

L'essai à donné les résultats suivants

L' E.S	vis.uel moyen	Esv = 92 %
L' E.S	avec piston moyen	E sp = 83 %

Donc le sable étudié est un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses.

1.5 SEDIMENTOMETRIE

Afin de compléter l'analyse granulométrique nous avons procédé à une analyse sédimentométrique.

Cette analyse a donné les résultats suivants :

Temps de lecture	lecture	t° (°c)	Diamètre	lecture corrigée	% de grains
15 ^h	13	18,5	0,080	12,375	3,51
30 ^h	12,5	"	0,056	12,235	3,37
1mm	12	"	0,040	11,735	3,23
2 mm	11	"	0,028	10,735	2,96
3 mm	11	"	0,018	10,735	2,96
10 mm	11	"	0,013	10,735	2,96
20 mm	11	"	0,009	10,735	2,96
40 mm	11	"	0,006	10,735	2,96
80 mm	10,5	"	0,004	10,235	2,82
4 h	10,5	"	0,002	9,735	2,82
24 h	10	15	0,001	9,735	2,68

1.6 ANALYSE CHIMIQUE

Le but de l'analyse chimique est de rechercher les matières organiques (sulfates, sulfures , calcaires) s. ils existent et qui sont à partir d'une certaine proportion nuisibles au béton.

Cette analyse a montré que le sable dunaire de HASSI BAHEBAH ne contient pratiquement pas de matières organiques, ni de sulfures, ni de sulfates juste quelques traces de calcaire.

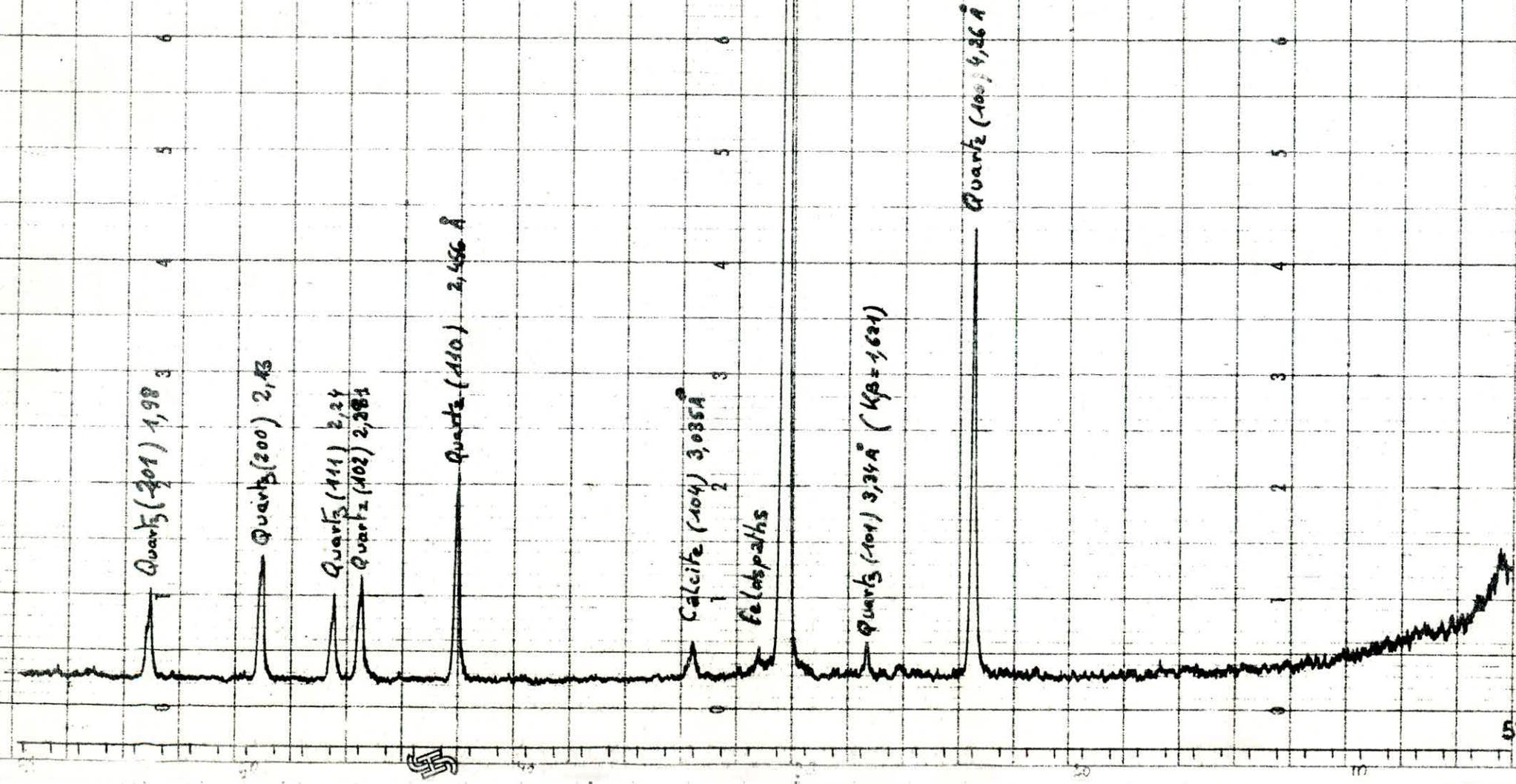
1.7 ANALYSE DIFFRACTOMETRIQUE

Nous avons procédé à l'analyse diffractométrique du sable dunaire de HASSI BAHEBAH et de fillers calcaires de Bab El oued (tamisat du tamis 0,1 mm). La poudre obtenue par broyage du sable présente une teinte légèrement rose, due à la présence des hydroxydes de fer de la patine de goethite des particules Fe₂O₃ H

Ces hydroxydes ne sont pas décelés sur le diffractomètre.

Rég. Kv, mA : 10
 Fen. entr. : ✓
 Sort. : 200
 H.I. compt. : 8
 Imp. min : $1 \cdot 10^4$
 En. Stat. : 2 1/2
 Discrim : ✓

Etalon : *neg*
 Vit. gonis. : *1/2*
 pap. : *1/2*
 pas à pas ° min :
 Temps comptage :
 Nbre impul. :
 Allen : X
 J.H.D - 2-3-86



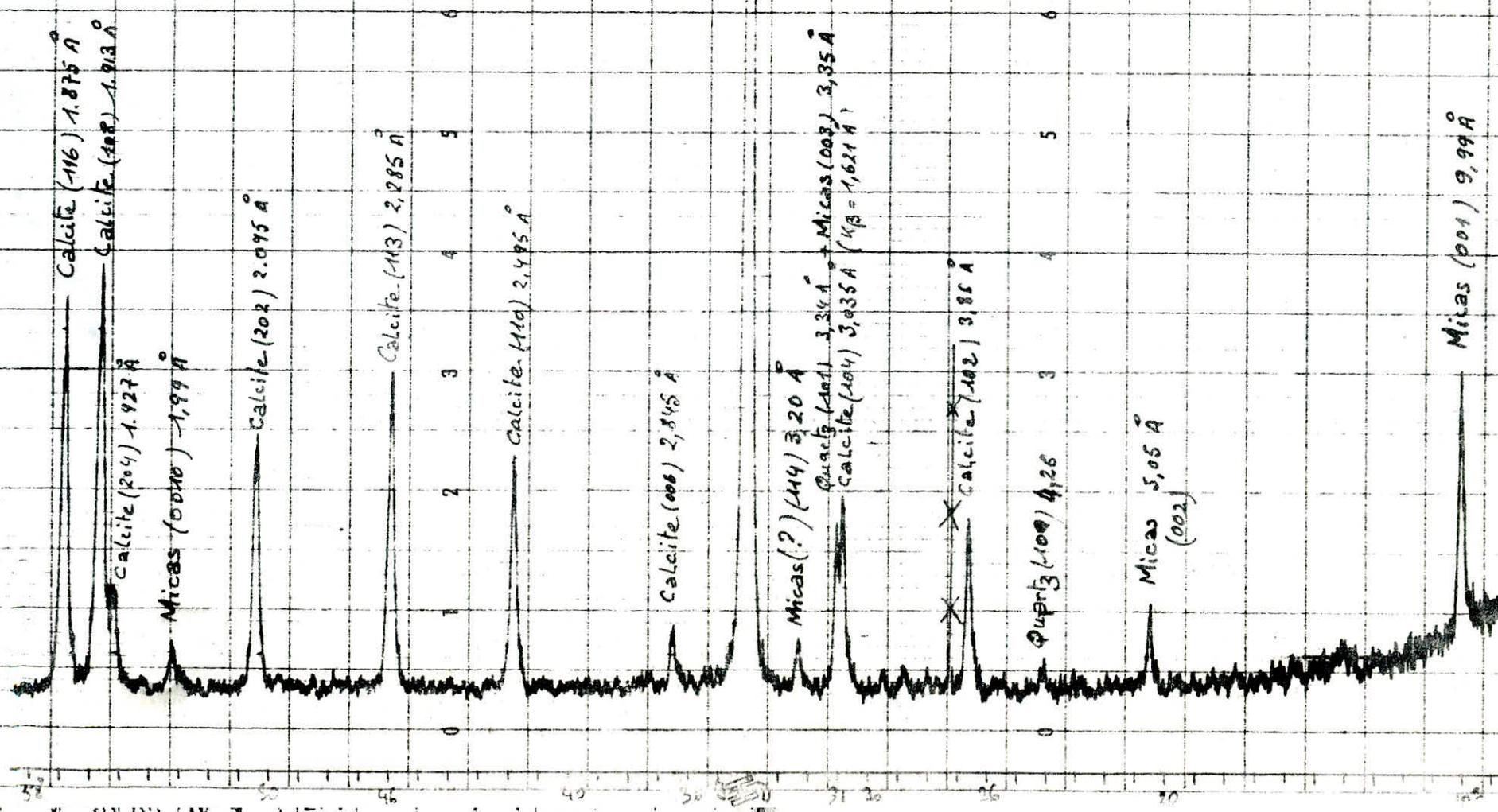
5°(2θ)

Reg. Kv, mA : 35 kV - 10 mA
 Fon. centr. : 1°
 Ser. : 1/4"
 H. T. compl. : 1135 V
 Imp. min : 4.10³
 En. Stat. : 3%
 Discrim. : /

Eclon : - neut.
 Vit. gonis. : 1/4° 20/min
 pap. : 1/8 cm/min
 pas à pas : -
 Temps complage : -
 Abre impul. : -
 Aiter : x 2

JHD. 2-3-86

Calcite (104) 3,335 Å



L'analyse a été effectuée avec le rayonnement du cobalt $K_{\alpha} = 1,79 \text{ \AA}$ afin de détecter les phases cristallines, nous avons obtenu les résultats suivants (voir diffractogramme et 2).

" Filler" : calcite supérieure à 90 %

Micas inférieure à 10 % (pas de précision sur la nature exacte)

Quartz en trace.

" Sable" : Quartz à 99 %

Calcite et feldspath en trace

Le diffractogramme met en évidence pour le sable

a) - L'absence de toute phase argileuse, aucune réflexion n'est enregistrée entre 5 et 14° , là où peuvent se situer les principales raies des argiles telles que :

Bentonites 6°

Chlorites $7,3^{\circ}$

Illite $10,3^{\circ}$

Kaolinite $14,7^{\circ}$

b) - La prépondérance du quartz (99 %) ; en effet toutes les réflexions sont celles du spectre du quartz alpha (si O_2 de basse température). On enregistre huit réflexions de longueurs d'ondes différentes.

$1,98 \text{ \AA}$; $2,13 \text{ \AA}$; $2,24 \text{ \AA}$; $2,284 \text{ \AA}$; $2,456 \text{ \AA}$; $8,3 \text{ \AA}$; $3,34 \text{ \AA}$;
et $4,26 \text{ \AA}$

c) - Des traces de calcites (CO_3Ca) par une faible réflexion ($3,035 \text{ \AA}$) à 34° il y a donc dans le sable quelques fragments de spath sans doute moins de 1 %.

CONCLUSION

Le sable de HASSI BAHBAH étudié présente certains inconvénients, cependant il est possible de lui apporter les améliorations suivantes : Correction granululaire, ajout de fines (pour une meilleure ouvrabilité) maximiser la compacité.

2. CIMENT

Un ciment utilisé en béton armé réclame les qualités suivantes :

- Haute résistance mécanique

- Meilleure onctuosité de la pâte à l'eau pour permettre une mise en oeuvre correcte et facile.

RESULTATS DES ESSAIS :

\emptyset (mm)	Poids/ (kg/cm) longueur	contrainte limite apparente d'élasti- cité (kg/cm ²)	Contrainte de rupture (kg/cm ²)
T 8	0,47	4576	7261
T 10	0,71	5860	7394
T 12	0,89	4952	6676
T 14	1,21	4474	6720
T 16	1,60	5354	7723
\emptyset 12	0,93	3244	4666

4 - COMPOSITIONS DU BETON

Des différentes compositions présentées par l'étude précédemment faite (voir bibliographie),

Nous avons retenu deux formules pour la suite de l'étude sur la base des critères suivants:

- Critère économique : dosages minimum en fillers et en ciment
- Critère technique : composition simple, résistance optimale, meilleure maniabilité possible pour faciliter la mise en oeuvre, minimum de dosage en eau pour obtenir les meilleurs performances mécaniques.

FORMULE I.

Sable	Ciment	eau
1530 kg/ m ³	330 kg/ m ³	260 l/ m ³

FORMULE II.

Sable	Ciment	eau
1310 kg/m ³	330 kg/m ³	240 l/ m ³

F I L L E R	ADJUVANT PR
190 kg/ m ³	4,95 kg/ m ³

R E M A R Q U E

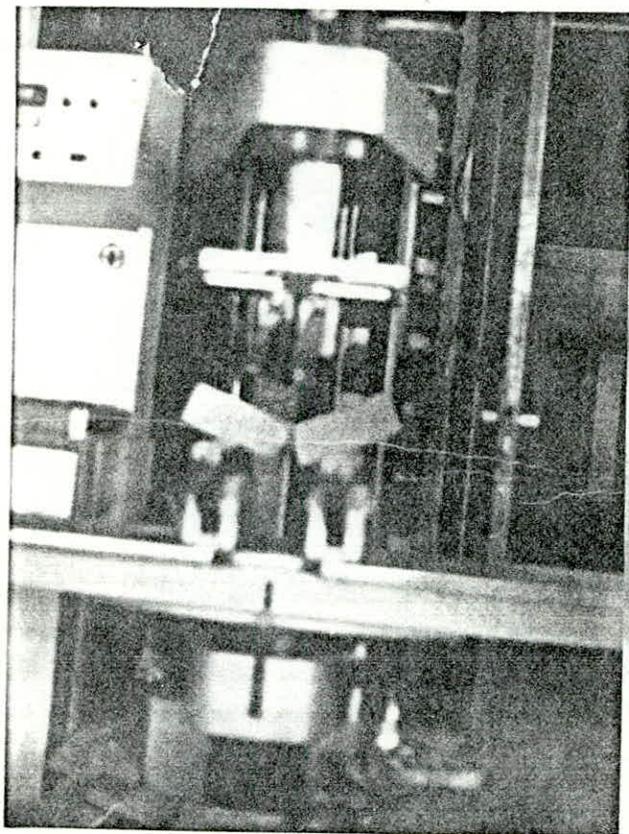
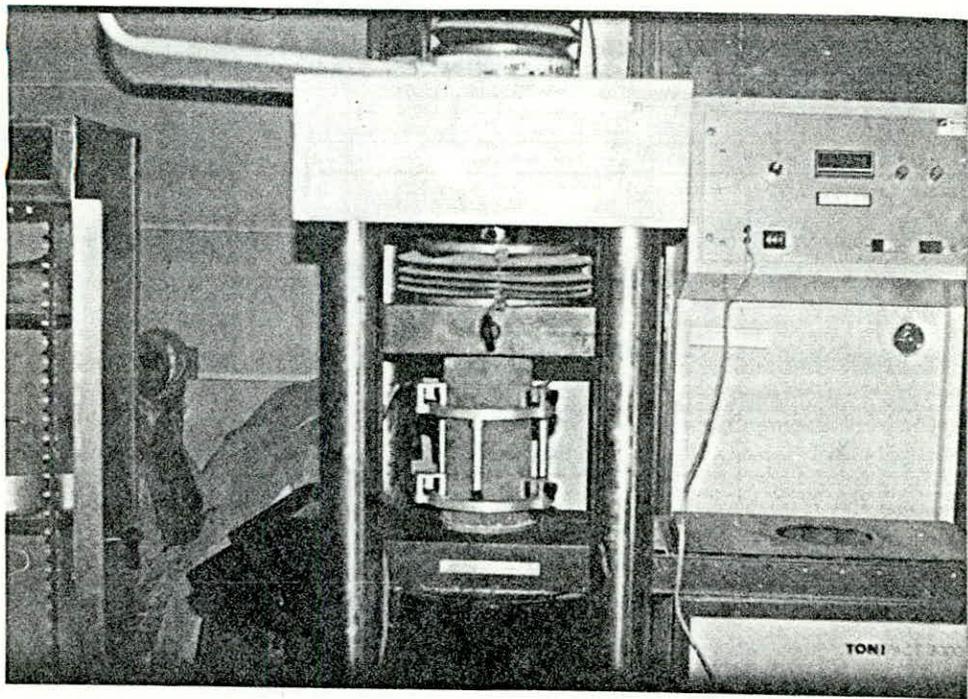
L'adjuvant " medaplast PR " utilisé est un plastifiant reteneur d'eau il augmente la viscosité du béton frais et donc sa cohésion.

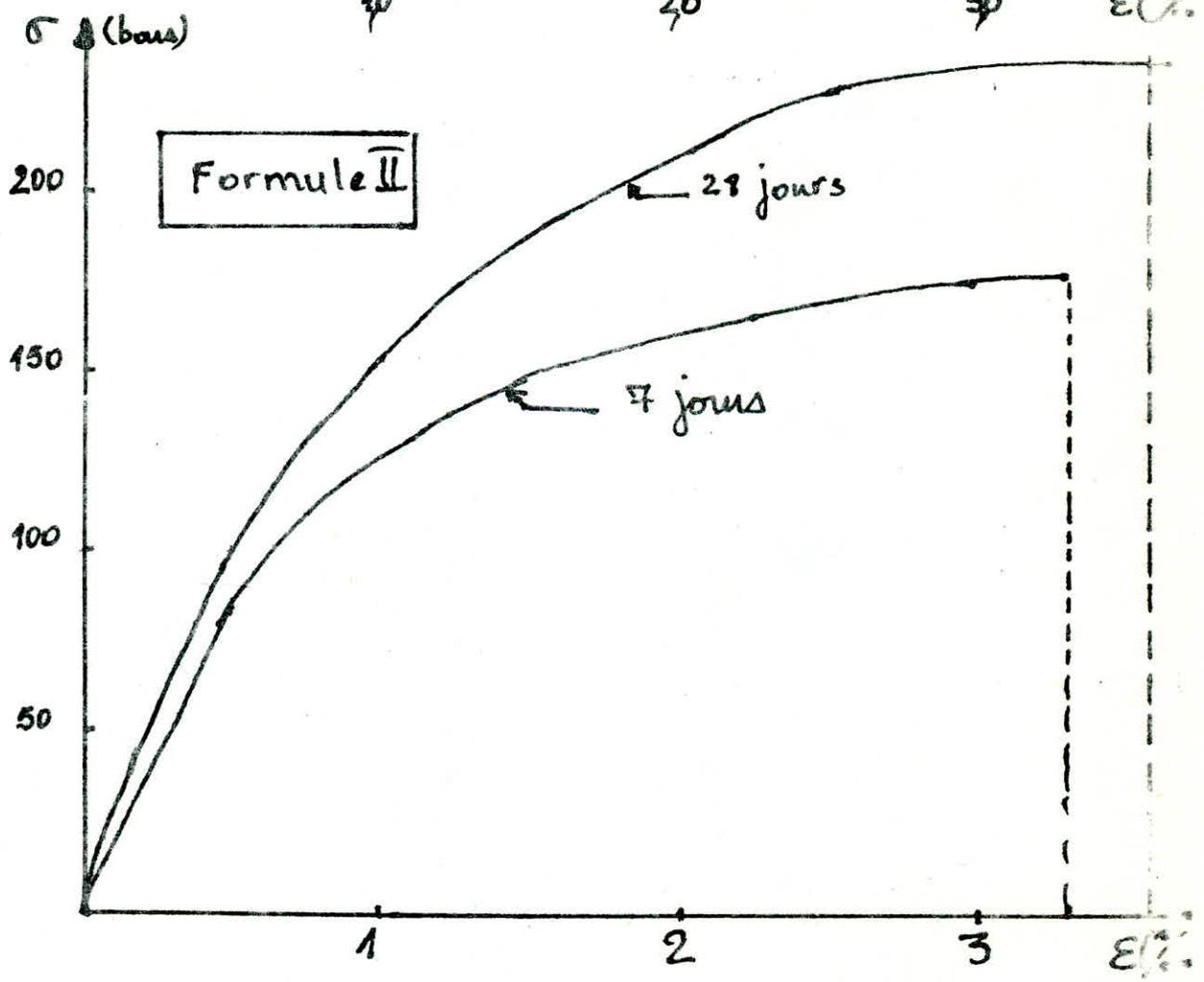
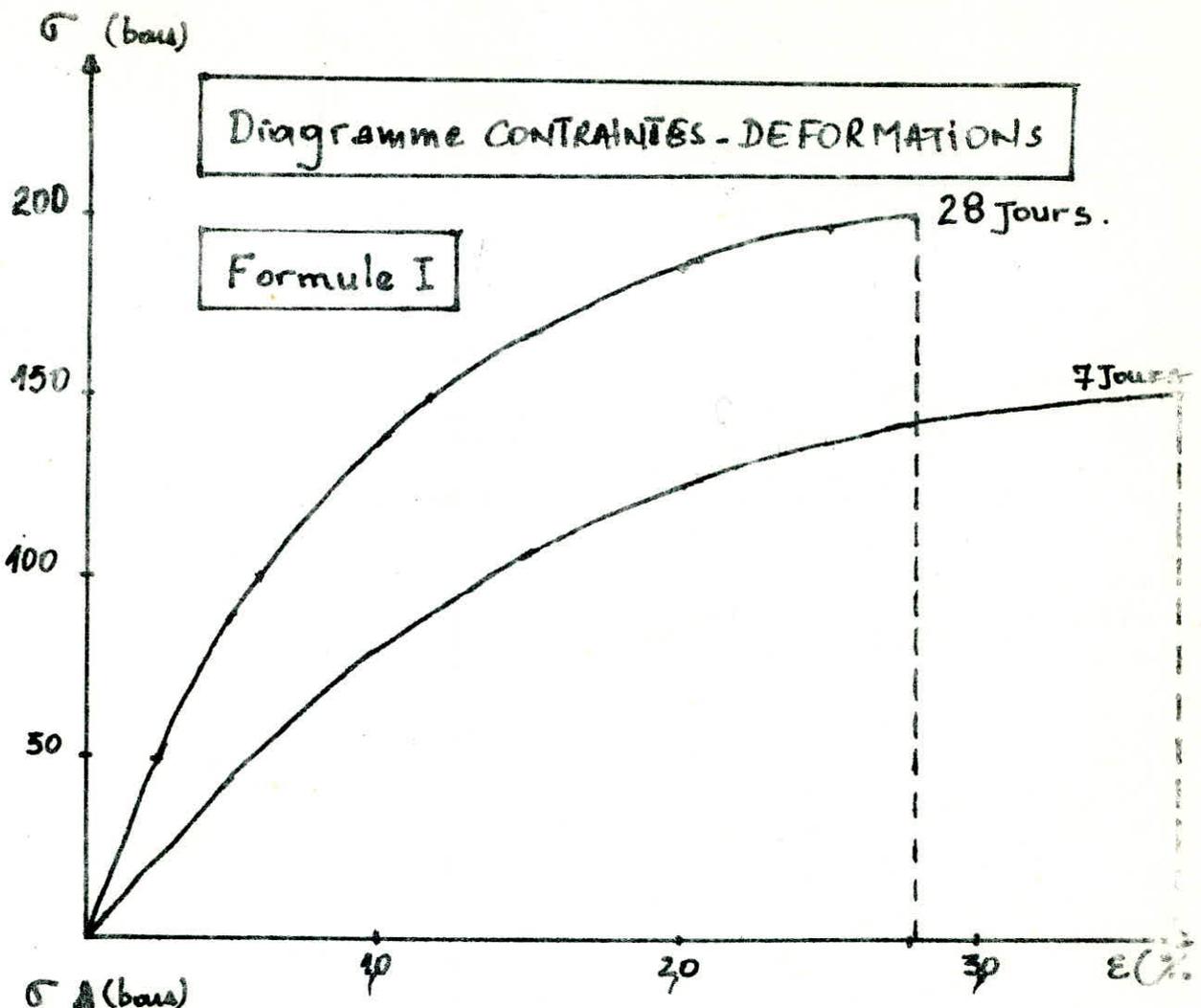
Nous signalons que des essais d'extensometrie ont été fait, sur éprouvettes des deux compositions retenues, et ont donné lieu aux résultats suivants :

FORMULES		I	II
Ouvrabilité en cm		2	2
prise	début	3 h 00	4 h 15 mn
	FIN	4 h 30	5 h 00 mn
RETRAIT	7 jours	—	—
	28 jours	—	—
Masse volumique (kg/m ³)	7	2214	2256
	28 jours	2160	2206
Résistance mécanique compression (kg/ cm ²)	7 jours	166	172,5
	28 jours	210	233
Traction kg/cm ²	28 jours	36	39
Module d'élasticité à 7 jours (kg/cm ²)	(E F)	400 000	450 000
	(E S)	370 000	420 000

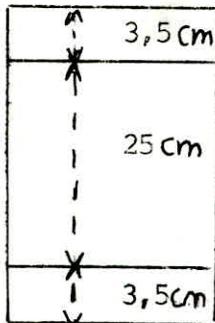
NOTA :

Nous ne présentons pas les essais pour plus de détail voir étude précédente présentée à la bibliographie.

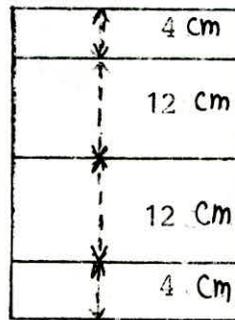




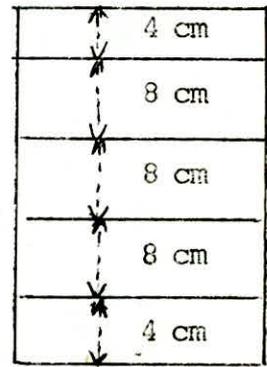
Nous avons pensé à étudier l'influence du confinement du béton sur sa ductilité, et nous avons confectonné pour cela des éprouvettes cylindriques armées transversalement par des cerces ($\varnothing 6$) nous avons adopté trois espacements différents : 25 , 12 , 8 cm.



2 cerces



3 cerces



4 cerces

N'ayant pas de machine de compression à asservissement en déformation, nous n'avons pu avoir la courbe contrainte-déformation qui montrerait l'augmentation de la ductilité du béton, mais néanmoins nous avons pu observer que l'écrasement n'était pas brusque.

RETRAIT

1. INTRODUCTION :

Le béton de sable dunaire (mortier structurel) contenant une grande proportion d'éléments fins (favorisant le retrait) est appelé à être utilisé dans des zones où la sécheresse de l'air et les variations de température (chocs thermiques) sont très importantes ; ce qui nous amène à envisager l'étude du phénomène du retrait. Nous verrons dans ce chapitre quelles sont les causes, les lois les plus probables du retrait ; ce qui permettra de prévoir ces variations dimensionnelles dans le temps et d'en tenir compte éventuellement dans les calculs et surtout de prendre les dispositions nécessaires pour s'accomoder au mieux du phénomène. En effet, le retrait ne peut pas être complètement annulé mais certaines précautions peuvent être prises afin d'en limiter les effets.

Le phénomène du retrait a été observé globalement dès les premières utilisations du ciment et du béton, il a fait objet de recherches très nombreuses, et les études se poursuivent dans beaucoup de laboratoires. C'est dire que le problème est très complexe et qu'il reste beaucoup à faire dans ce domaine.

On sait que le béton est un matériau en évolution : ses propriétés se modifient constamment au cours de son existence, l'hydratation du ciment se poursuit pendant longtemps, augmentant ainsi les résistances mécaniques et les modules de déformations. Le béton laisse évaporer une partie de l'eau de gâchage, il peut aussi absorber l'humidité de l'air. Suivant l'état de l'atmosphère, la température et les charges appliquées, le béton sera le siège de transformations diverses.

Nous nous limiterons dans notre étude aux retraits, cependant nous donnerons des indications sur le gonflement dans l'eau.

Il existe plusieurs sortes de retraits, nous distinguerons successivement :

- . Le retrait d'hydratation (ou de dessiccation interne)
- . Le retrait d'évaporation avant prise.
- . Le retrait hydraulique après prise.
- . Le retrait thermique.

Certains retraits peuvent avoir lieu simultanément ou successivement combinant ainsi leurs effets.

3.2 EFFETS DU RETRAIT :

Les retraits provoquent des accourcissements du béton, les principales conséquences sont les suivantes :

- Création de tensions internes, de microfissurations (par exemple entre la pâte de ciment et les granulats), il en résulte des baisses de résistances particulièrement la traction du matériau. Ces tensions peuvent être différentes en surface et en profondeur : elles sont donc liées à la géométrie de l'ouvrage en béton.
- Création de fissures externes visibles. Elles nuisent à l'esthétique et à la pérennité du béton. Lorsqu'elles sont assez larges, et lorsqu'elles atteignent les armatures du béton armé, celles-ci peuvent facilement se corroder.

3.21 RETRAIT DE DESSICATION INTERNE

Le chatelier, à la fin du siècle dernier, avait montré que le durcissement du ciment se faisait :

- . Avec une augmentation du volume apparent de la pâte pure de ciment conservée dans l'eau.
- . Avec une diminution du volume absolu de cette pâte, ce qui démontrait que le volume absolu des hydrates formés était plus petit que le volume absolu de la somme des anhydres et de l'eau.

Il est clair qu'il existe une relation entre l'augmentation de la dessiccation interne et la progression des résistances mécaniques dans le temps.

3.22 RETRAIT D'EVAPORATION AVANT PRISE.

On sait que le début de prise d'un ciment correspond à une certaine consolidation du matériau qui deviendra de moins en moins déformable, pendant cette période "dormante", l'eau de gâchage n'est pas encore liée aux constituants des ciments ; elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement. C'est dire qu'elle peut s'évaporer plus au moins facilement surtout si l'ouvrage en béton présente une grande surface libre et si les conditions atmosphériques se prêtent à une telle évaporation.

L'évaporation ou l'absorption de cette eau se traduit par un tassement du béton. Le retrait contrarié provoque de profondes fissures caractéristiques visibles au moment du démoulage ou immédiatement à la surface des pièces.

Le départ de l'eau a comme autres conséquences :

- . Une moins bonne hydratation des liants
- . Un affaiblissement de la dureté superficielle
- . Une baisse des résistances mécaniques
- . Un accroissement de la porosité (préjudiciable à une bonne pérennité du béton).

3.23 RETRAIT HYDRAULIQUE APRES PRISE :

Le retrait après prise est beaucoup plus lent à se manifester que le retrait avant prise. Il est dû à une perte d'une partie de l'eau de gâchage si le béton est conservé dans une atmosphère à faible humidité relative.

Le béton placé dans une atmosphère sèche se rétracte et perd de l'eau. Remis en atmosphère humide, il reprend une partie de l'eau perdue ; Ceci est dû au fait que le béton est un matériau poreux, hétérogène : c'est un pseudo - solide.

Freyssinet a donné une théorie explicative à ce phénomène, elle est basée sur le phénomène des tensions capillaires, les particules les plus fines du béton sont reliées par des ponts d'eau dont les ménisques exercent des contraintes d'autant plus importantes que les rayons de courbure sont plus petits, les rayons diminuent lorsque l'eau s'évapore progressivement jusqu'à l'équilibre final. Les contraintes augmentent alors et resserrent les grains entre eux en provoquant une diminution du volume apparent. Inversement, les rayons de courbure croissent avec l'humidité ambiante, les contraintes qui contractaient la matière se relâchent et permettent alors le gonflement.

3.24 RETRAIT THERMIQUE :

Le retrait thermique est dû à des baisses de températures provenant soit du ciment lui même lors de son hydratation aux premiers âges suivie de son refroidissement, soit des variations climatiques du milieu qui peuvent être plus ou moins importantes et plus ou moins rapides : cas des régions du sud Algérien, où il n'est pas rare d'avoir entre le jour et la nuit des variations de température de 40° c, et même davantage ces chocs thermiques ont pour conséquences d'importantes variations dans les dimensions des pièces en béton.

Ce retrait RTH est donné par la formule.

Avec :

$$R_{th} = \alpha \cdot \Delta\theta$$

$\Delta\theta$: Différence de température

α : Coefficient de dilatation thermique ; il est plus élevé pour un granulat quartzeux (ce qui est le cas du sable dunaire étudié 99 % de quartz) ; plus faible pour un granulat calcaire ou un granulat d'argile expansée.

Les fissures observées sur des ouvrages massifs sont les plus souvent des fissures de retrait thermique. Le retrait hydraulique et le retrait de carbonatation élargissent encore dans le temps ces fissures.

3.3 ETUDE EXPERIMENTALE :

3.3.1 BUT DE L'ESSAI :

Le but de l'essai est de suivre l'évolution du retrait hydraulique après prise au cours du temps et de voir les lois de progression du retrait pour le béton de sable.

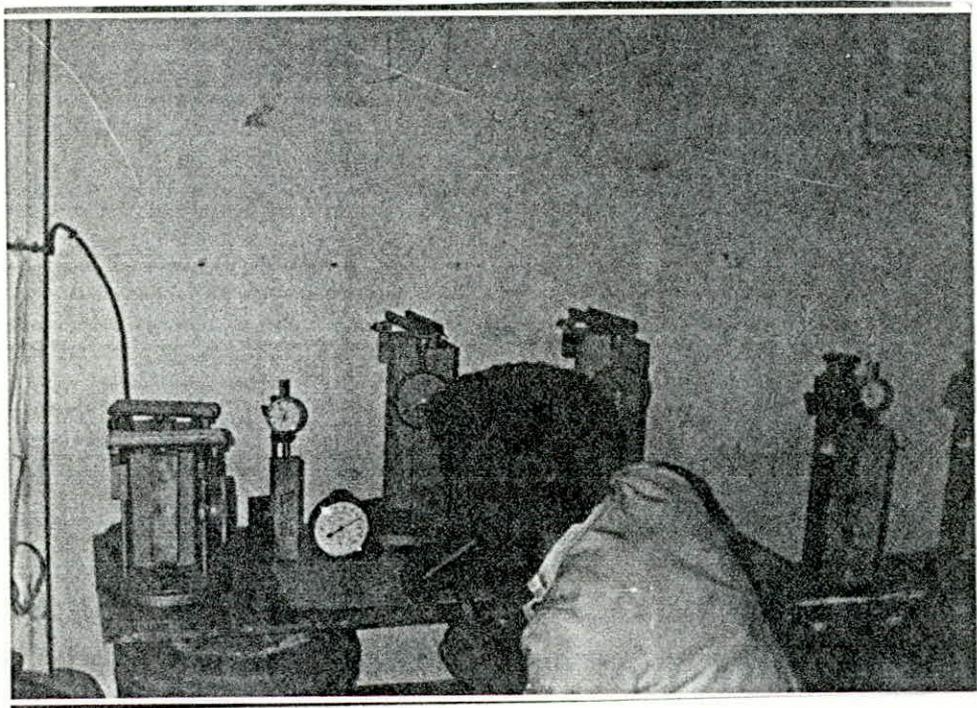
Nous verrons aussi l'influence de plusieurs paramètres sur le retrait

- . Influence de la température et de l'humidité relative de l'ambiance.
- . Influence de la dimension des pièces
- . Influence des éléments fins et des adjuvants.

3.3.2 PRESENTATION DE L'ESSAI :

Les mesures du retrait ont été effectuées sur éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm et 7 x 7 x 28 cm ; munies de plots de mesure à leur extrémités conformément aux normes Françaises (NORME NFP 15 - 433). Ces éprouvettes au nombre de trois par essai sont, après démoulage à 24 heures, placées dans des batis munis de comparateurs qui nous permettrons de mesurer le retrait.

Nous avons confectionné des éprouvettes pour 2 compositions différentes de béton :



Composition 1.

Ciment : 330 (kg/M³)
Sable : 1530 (kg/M³)
Eau : 260 (L / M³)

Composition 2.

Ciment : 330 (kg/M³)
Sable : 1310 (kg/M³)
Eau : 240 (L / M³)
Adjuvant PR : 4,95 (kg/M³)
Filler : 190 (kg/M³)

Deux modes de conservations des éprouvettes ont été utilisés pour les deux compositions du béton :

- . L'ambiance du laboratoire
- . L'etuve ou la température était maintenue constante à 40° c (température moyenne du sud Algérien).

REMARQUE :

Il aurait été intéressant de mesurer la variation de la masse des éprouvettes au cours du temps ; mais faute de rétractomètre nous n'avons pu réaliser ces mesures.

Les lectures sur comparateurs sont faites chaque 2 heures pendant les 3 premiers jours, puis une fois chaque 24 heures et cela durant 6 semaines (nous n'avons pas pu prolonger la durée de l'étude et cela à cause du déménagement du laboratoire) ; On note la température ambiante et l'humidité relative après chaque lecture.

Il aurait été souhaitable d'avoir une salle pour la conservation des éprouvettes ou l'humidité de l'air et la température seraient maintenues constantes, ce qui permet d'éviter certaines perturbations sur les lectures. Nous présentons ci-après un tableau montrant la variation de la température et de l'humidité relative dans le laboratoire durant la période des essais pour mieux comprendre certaines fluctuations des valeurs.

D A T E	TEMPERATURES (°C)	HUMIDITE RELATIVE HR (%)
1 /3/86 - 18/03/86	14	83
19/03/86	16	80
22/03/86	14	75
23/03/86	13	66
24/03/86	15	65,5
25/03/86	17	65
29/03/86	15	68,5
05/04/86	17,5	70
06/04/86	19	61
07/04/86	19	57
08/04/86	16,5	60
09/04/86	15	57
12/04/86	16	53
13/04/86	14	58

3.33 RESULTATS DE L'ESSAI

Nous présentons ci-après la valeur du retrait final des différents essais exécutés :

A) Eprouvette 4 x 4 x 16 cm et 7 x 7 x 28 cm

Formule I.

Conservation : Air libre

Température moyenne : 15° C

Humidité relative moyenne : 70 %

Retrait final à 33 jours :

- 718,5 $\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$ pour les 4 x 4 x 16 cm

- 711,4 $\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$ pour les 7 x 7 x 28 cm

b) Eprouvettes : 4 x 4 x 16 cm

Formule : I et II

Conservation : étuve

Température : 40° c

H.R : 20 %

RETRAIT FINAL :

- 4590,5 $\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$ pour F2 à 40 jours

- 4480,9 $\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$ pour F1 à 30 jours

c) Eprouvettes : 4 x 4 x 16 cm

Formule : II

Conservation : Air libre

Température moyenne : 16° c

Humidité relative moyenne : 70 %

Retrait final après 40 jours : $1607,8 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$.

3.4 INTERPRETATIONS DES RESULTATS :

1. INFLUENCE DU TEMPS ET DE LA CONSERVATION (température et HR)

D'après les courbes tracées, on peut dire que :

- Le retrait est pratiquement proportionnel au logarithme du temps entre un et vingt huit jours (on retrouve d'ailleurs le même phénomène en ce qui concerne la progression des résistances mécaniques) ensuite l'augmentation du retrait est assez faible.
- Il existe une corrélation linéaire très grande entre la perte d'eau, le degré hygrométrique de l'air et le retrait du béton.
La perte d'eau est d'autant plus grande et rapide que l'air ambiant est plus sec et que la différence de température entre le béton et l'air ambiant est plus forte.
Le retrait est donc d'autant plus élevé que l'humidité relative est plus faible.
- Le retrait est d'abord très rapide sur le béton jeune et s'atténue ensuite, mais ne s'achève complètement qu'au bout de plusieurs années, il se produit alors un équilibre entre la quantité d'eau contenue dans le béton et l'humidité de l'air ambiant.

Le retrait des premières heures peut atteindre une valeur relative supérieure à 5.10^{-4} sur les épreuves de formule I et 3.10^{-4} sur les épreuves de formules II.

2. INFLUENCE DE LA NATURE ET GRANULOMETRIE DU SABLE

- La nature de notre sable (quartz à 99 %) donne un retrait moindre par rapport à un sable contenant une grande proportion d'argile.

- Un excès d'éléments fins augmente le retrait car la surface totale des grains est plus grande, un défaut d'éléments fins augmente aussi le retrait car le béton présente des vides.

Donc on peut dire que le retrait dépend de la nature du sable, de sa propreté et de sa courbe granulométrique.

En se référant aux courbes on peut voir que le retrait sur les éprouvettes de formules II (granulométrie corrigée par ajout de fillers) est inférieur à celui observé sur les éprouvettes de formule I (sur laquelle il n'y a pas eu : de correction granulométrique).

3. INFLUENCE DES DIMENSIONS DES PIÈCES

Les éprouvettes d'essais ne présentant pas une grande différence de dimensions (4 x 4 x 16) et (7 x 7 x 28) on n'a pas eu des résultats nous permettant de conclure quant à l'influence de la dimension ; néanmoins nous pouvons dire que :

- Le retrait est d'autant plus grand que le rapport surface/ volume de la pièce est plus élevé.
- Plus le rapport surface d'évaporation / volume est petit et plus le retrait a lieu lentement.

Finalement on peut dire que le retrait final croît avec :

- La proportion d'éléments très fins
- Le dosage en ciment
- La quantité d'eau de gâchage
- La sécheresse de l'air.

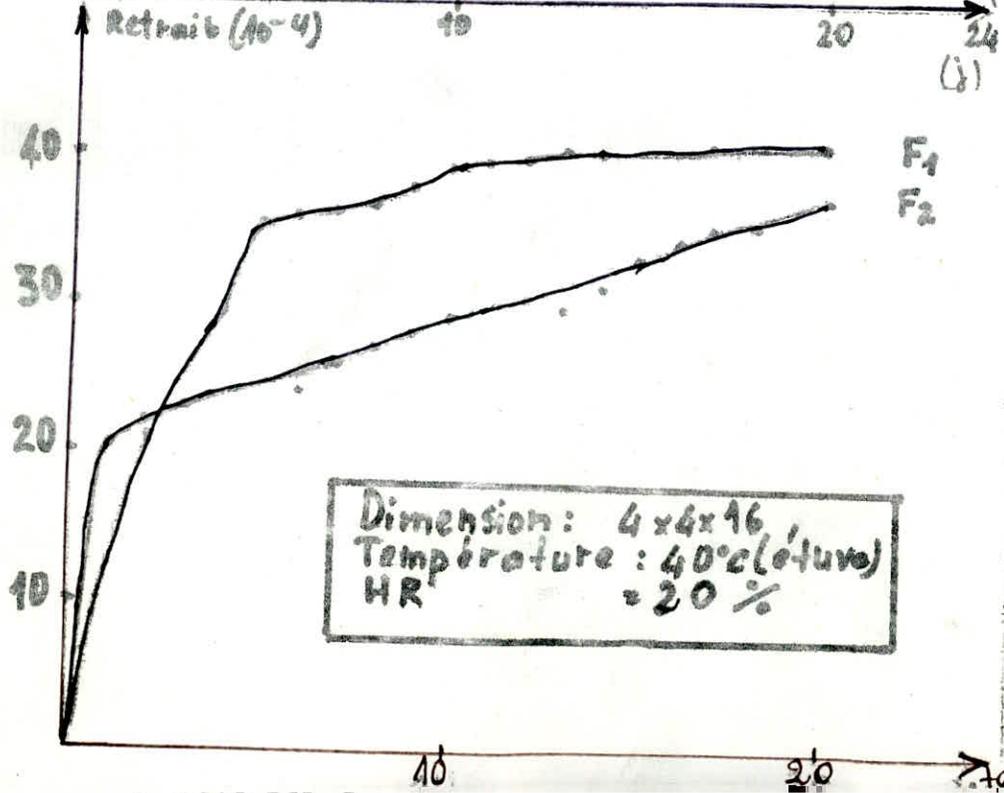
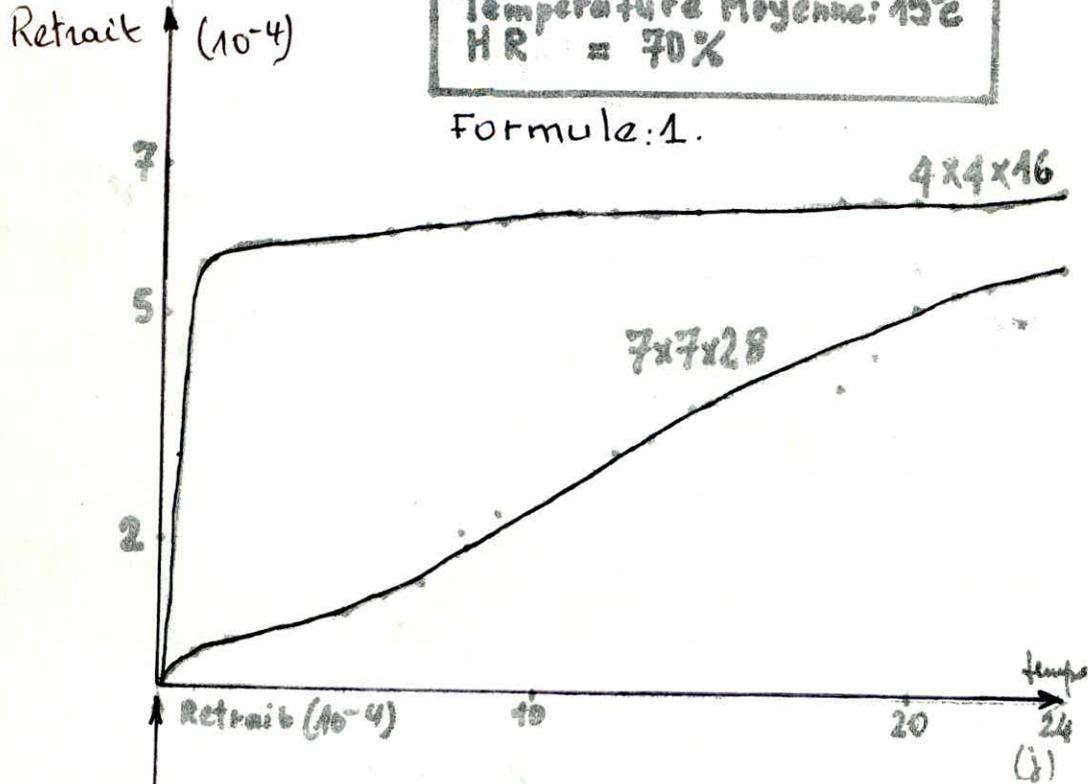
3.5 CONCLUSION :

L'étude présentée n'étant pas exhaustive nous ne pouvons conclure de façon sûre ; nous dirons néanmoins que le béton de sable dunaire présente un retrait assez important comparé au retrait présenté par un béton classique mais obéit à des lois similaires.

Le béton de sable étant appelé à être utilisé dans des zones où les conditions climatiques sont très rigoureuses, le retrait provoque dans celui-ci des contraintes préjudiciables à la résistance et pouvant provoquer d'importantes fissures ceci nous amène à proposer quelques solutions afin d'atténuer l'effet du retrait.

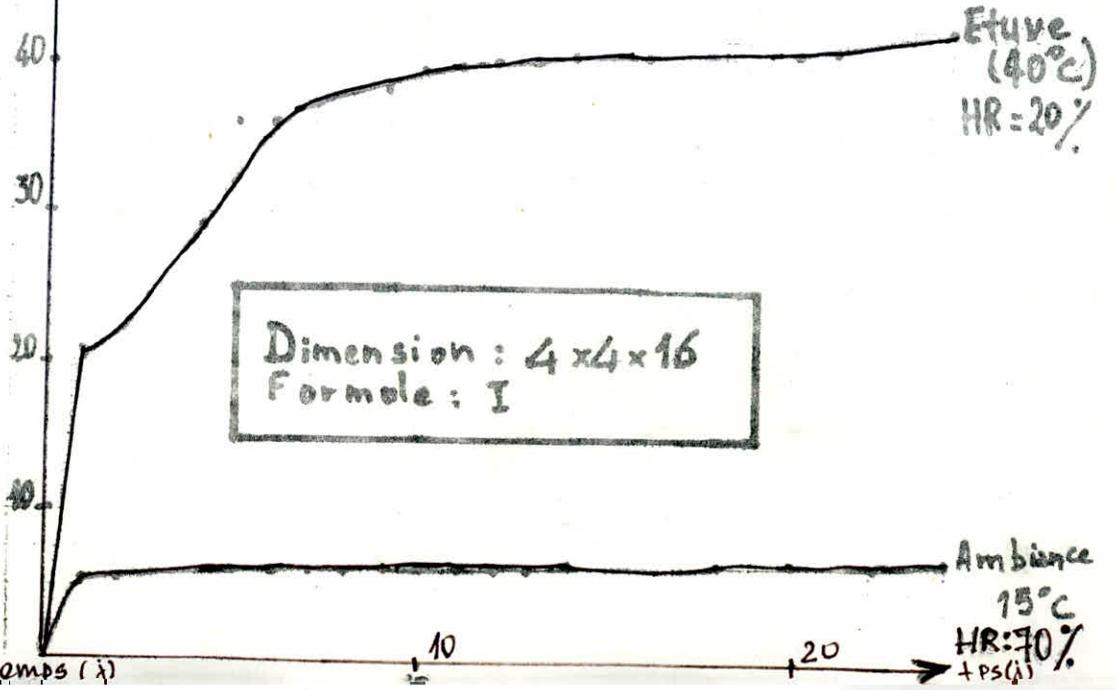
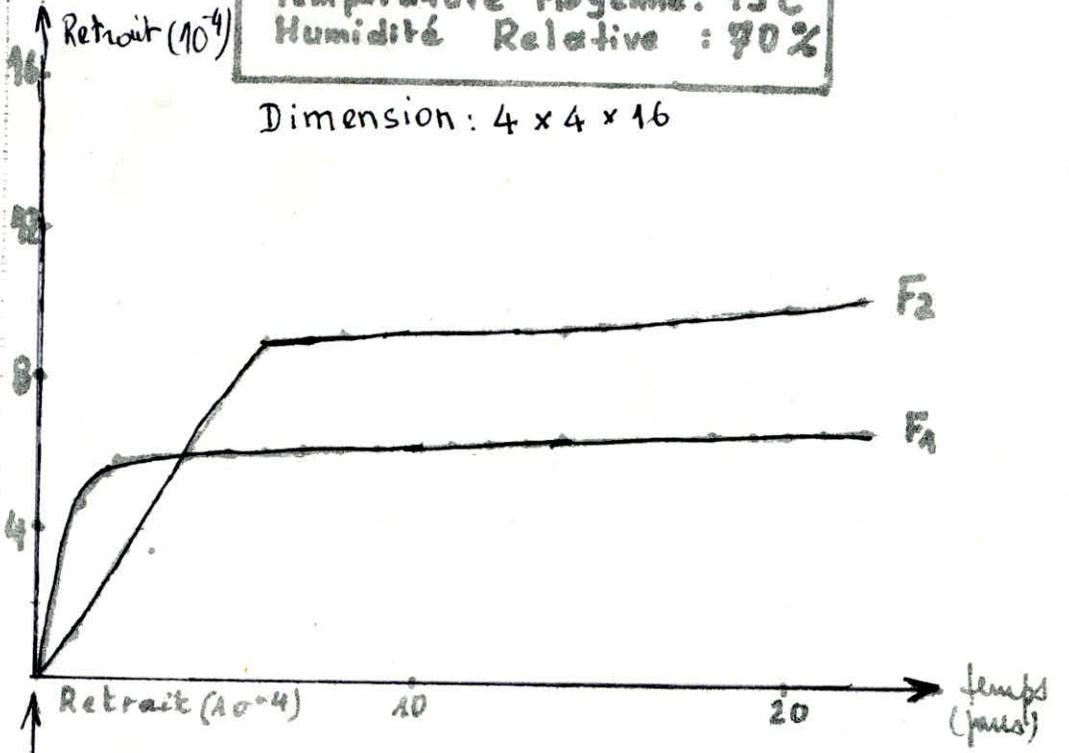
Formule : I
 Température Moyenne: 15°C
 HR = 70%

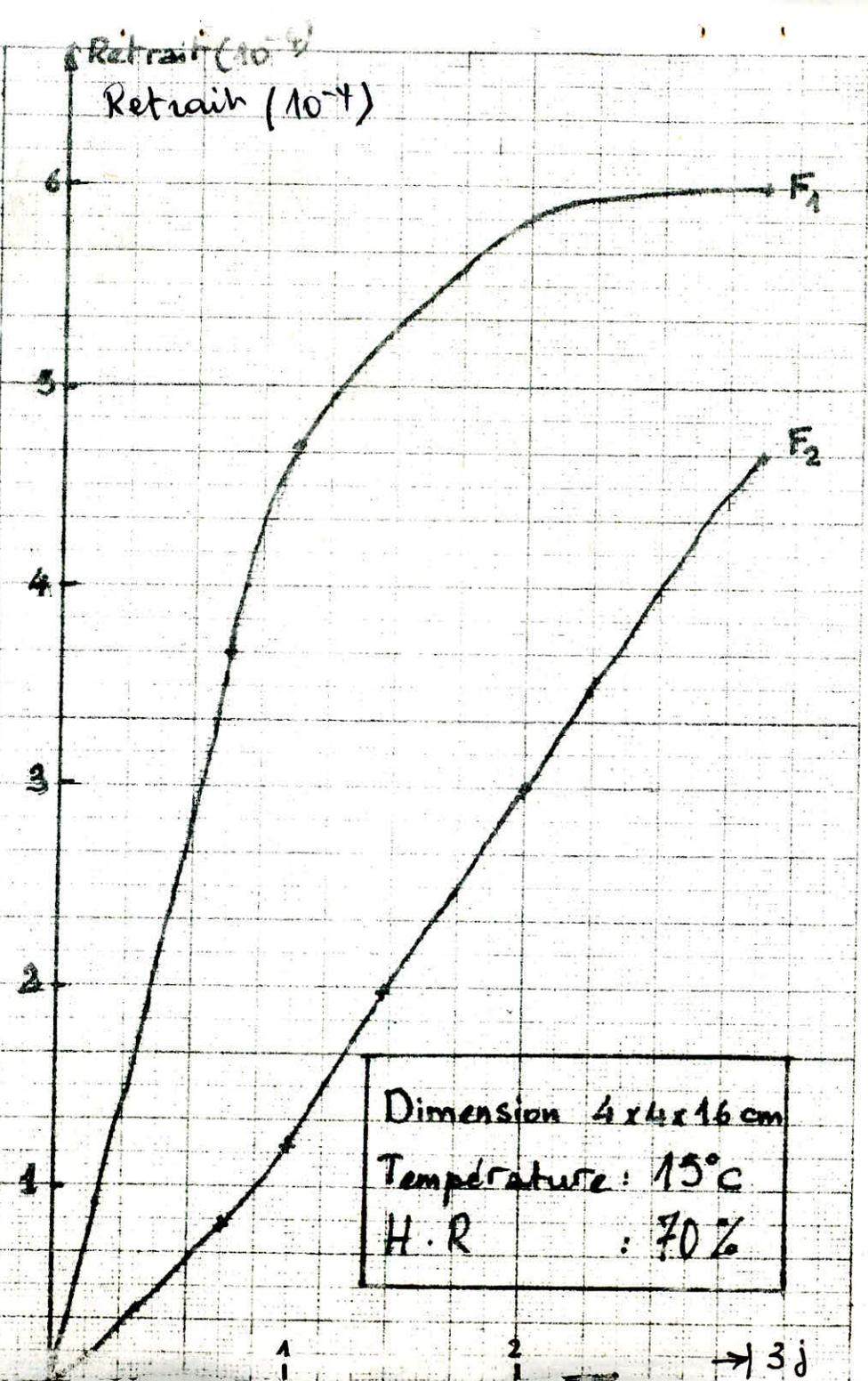
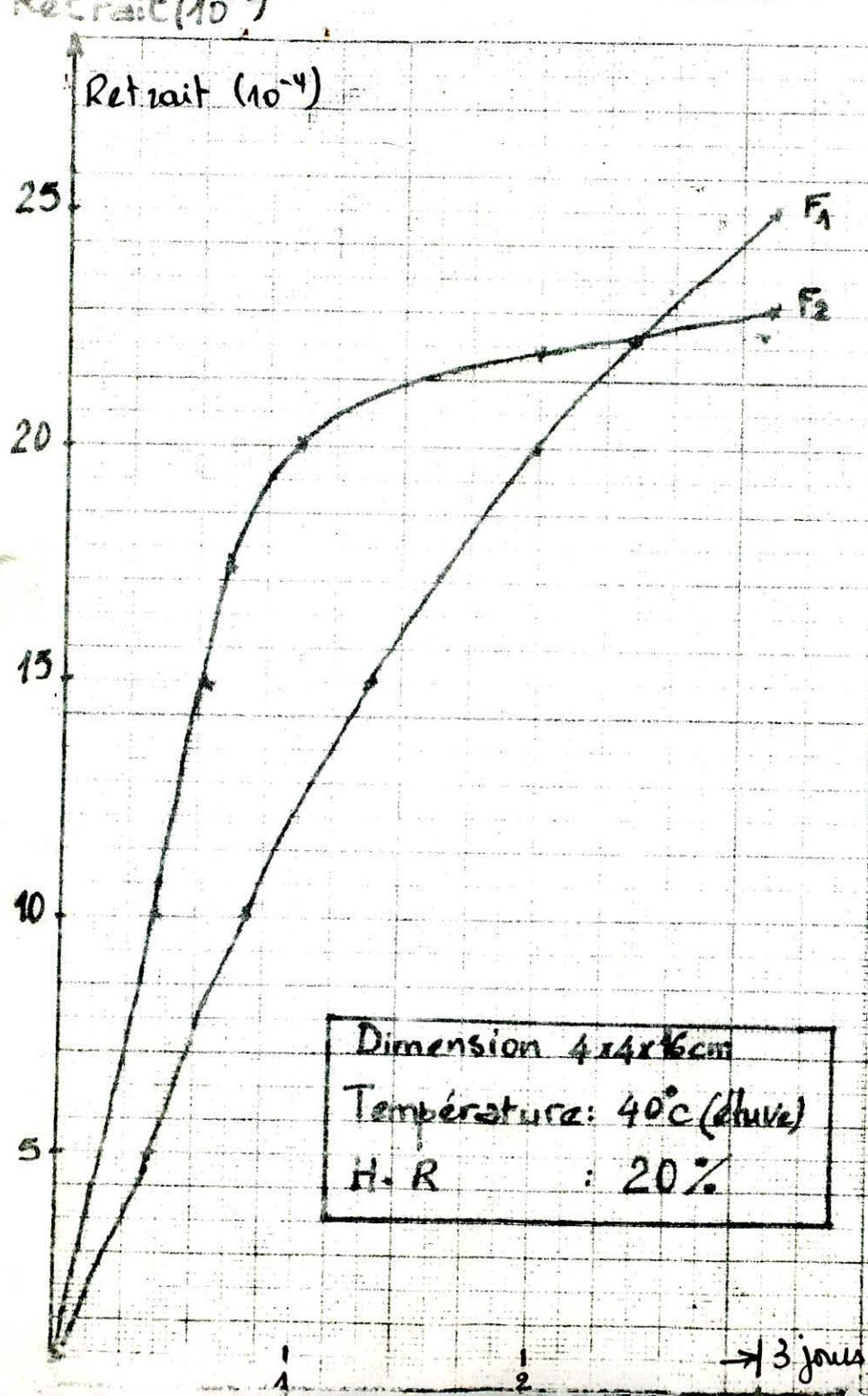
Formule: 1.



Dimension : 4x4x16
 Température Moyenne: 15°C
 Humidité Relative : 70%

Dimension : 4 x 4 x 16





3.6 REMEDES A ADOPTER POUR ATTENUER LES EFFETS DU RETRAIT

On cherchera donc à réduire les effets du retrait :

1. En limitant le retrait lui même :

- . Utiliser des granulats (sable) propres et de granularité continue.
- . Eviter les ciments trop fins (ciment à mouture fine)
- . Adopter le dosage du ciment minimum compatible avec la résistance souhaitée.
- . N'utiliser les adjuvants qu'a bon escient.

2. En ralentissant son évolution :

- . Diminuer l'évaporation au maximum surtout pendant les premières heures en maintenant humide la surface du béton jeune (emploi de paillasons et de sacs humides), arrosage des coffrages, utilisation de produit de cure.

3. En limitant les conséquences, par exemple :

- . Eviter les variations brusques d'épaisseur des pièces (qui entraîneraient des vitesses de retrait différentes, d'où risque de fissuration).
 - . Augmenter le pourcentage de ferrailage (les armatures ont pour effet de substituer à des fentes larges et rares, une série de fissures réparties et fines).
 - . En ambiance sèche, le retrait est diminué par la présence de l'armature les contraintes internes sont des tractions dans le béton et des compressions dans l'armature.
 - . En ambiance très humide, le gonflement est diminué, les contraintes internes sont des compressions dans le béton et des tractions dans l'armature.
- Dans tout les cas, l'armature agit pour freiner les influences.
- . Prévoir des dispositions autorisant la libre contraction du béton (joints de dilatation).

NOTA :

Nous avons pensé à faire une pièce en béton de sable qui serait non librement dilatable et de voir l'effet du retrait sur celle-ci mais des inconvénients techniques ne nous ont pas permis de faire cet important essai.

Nous disons important essai car les contraintes de tractions créées par le retrait sont élevées et on aurait pu constater que sous l'effet du retrait seul, la pièce peut atteindre sa résistance à la traction et se fissurer.

Tout ceci justifierait l'une des hypothèses fondamentales du béton en vertu de laquelle le béton est supposé offrir une résistance nulle à la traction.

ADHERENCE

I/- INTRODUCTION

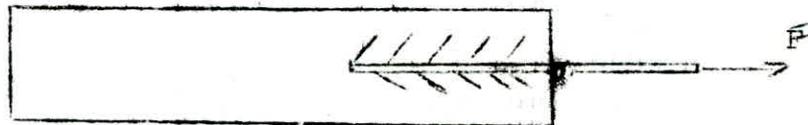
L'association acier-béton de sable n'a été envisagé qu'après l'obtention de résistance permettant l'utilisation de ce béton comme béton structural, où le béton reprendra les efforts de compression et l'acier ceux de traction.

La résistance du béton de sable est de l'ordre de 170 bars à sept jours et 210 bars à 28 jours.

GENERALITES

Le béton armé, matériaux hétérogène, nécessite pour un parfait fonctionnement une liaison intime et durable de ses deux composants, l'acier et le béton. La liaison utile est créée par des forces de contacts produisant une résistance assurant la transmission des efforts du béton à l'acier et réciproquement cette liaison est l'ADHERENCE.

Fig 1



Une barre soumise à une traction F (Fig 1) entraîne la formation dans le béton de sortes de troncs de cône, emboîtés les uns dans les autres et réagissant sur la barre par frottement, l'adhérence assure normalement l'égalisation des déformations des deux matériaux. Le volume de béton intéressé étant évidemment limité à ce que l'on appelle la zone d'influence des armatures.

A partir du moment où en un point,



l'effort transmis par l'un des matériaux à l'autre dépasse l'intensité des forces de contact : il y a naissance d'un mouvement relatif entre l'acier et le béton; c'est la fissuration, la défaillance de l'adhérence étant à l'origine de ce phénomène.

L'adhérence n'est pas due à un phénomène de collage, il s'agit uniquement d'adhérence tangentielle et surtout dans le sens longitudinal des barres, l'adhérence normale est négligeable; car elle ne vaut que 10% de l'adhérence totale.

./..

On peut dire que l'adhérence est à peu-près uniquement due à des forces de frottement tangentiels, engendrées par les irrégularités du contact, si petites soient-elles.

Un examen microscopique de la zone de contact montrera que : les composants fins du béton pénètrent jusque dans les pores de la peau du métal. Ceci pourrait suggérer que la résistance unitaire à l'adhérence serait plus grande pour de gros diamètres que pour des petits; les grosses barres moins longtemps travaillées ont une peau plus poreuse.

On ne peut invoquer $\bar{\epsilon}$ comme on l'a fait quelquefois $\bar{\epsilon}$ le retrait du béton qui étirerait la barre; car des essais ont démontré que l'adhérence n'était que peu modifiée, quelquefois même augmentée sur des éprouvettes conservées dans l'eau qui subissent un gonflement : le retrait n'est donc pas cause de l'adhérence mais peut seulement l'influencer.

L'objet de ce chapitre est d'étudier le phénomène d'adhérence en fonction de la variation des paramètres suivants :

- La longueur d'ancrage des barres d'acier,
- Le diamètre des barres d'acier,
- Résistance à la traction du béton,
- Enrobage,
- Etat de surfaces des aciers,
- Age du béton
- Nature de l'acier (HA - RL)

2/- ROLE DE L'ADHERENCE EN BETON ARME

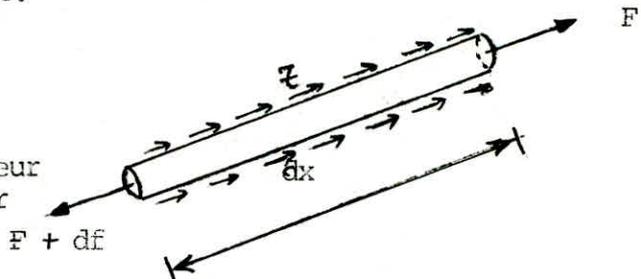
2.1.- CONTRAINTE D'ADHERENCE

La liaison entre une armature et le béton est mesurée par la contrainte d'adhérence définie par la formule.

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{U} \frac{df}{dx}$$

df = Variation par unité de longueur de l'effort axiale exercé sur l'armature

U = Périmètre utile de l'armature



./..

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

2.2 - ANCRAGE DES BARRES :

La résistance d'une pièce augmente avec la perfection des ancrages de ses barres; c'est ainsi que l'on termine les aciers tendus par des crochets. L'adhérence est meilleure si le béton autour du crochet est fretté. Il convient donc de toujours s'assurer que les crochets sont suffisamment enrobés.

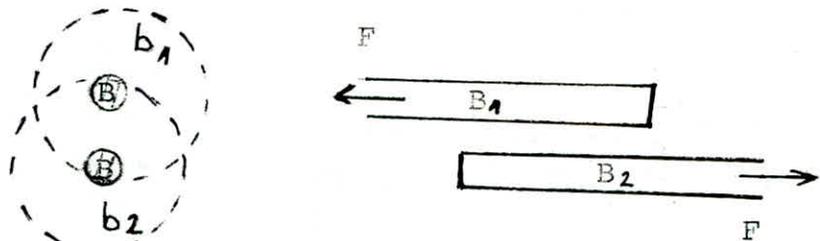
2.3 - ENTRAÎNEMENT DES BARRES :

L'adhérence permet au béton d'entraîner les barres dans sa déformation. Ce sont les contraintes d'adhérence du béton sur la barre qui obligent celle-ci à prendre le même allongement que les fibres de béton qui l'entourent. Il y a ainsi une transmission des efforts du béton à l'acier.

2.4- RECOUVREMENT :

Le phénomène d'adhérence du béton à l'acier permet la jonction d'aciers, la soudure étant faite par simple interposition de béton. Le mécanisme est le suivant (voir figure), le béton b_1 enrobant la barre B_1 est intéressé par la force F sollicitant cette barre; ce béton b_1 recoupe le béton b_2 enrobant la barre B_2 et lui transmet l'effort F . Il faut par conséquent :

- Qu'il y ait du béton interposé entre les deux barres B_1 et B_2 à réunir
- Qu'il y ait aussi du béton latéralement sur une épaisseur suffisante pour que les zones de béton b_1 et b_2 puissent se recouvrir largement
- Que l'effort F transmis au béton enrobeur n'impose pas à celui-ci une contrainte d'adhérence trop élevée, cette transmission étant faite par l'intermédiaire de bielles inclinées de béton comprimé (45°) comprise entre les deux barres.



L'adhérence assure également la distribution de la fissuration dans les pièces tendues; en effet plus l'adhérence est importante, plus le nombre de fissures est grand, mais très peu ouvertes (largeur cumulée constante) ce qui permet d'éviter la formation de larges fissures concentrées.

3/- ETUDE EXPERIMENTALE

Cette étude a été réalisée dans le laboratoire du Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (C. N. E. R. I. B.). Les essais d'arrachement ont été exécutés au Laboratoire des Travaux Publics et de la Construction (L. T. P. C.)

3.1.- PRESENTATION GENERALE

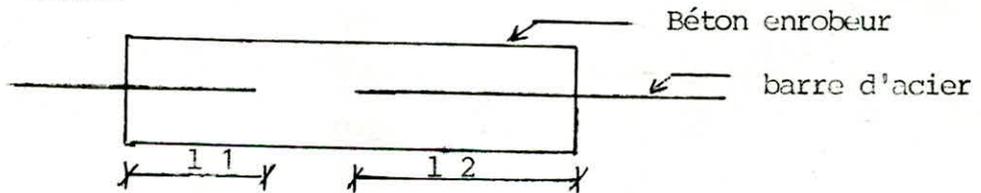
Les essais ont été réalisés sur environ 120 éprouvettes prismatiques. Nous avons étudié essentiellement l'influence des sept paramètres suivants :

- Longueur d'ancrage des barres d'acier,
- Diamètre des barres,
- Résistance à la traction du béton,
- Enrobage
- Etat de surface des aciers
- Age du béton
- Nature de l'acier (H.A.- R L)

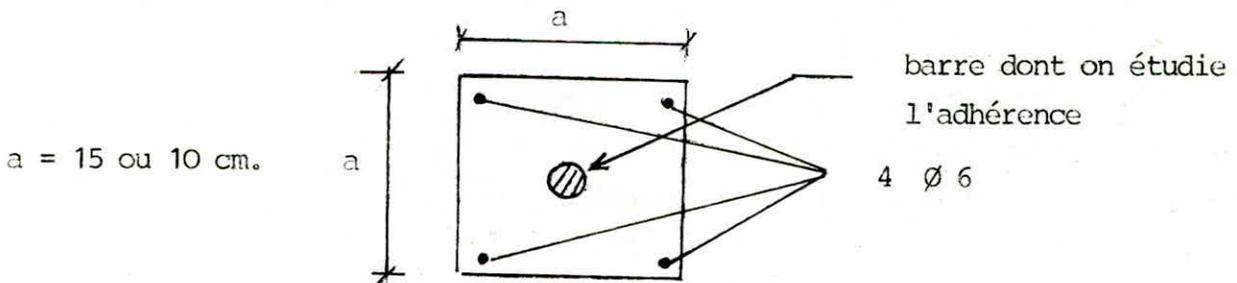
3.2- CORPS D'EPREUVE :

3.2.1. Formes et dimensions

Les essais d'adhérence sont réalisés principalement sur éprouvettes prismatiques de section 15 x 15 cm et 10 x 10 cm et de longueur 40 cm dans lesquelles sont noyées (suivant leur axe) deux barres d'acier comme indiqué sur le schéma.



Afin d'éviter la rupture (prématurée) de la gaine de béton par traction avant l'apparition du phénomène d'adhérence, nous avons renforcé l'éprouvette par un ferrailage longitudinal (4 \varnothing 6); on notera que ce ferrailage n'influe nullement sur la contrainte d'adhérence.



$a = 15$ ou 10 cm.

./...

3.2.2 Caractéristiques du béton utilisé

Les essais ont porté sur les deux compositions dont les caractéristiques sont présentées dans les chapitres précédents (formule I et II).

3.2.3 L'Acier :

Nous avons utilisé deux types d'acier : Ronds lisses et à haute adhérence.

Les différentes longueurs d'ancrages testées sont : 5 - 10 - 15 et 20 cm

Les diamètres des barres sont : 10 - 12 - 14 - 16 - 20 mm.

3.2.4 Conditions de conservation :

Les éprouvettes au nombres de 3 par essai sont démoulées à l'âge de 24 heures ; elles sont conservées dans une salle où la température moyenne est de 15° C et l'humidité relative de 75 %

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes sont en bois.

3.3 Réalisation des essais

Tout les essais ont été réalisés à 28 jours (pour voir l'influence de l'âge du béton, nous avons repris les résultats des essais à 7 jours présentés dans l'étude précédemment faite : voir bibliographie .

Nous avons fait varier les divers paramètres, concernant les aciers (nature, diamètre, longueur d'ancrage, l'état de surface), les sections des éprouvettes, la composition du béton de sable (donc la résistance à la traction) et l'enrobage.

Il existe 4 types d'essais pour l'étude du phénomène d'adhérence :

- Essai de compression, compression où les adhérents = (acier et béton) sont simultanément comprimés.
- Essai de traction - traction où les adhérents sont simultanément tendus
- Essai de traction par flexion : Beam Test
- Essai compression - traction : pull out test, ou le béton est comprimé et les aciers tendus.

./...

Le mode d'essai retenu dans notre étude est celui du double arrachement de bout à bout : la barre d'acier (noyée dans le prisme droit de béton) est soumise à un effort de traction, entraînant le glissement de celle-ci par rapport au béton.

3.3.1. Dispositif expérimental :

L'essai consiste à mesurer :

- A l'aide d'une " machine de traction ", la force nécessaire pour rompre l'adhérence
- A l'aide d'un capteur électronique, le déplacement des barres d'acier ancrées par rapport au béton.

L'essai à nécessité l'appareillage spécifique suivant :

- Machine de traction à vitesse de traction variable ayant :
 - . 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

La mise en marche de cette machine est réalisée progressivement par commande manuelle (valve d'admission) et lecture sur le cadran indicateur de charges afin de réaliser une charge statique et d'éviter ainsi une rupture brutale de l'éprouvette.

- Un comparateur électronique muni de deux capteurs à induction avec électronique associée, amplificateur avec indicateur de lecteur.

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 par les capteurs de force incorporés dans la machine.

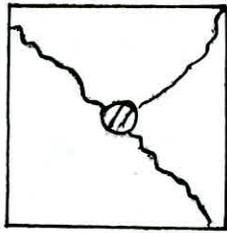
3.3.2. Procédure d'essais :

Après 28 jours, l'éprouvette est soumise à l'essai en exerçant une traction sur la barre d'acier .

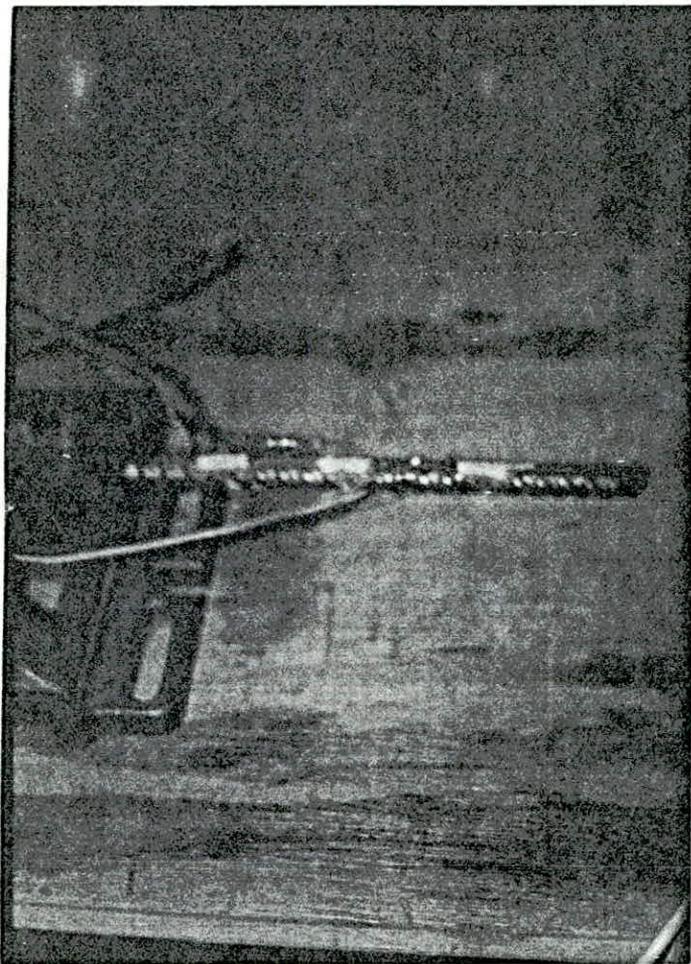
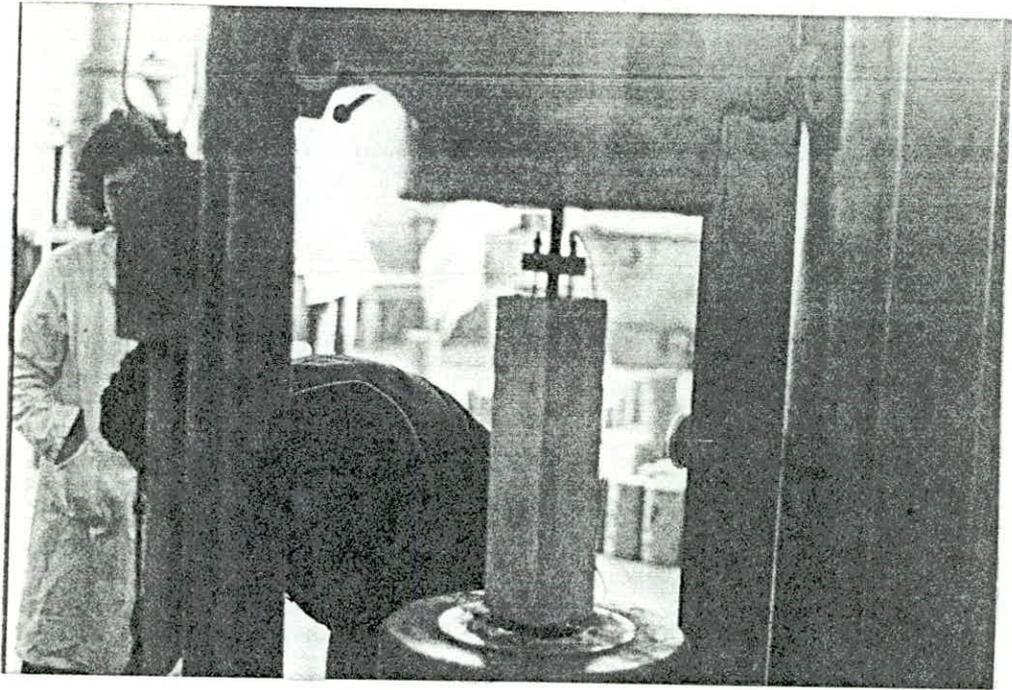
Cet effort de traction entraîne le glissement de la barre d'acier par rapport au béton, qui croit constamment avec la charge.

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 certaines fissures sur le prisme de béton.



./..



Résultats

Nous présentons ci-après les résultats des essais effectués, AGE du béton = 28 jours.

A- Valeurs utiles des forces de traction (tonnes)

1.- Formule 1

- Dimensions éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm
- Etat de surface : Poli
- Nature de l'acier : haute adhérence (H.A)

Tableau N°01

La (cm) \ Ø (mm)	10	12	14	16	20
5	-	0,93	1,20	-	-
10	1,53	1,63	1,78	2,00	1,82
15	-	2,56	2,64	-	-
20	-	2,81	3,18	-	-

2.- Formule 01

- Dimensions éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm
- Etat de surface : Corrodé
- Nature de l'acier : haute adhérence

Tableau N°02

La (cm) \ Ø (mm)	12	14
5	1,14	1,14
10	2,00	2,33
15	2,32	2,70
20	3,03	3,16

./...

3.- Formule O1

- Dimensions éprouvettes ; 15 x 15 x 40 cm
- Nature de l'acier : Rond lisse (R.L)

Tableau N°03

Etat de Surface	P O L I		C O R R O D E	
	10	12	10	12
La (cm) \ \varnothing (mm)				
5	-	-	-	-
10	1,45	1,61	1,56	-
15	2,20	-	2,69	-
20	2,44	-	3,00	-

4.- Formule O1

- Dimensions éprouvettes : 10 x 10 x 40 cm
- Etat de surface : Poli

Tableau N°04

La (cm) \ \varnothing (mm)	RL 10	T 12
10	1,44	1,50
15	1,53	1,71
20	2,41	2,43

./...

5.- Formule O2

- Etat de surface : Poli
- Dimensions éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm

Tableau N°05

La (cm) / ϕ (mm)	RL 10	T 12
10	2,02	2,12
15	2,65	2,93
20	2,94	3,76

B - VALEURS ULTIMES DE LA CONTRAINTE D'ADHERENCE (KG/ CM 2)

Sur les tableaux présentés ci-après nous pouvons voir les influences agissant sur le taux d'adhérence :

1- Influence des diamètres des barres et des longueurs d'ancrages

* ACIER H.4

- TABLEAU N°06 -

La (cm) / ϕ (mm)	10	12	14	16	20
5	-	49,34	54,57	-	-
10	48,70	43,26	40,47	39,79	28,97
15	-	45,27	40,02	-	-
20	-	37,27	36,15	-	-

* ACIER R.L

- TABLEAU N°07 -

La (cm) / ϕ (mm)	10	12
10	46,15	42,70
15	46,68	-
20	38,83	-

./..

2- Influence de l'état de surface

* Acier H.4

TABLEAU N°08

Etat de Surface La (cm) \ Ø (mm)	P O L I		C O R R O D É	
	12	14	12	14
5	49,34	54,57	60,48	51,84
10	43,26	40,47	53,05	52,96
15	45,27	40,02	41,03	40,93
20	37,27	36,15	40,19	35,92

* ACIER R.L.

- TABLEAU N°09

Etat de surface La (cm) \ Ø (mm)	P O L I	C O R R O D É
	10	10
5	-	-
10	46,15	49,66
15	46,68	55,39
20	38,83	47,58

3- Influence de l'enrobage

Tableau N°10

Enrobage (cm) La (cm) \ Ø (mm)	7,5 cm		5 cm	
	RL 10	T. 12	RL 10	T. 12
10	46,15	43,26	45,84	39,79
15	46,68	45,27	32,47	30,06
20	38,83	37,27	38,36	32,23

./...

4 - Influence de la résistance à la traction

Tableau N°11

Résistance à la traction	$\sigma_{bt} = 19$ bars Formule 1		$\sigma_{bt} = 24$ bars Formule 2		
	La (cm) \ \varnothing (mm)	R.L 10	T.12	R.L 10	T.12
10		46,15	43,26	64,30	56,23
15		46,68	45,27	56,23	51,81
20		38,83	37,27	46,79	49,87

5 - Influence de l'âge du béton

Tableau N°12

AGE	07 JOURS	28 JOURS
La (cm) \ \varnothing (mm)	12	12
10	1,32	1,50
15	1,79	1,71
20	2,20	2,43

./...

INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS

Le taux unitaire d'adhérence est soumis à des influences très diverses:

■ Influence de la nature de l'acier (HA et RL)

Les essais comparatifs entrepris sur aciers crenelés (haute adhérence) et sur aciers lisses ont montré que :

- pour les barres lisses, la rupture d'adhérence s'est effectuée par glissement de l'acier sans fissuration du béton enrobeur
- Au contraire pour les aciers crenelés, il n'y a pas eu glissement de la barre mais éclatement du cylindre de béton

Un examen après morcellement des éprouvettes et mise à nu des aciers a montré devant chaque crenelure transversale un petit cône de béton qui avait fait office de coin et provoqué l'éclatement.

Donc on peut dire que les barres présentant des crenelures (TOR) adhèrent mieux que les barres lisses.

■ Influence de l'état de surface des barres

Les essais ont montré en ce qui concerne l'état de surface des aciers que : les barres rugueuses sont préférables aux barres lisses : Des fers rouillés sont plus avantageux (adhèrent mieux) que des barres lisses à condition que la rouille soit adhérente et non pulvérulente (dans ce cas un brossage suffira). On peut admettre même que l'accroissement d'adhérence qu'ils engendrent compense la diminution de section causée par la corrosion, pour les gros diamètres tout au moins.

■ Influence de la résistance du béton

Les essais ont montré que le béton de formule II a un taux d'adhérence plus élevé que celui de la formule I (puisque la résistance pour le béton de formule II est plus grande que celle du béton de formule I).

Donc toutes causes ayant pour effet d'augmenter la résistance du béton agissent favorablement sur l'adhérence puisque celle-ci " phénomène de moulage " met en jeu la résistance au cisaillement du béton.

./..

= Influence de l'épaisseur du béton enrobeur

L'enrobage a une grande influence sur l'adhérence car plus grande est l'épaisseur du béton enrobeur plus raide est la gaine de béton. Celle-ci se déforme moins lorsque la barre tend à glisser d'où une plus grande résistance à ce glissement.

= Influence du diamètre et de la longueur d'ancrage des barres

D'après les résultats obtenus; nous constatons que l'adhérence moyenne est :

- une fonction décroissante du diamètre : en effet plus le diamètre des barres est petit plus la contrainte d'adhérence est grande.

La résistance à l'adhérence est proportionnelle au périmètre total, or celui-ci, à surface d'acier donnée croit avec le nombre de barres.

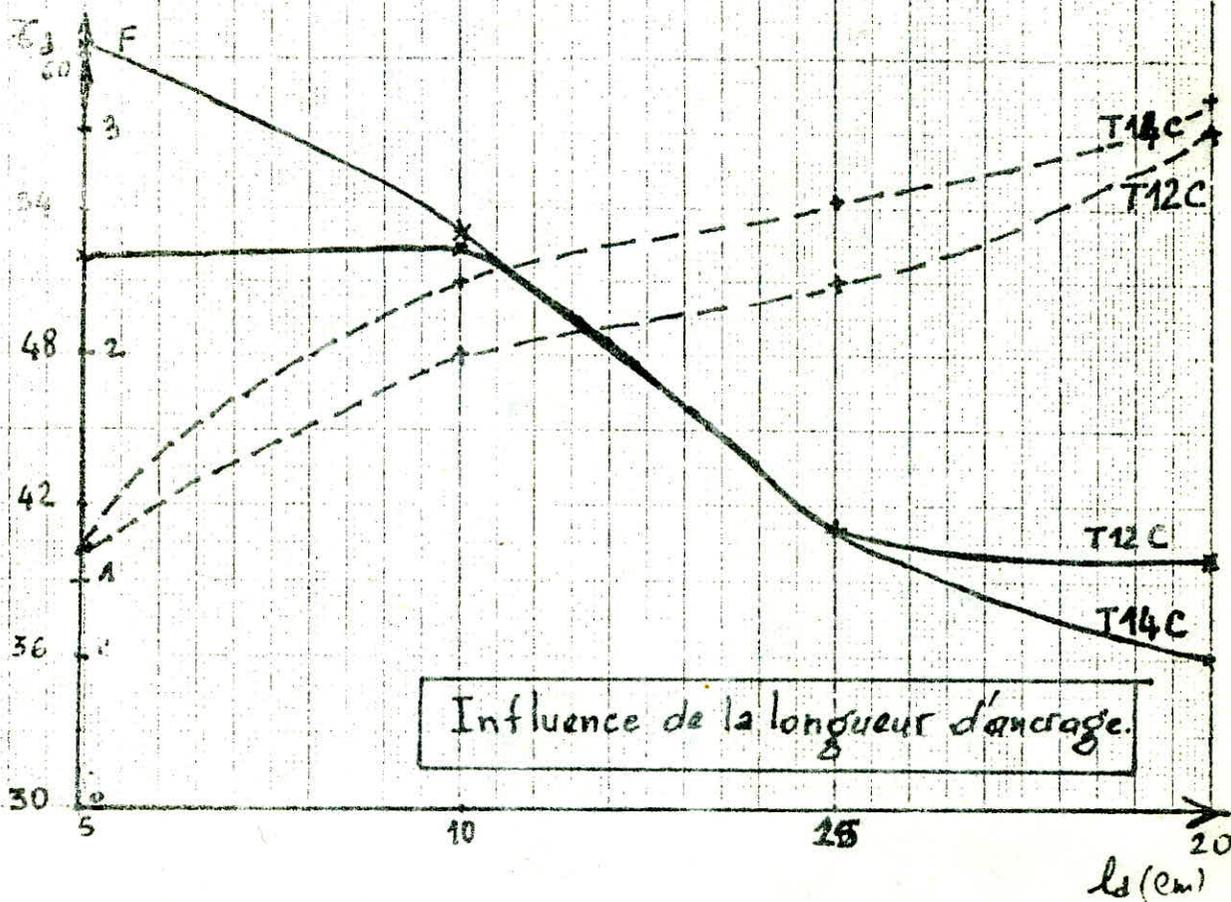
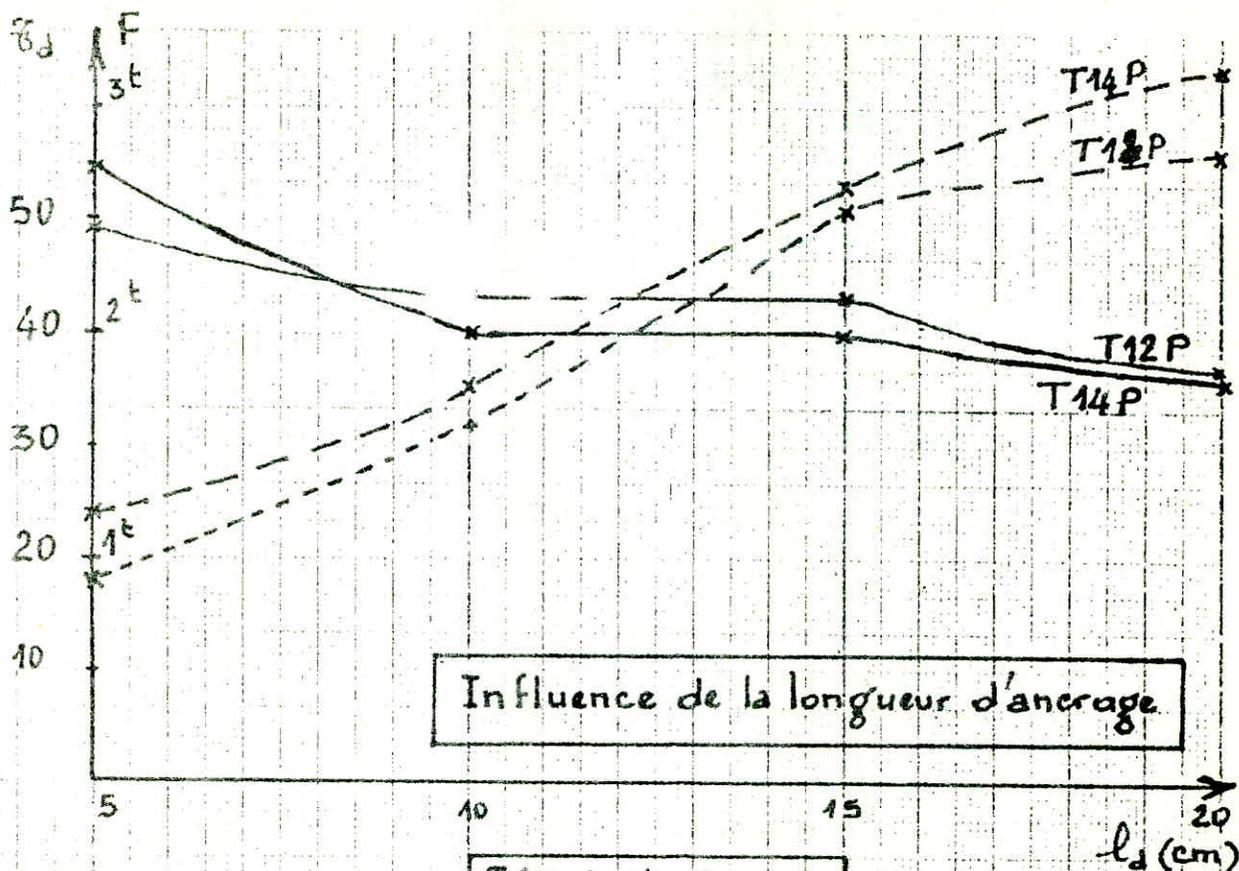
- une fonction décroissante de la longueur d'ancrage

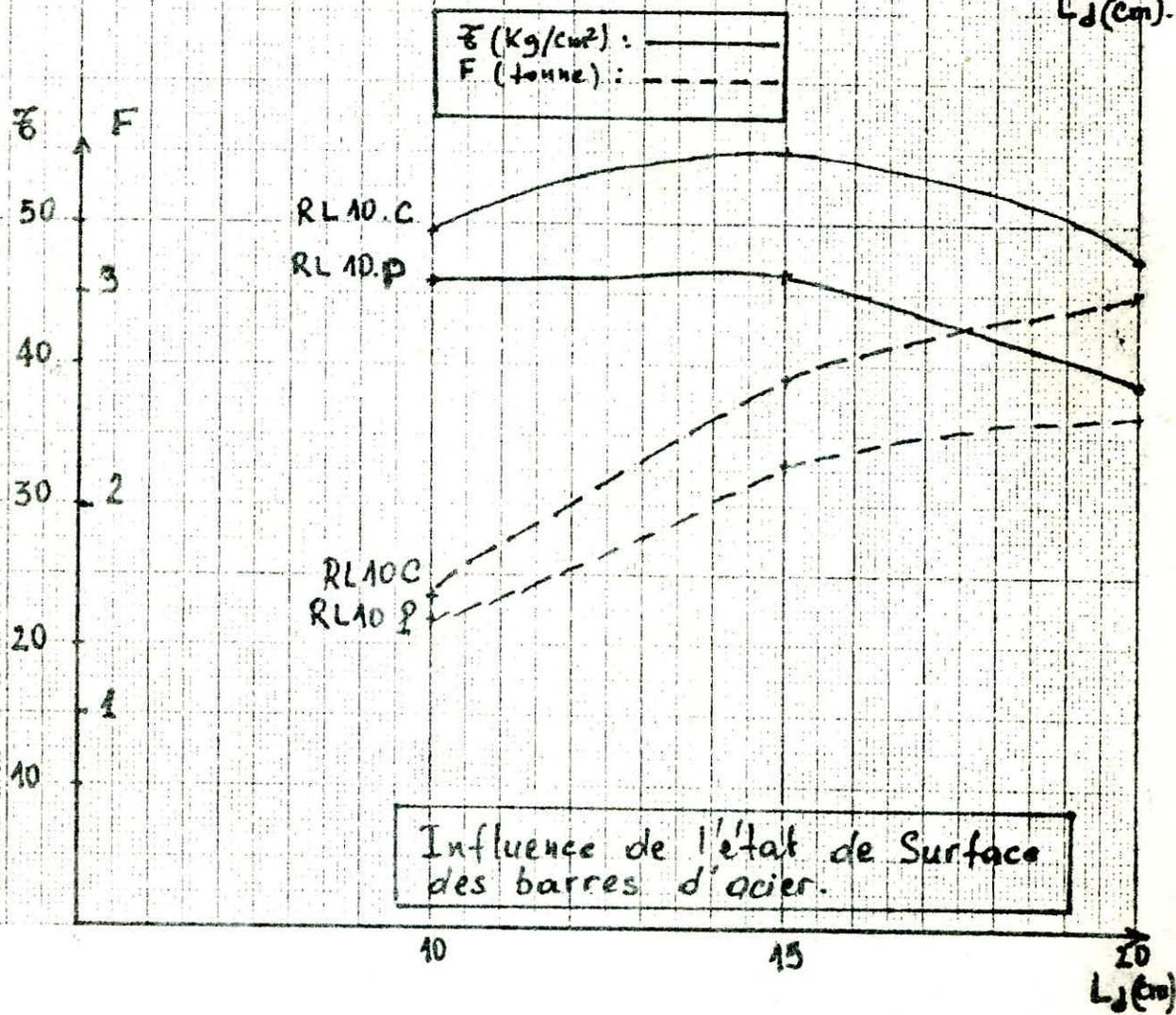
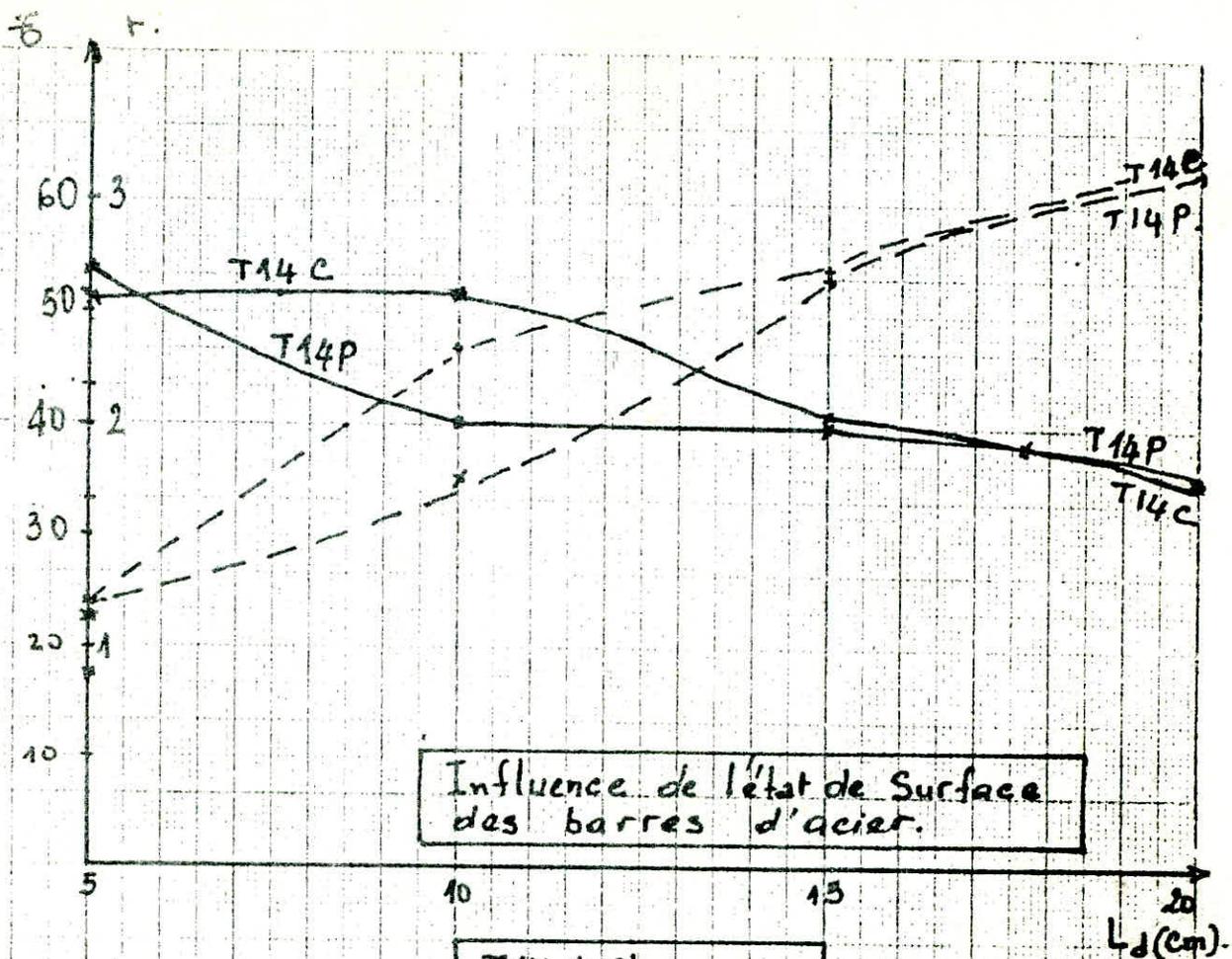
- l'effort de traction croit en effet avec cette longueur la contrainte d'adhérence décroît avec une pente qui s'atténue en s'approchant de la longueur d'ancrage optimale.

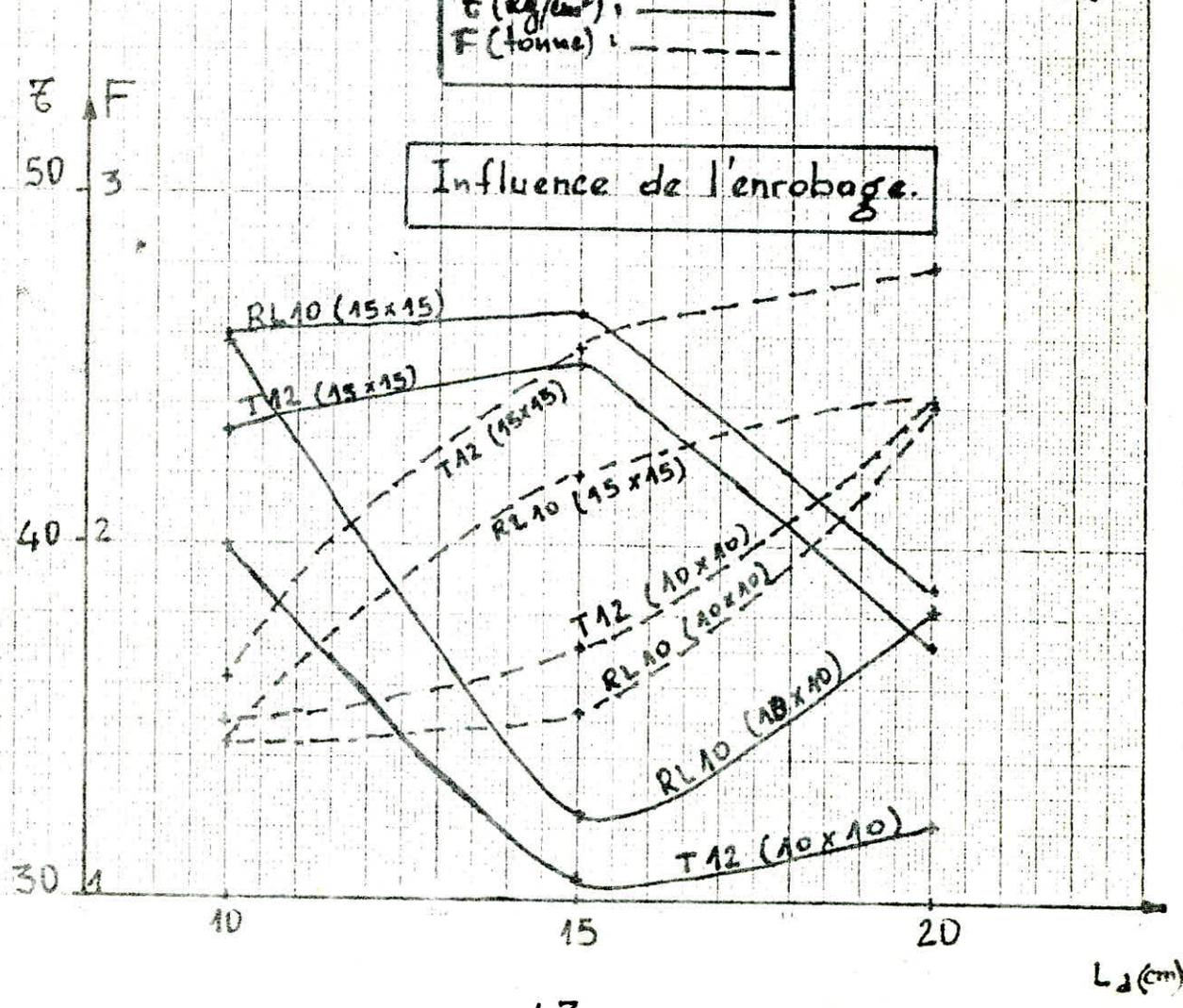
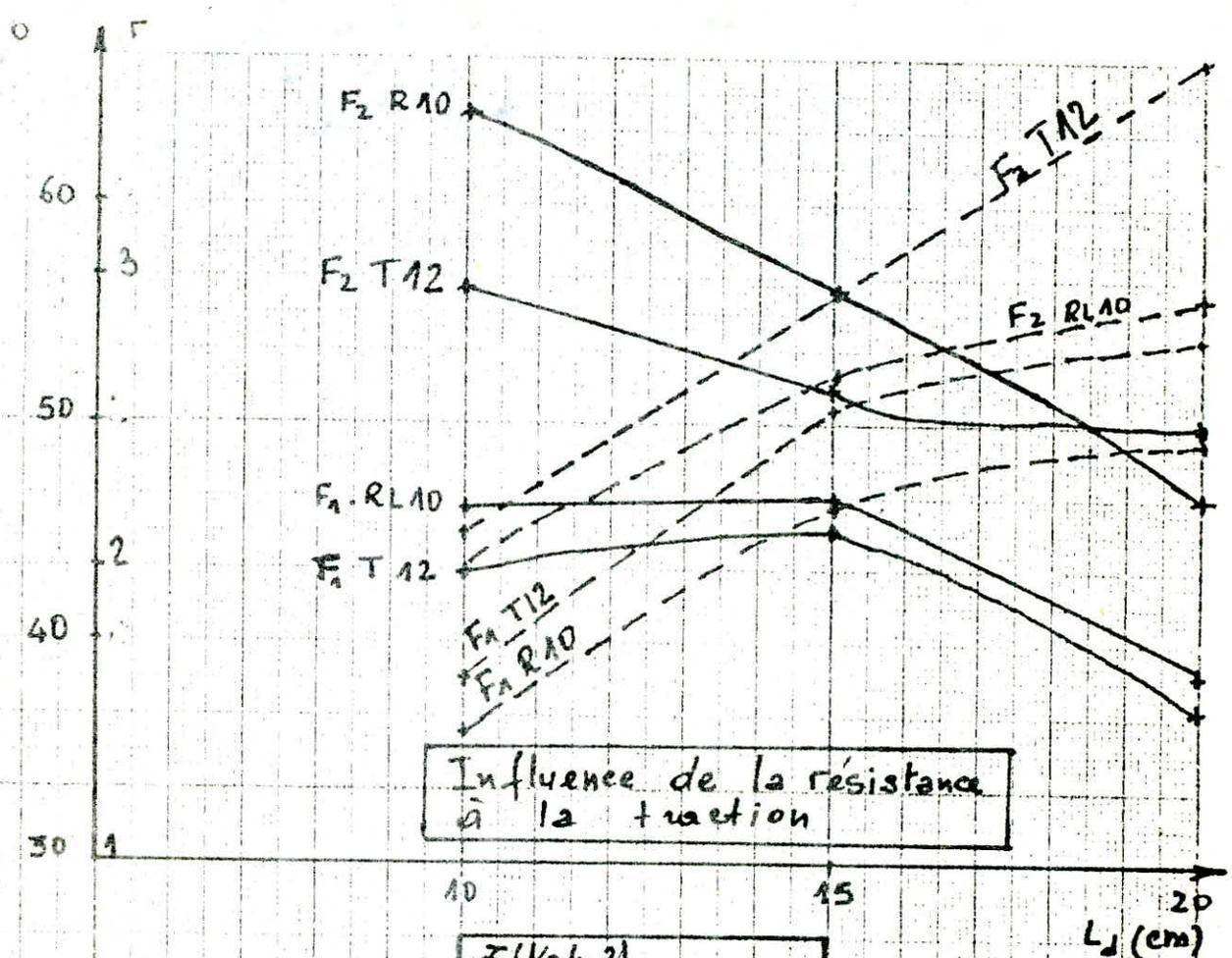
= Influence de l'âge du béton

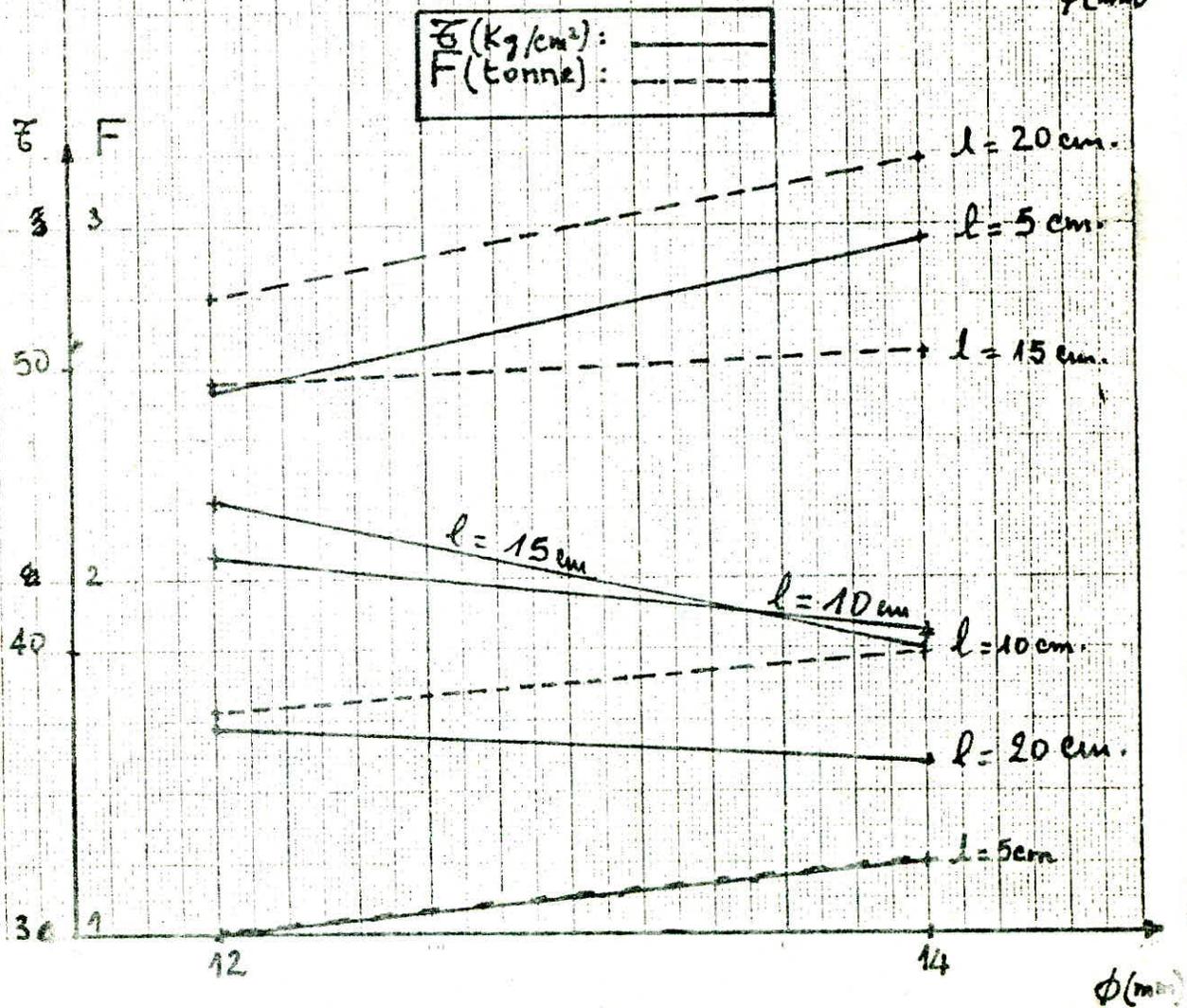
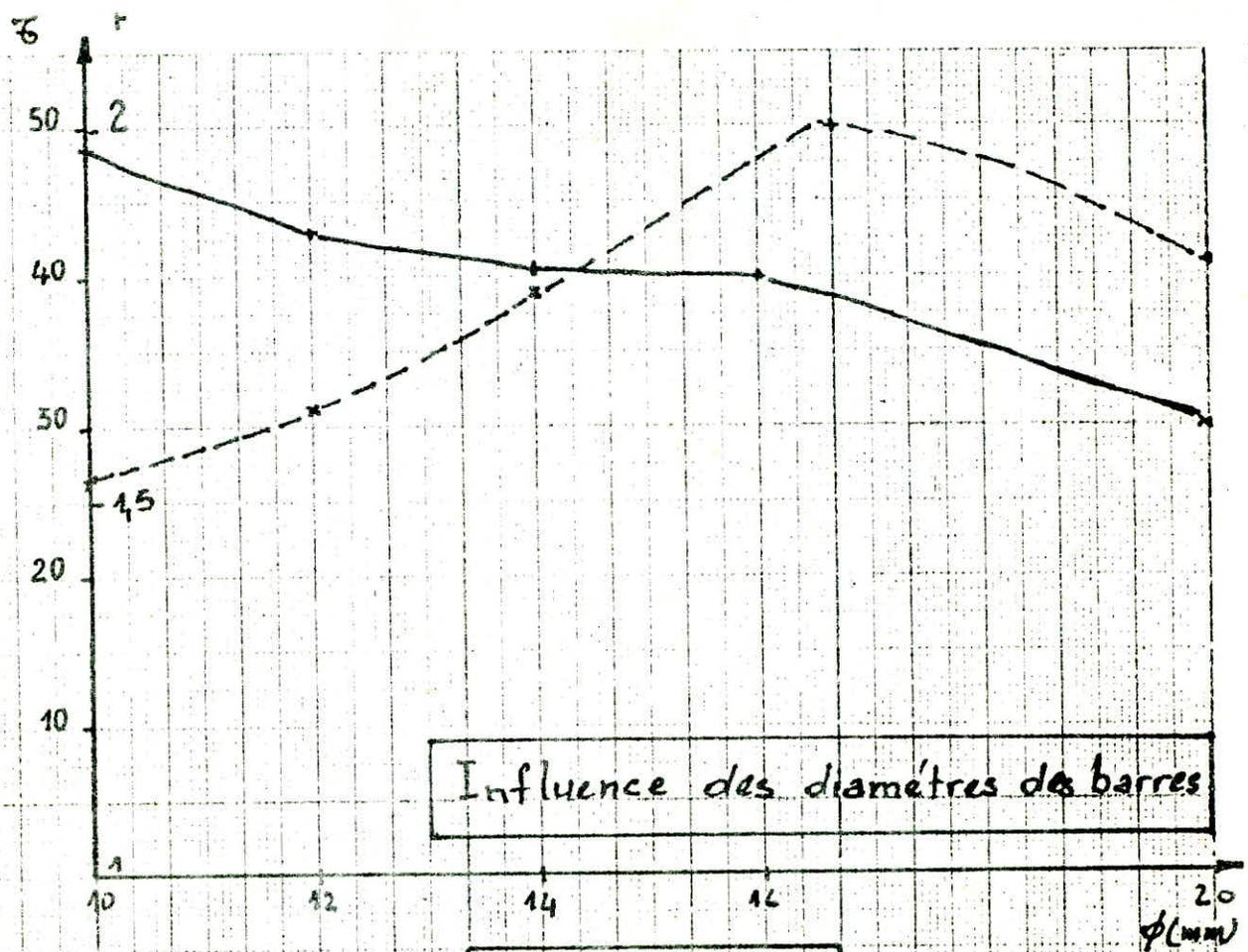
Vu que la résistance du béton augmente avec l'âge, la contrainte d'adhérence croît elle aussi.

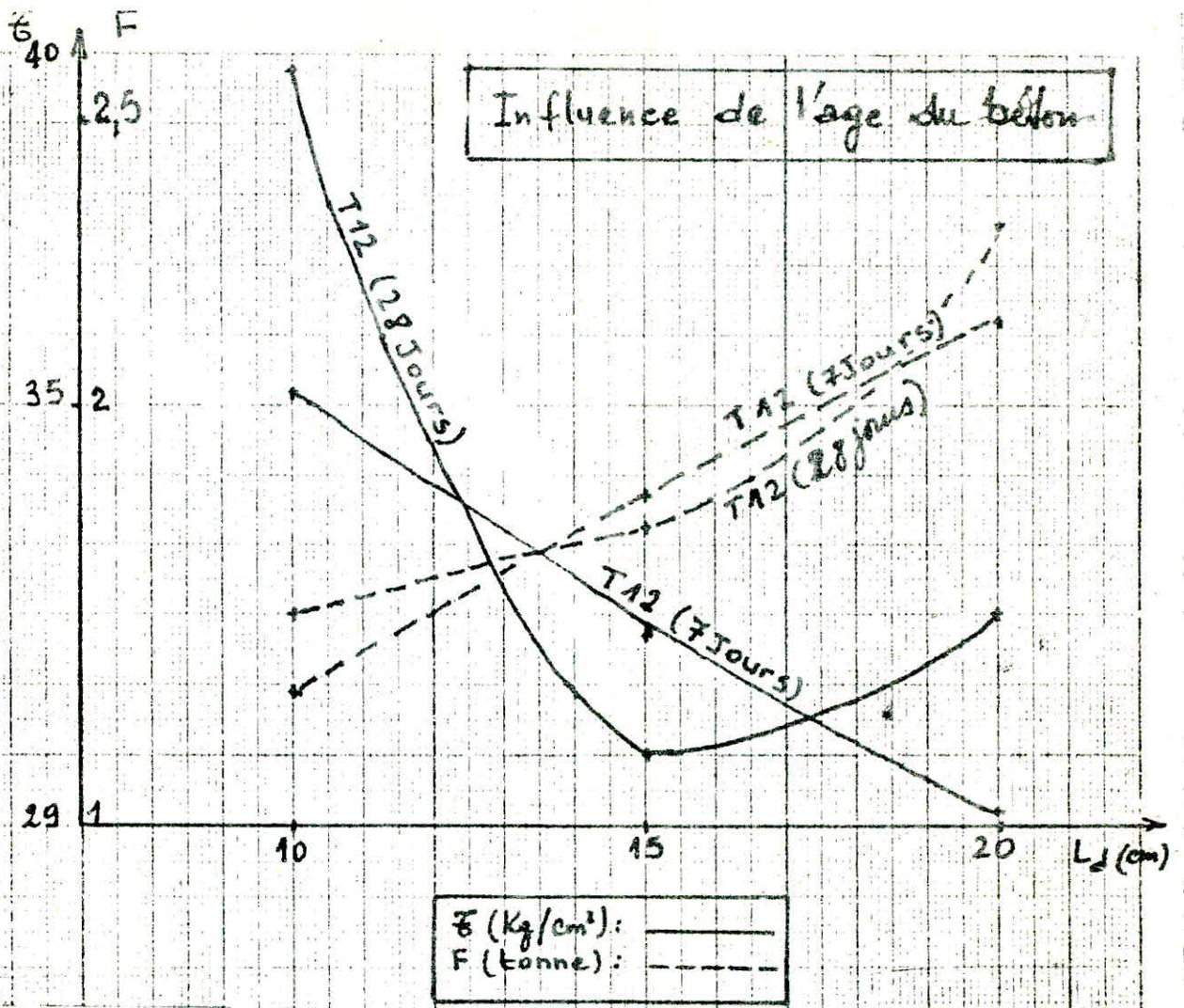
En effet plus le béton est résistant plus l'effort de traction est grand.





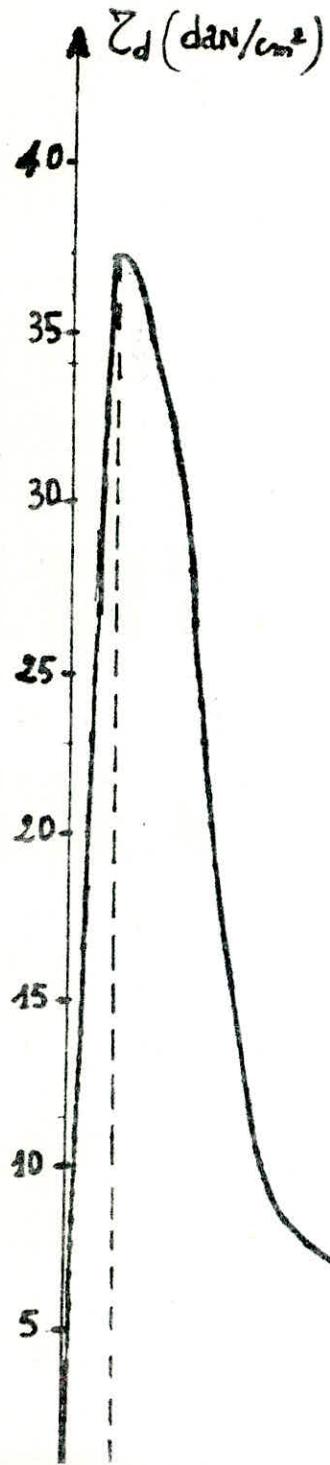






GRAPHE

Composition : Sable.Ciment.Eau
Dimension des éprouvettes : 15 x 15 x 40 cm
Diametre des barres : T 14
Longueur d'ancrage: l_d 20 cm



CONCLUSION :

Les résultats des essais effectués, nous permettent de formuler les deux conclusions suivantes :

Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui du béton classique (normale) donnant ainsi des résultats analogues à ce dernier à savoir un T_{ultime} (contrainte ultime) variant entre 30 et 60 bars.

L'association béton de sable-acier a engendé une adhérence suffisante entre le béton et l'acier, ce qui permet d'envisager l'utilisation de ce béton comme béton structurel.

ESSAIS SUR ELEMENTS STRUCTURELS:

POUTRES

· FLEXION ·

· CISAILLEMENT ·

INTRODUCTION

Pour une utilisation rationnelle du matériau ; béton de sable dunaire, il est nécessaire de connaître son comportement structurel.

Deux types d'essais ont été effectués au laboratoire pour l'étude du comportement du béton de sable:

- Des essais de flexion simple
- Des essais de cisaillement

A- PROGRAMME DES ESSAIS

1 - FORME ET ARMATURE DES POUTRES

Le programme des essais comporterait quatre poutres à section rectangulaire et avait pour but d'examiner le comportement d'une poutre en béton de sable (dunaire) armé, soumise à la flexion et au cisaillement.

Les poutres examinées sont désignées par les symboles suivants :

- F. I. : Poutre en béton confiné soumise à la flexion (voir figure : page 51)
- F.II : Poutre en béton non confiné soumise à la flexion (voir figure: page 52)
- C.I : Poutre soumise à l'effort tranchant non armé transversalement (voir figure page 53)
- C.II : Poutre soumise à l'effort tranchant armée transversalement (voir figure page 54)

Les quatre poutres ont été munies de la même armature longitudinale (2T12) L'armature transversale des poutres a été conçue de telle manière que la rupture ait lieu dans la zone du moment fléchissant maximum pour les poutres F I et F II, un renforcement des poutres a été nécessaire afin d'éviter la rupture prématurée de ces poutres dans la zone de l'effort tranchant maximal.

./...

La poutre C.I; n'avait pas d'armature transversales (juste 3 cadres \varnothing 6 au niveau de l'appui), mais la poutre C.II était armée transversalement par des cadres (\varnothing 6) espacés de 15 cm. Le ferrailage des différentes poutres est représenté dans les schémas : figures 1 ; 2 ; 3 ; 4.

Composition du béton utilisé :

La composition du béton retenue pour la confection des poutres est la composition de formule I : ciment, sable et eau, dont les caractéristiques ont été présentés, dans les chapitres précédents.

Coffrage et conservation :

Le coffrage utilisé est un coffrage métallique

Les essais ont été exécutés à 28 jours, les poutres étaient conservées à l'air libre et maintenues humide par arrosage quotidien (emploi de paillasons humides)

Descriptions des essais :

Le dispositif de mise en charge employé est représenté sur la photo 1 ; il permettait d'obtenir une force correspondant à la charge choisie, cette force est lue sur un cadran gradué.

Appareillage :

- Presse 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 force : relié à un capteur digital, servant à régulariser la force exercée

./...

- Des jauges d'acier ($R = 120 \Omega$) fixées sur les barres d'acier tendues
- Des jauges à béton : fixées sur la surface du béton
- Un pont d'extensométrie : ayant plusieurs sorties, auquel sont reliées les jauges.

Les flèches des poutres ont été mesurées au moyen de comparateurs mécaniques gradués, l'influence du poids propre de la poutre sur la flèche et sur l'état de contrainte comme étant petite a été négligée.

Le premier palier de charge était égal à 150 kg f en chacun des deux points de la charge concentrée. Les paliers successifs étaient égaux à 250 kg f pour chaque point.

Le développement des fissures a été observé à l'œil nu et avec une loupe.

A - OBSERVATIONS EXPERIMENTALES

En faisant croître les charges P par incréments réguliers, nous observons l'évolution des phénomènes suivants :

- La déformation du béton enregistrée sur le pont d'extensométrie
- La déformation de l'acier
- L'évolution de la flèche
- Apparition des fissures.

1 - MORPHOLOGIE DES FISSURES : (Voir figure N°1 - 2 - 3 et 4)

- Dans un premier temps, le béton n'est pas fissuré
- Ensuite dans un deuxième temps, apparaissent des fissures inclinées dans la zone d'effort tranchant et des fissures verticales en fibres inf dans la zone de moment fléchissant

Si on augmente encore la charge, les fissures dans la zone d'effort tranchant progressent vers la face supérieure en s'inclinant toujours davantage et les fissures dans la zone de moment fléchissant deviennent de plus en plus nombreuses et importantes.

On observe ainsi la formation de fissures horizontales, le long des armatures longitudinales.

./...

F1

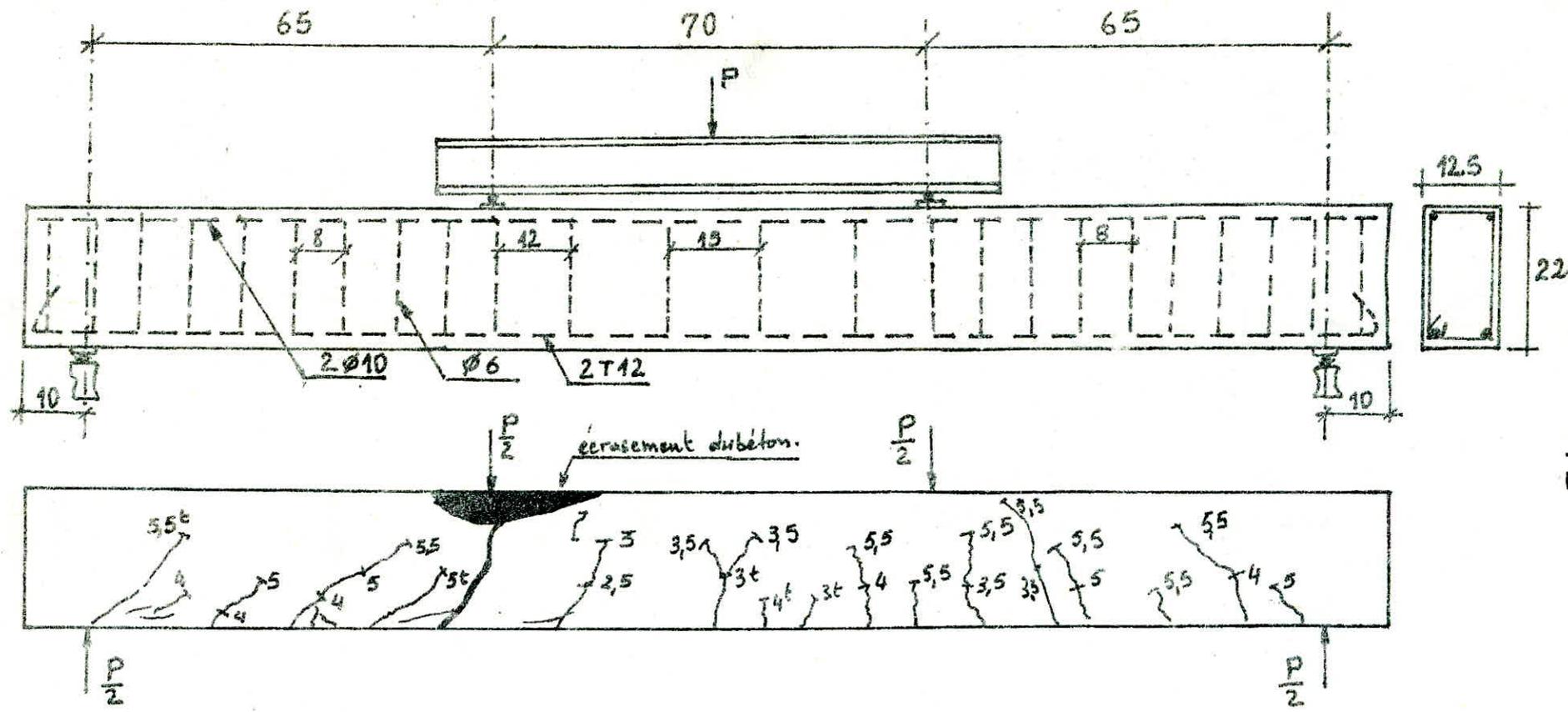


fig:1

F2

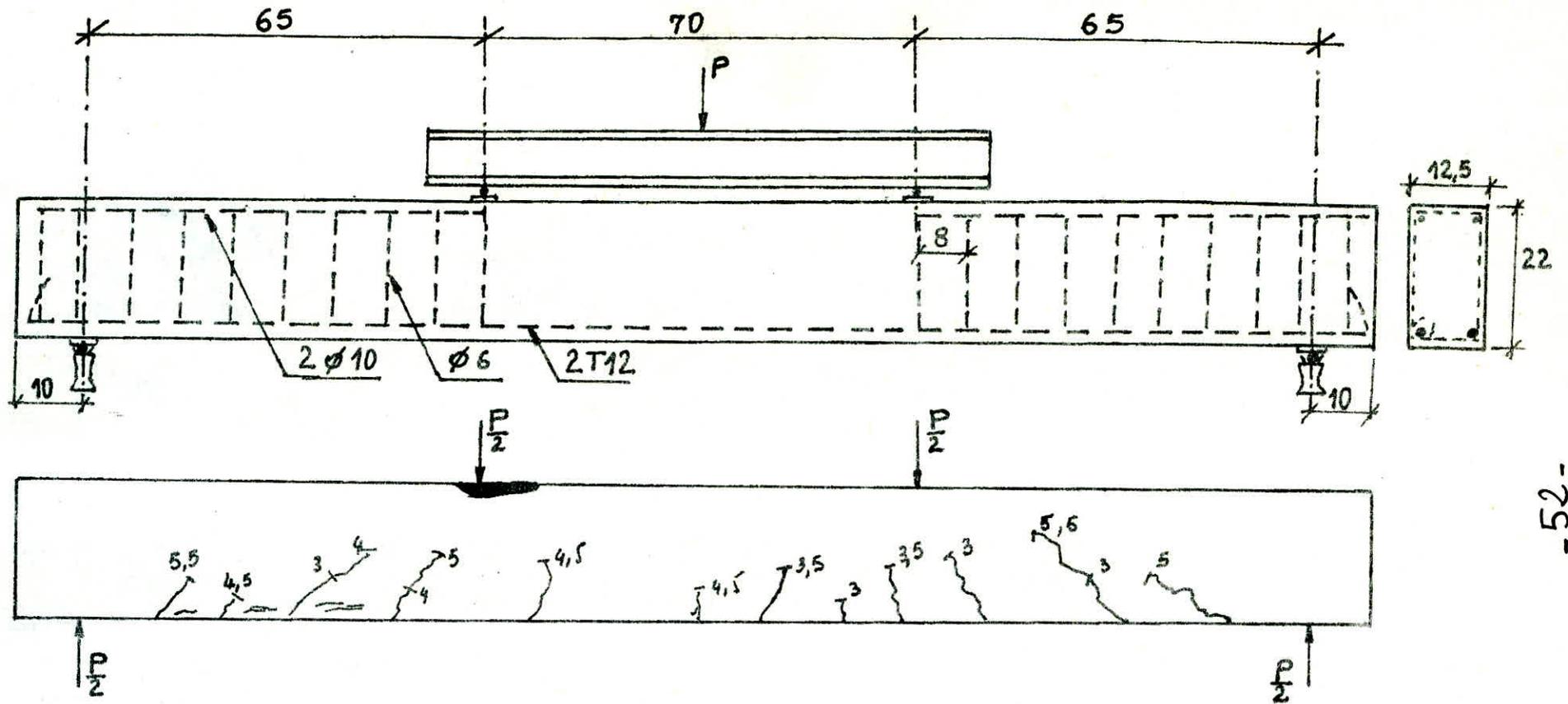


fig : 2

C1

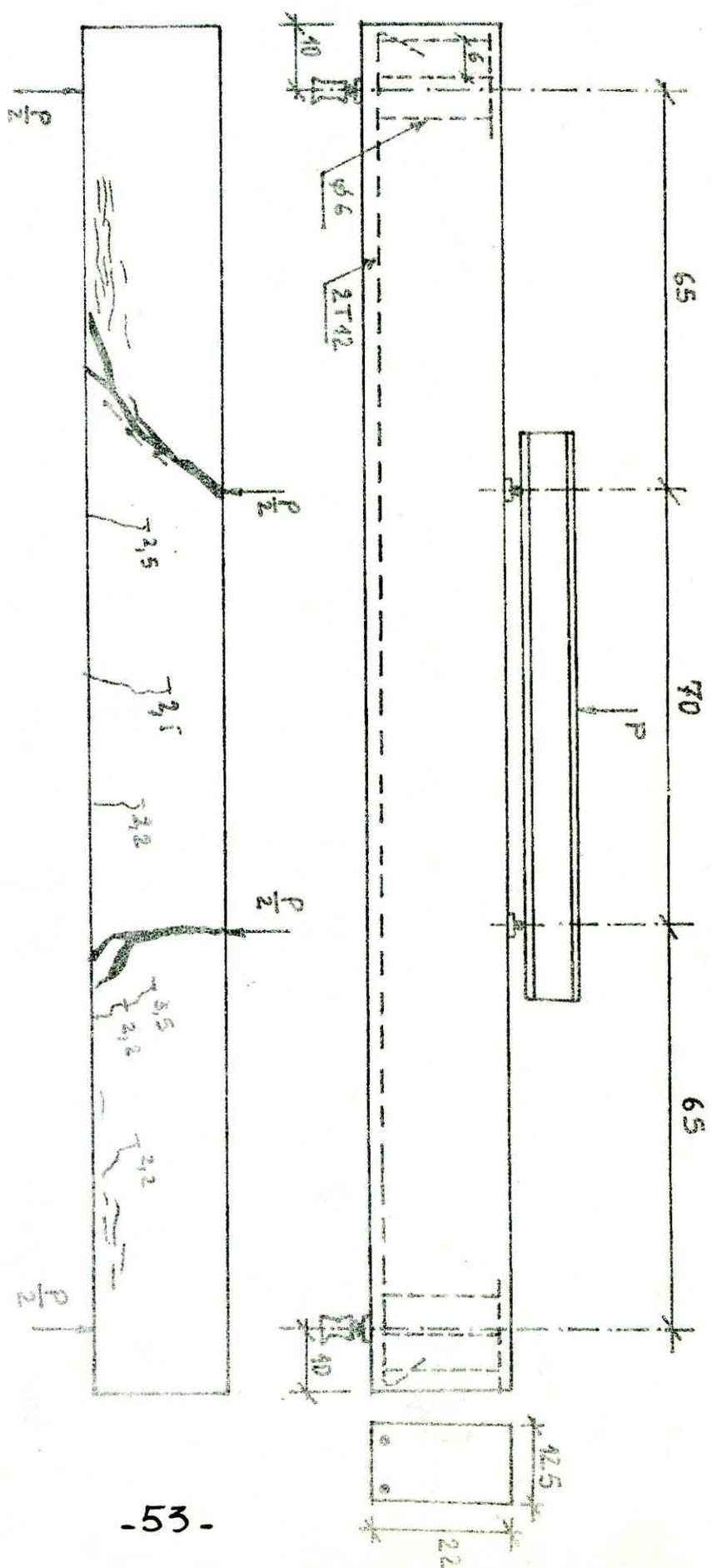
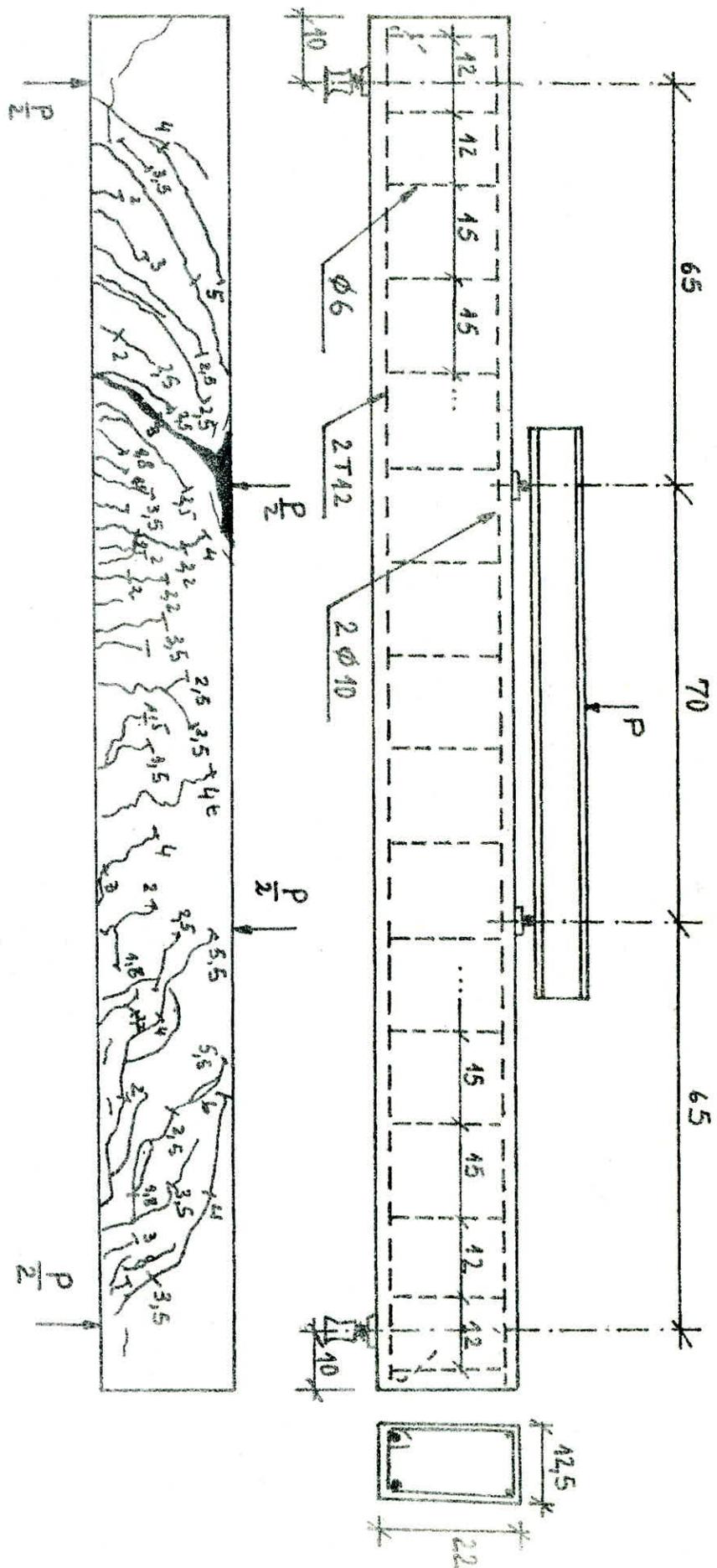


Fig. 3

C2

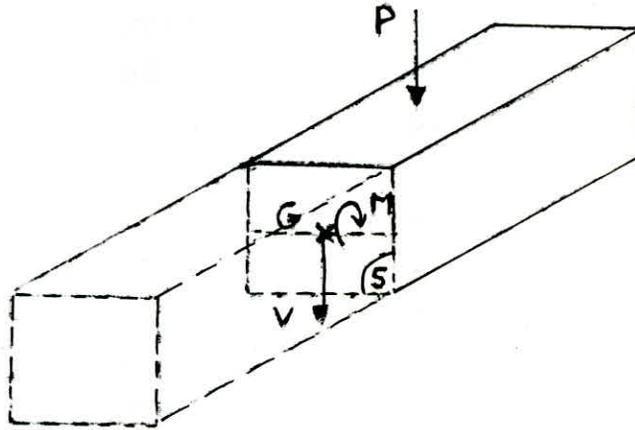


ETUDE THEORIQUE

A - POUTRES SOUMISES A LA FLEXION SIMPLE

DEFINITION

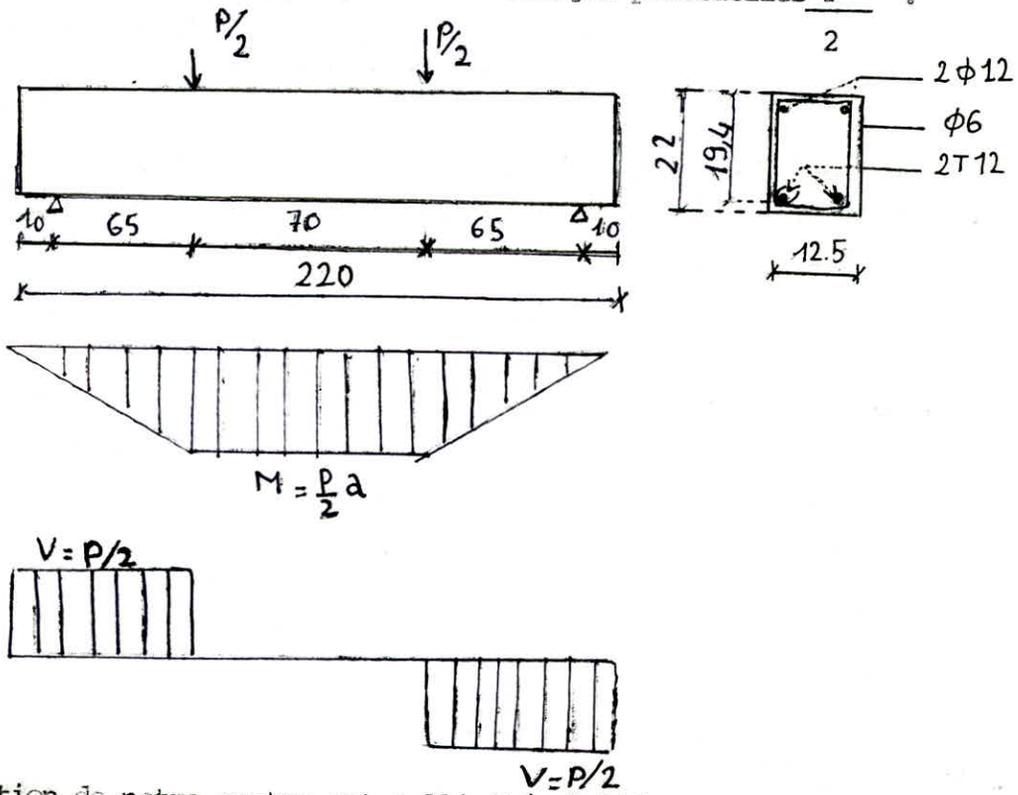
- Une poutre à plan moyen est sollicitée en flexion simple lorsque :
- elle est soumise à l'action des forces disposées symétriquement par rapport au plan moyen
 - la réduction au centre de gravité de la section, des forces à gauche de cette section se décompose en :
 - . Un couple M (moment fléchissant) d'axe perpendiculaire à la fibre moyenne.
 - . Une force V (effort tranchant) située dans le plan de la section S .



Avant de présenter les résultats expérimentaux obtenus, faisons un calcul théorique pour comparer les résultats théoriques aux résultats expérimentaux. Nous utilisons les règles BAEL 80 pour avoir une idée sur la conformité de ces règles au béton de sable.

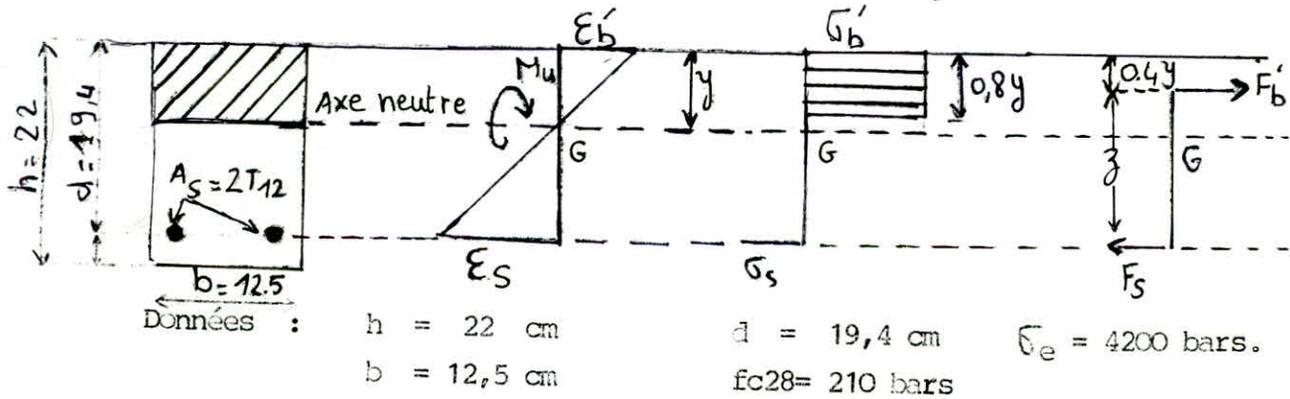
./...

Considérons la poutre en béton de sable armé posée sur deux appuis simples et sur laquelle nous appliquons deux charges ponctuelles P :



La section de notre poutre est sollicitée à l'état limite ultime par un moment fléchissant ultime M_u positif : compression des fibres supérieures et traction des fibres inférieures.

D'après les règles du BAEL 80. Nous avons les diagramme suivants :



./...

Les règles BAEL limitent le raccourcissement unitaire du béton en flexion à 3,5 ‰ et l'allongement unitaire de l'acier à 10 ‰.

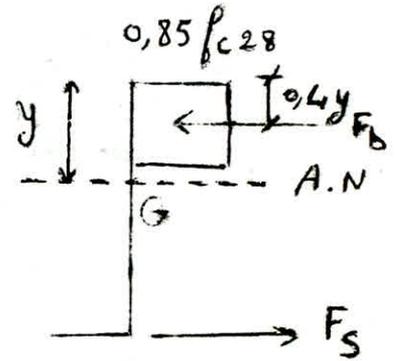
* Calculons la quantité d'acier optimale, lorsque le béton comprimé, travaille à l'état limite de déformation $\epsilon_b = 3,5 \text{ ‰}$

On a : $f_{c28} = 210 \text{ bars}$

Position de l'axe neutre (théorique)

on sait que : $F_b = 0,85 f_{c28} * 0,8 y * b$

$$F_b = 1785 y \quad (1)$$



d'autre part :

$$M/G = 0 \quad F_b * 0,6 y = F_a (d - y)$$

$$F_a = \frac{F_b * 0,6 y}{(d - y)} \quad (2)$$

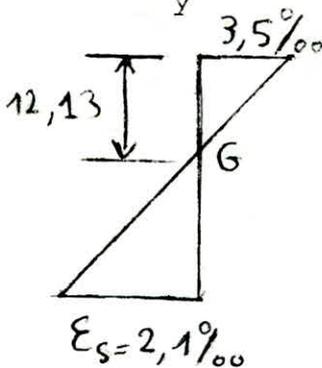
Pour qu'il ait équilibre, il faut que $F_b = F_a$; on cherchera donc y donnant l'égalité des équations (1) et (2) par itérations :

On trouve : $y = 12,125 \text{ cm}$

$$F_b = F_a = 21,64 \text{ t}$$

On fixe $\epsilon'_b = 3,5 \text{ ‰}$ (état limite de déformation du béton) et en utilisant les rapports de similitude de deux triangles semblables du diagramme des déformations, nous obtenons :

$$\frac{\epsilon_b}{y} = \frac{\epsilon_s}{d - y} \Rightarrow \epsilon_s = \epsilon_b \frac{(d - y)}{y} = 2,1 \text{ ‰}$$



Dans ce cas la quantité d'acier optimale est :

$$A_{op} = \frac{F_a}{\sigma_a} \quad A_{op} = 5,15 \text{ cm}^2$$

Or la section d'acier utilisée est de :

$$A = 2 \text{ T } 12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

Donc notre poutre est sous-armée car :

$$A < A_{op}$$

Recherchons la position de l'axe neutre dans notre cas c'est à dire dans le cas où $A = 2,26 \text{ cm}^2$

$$y = \frac{A \sigma_a}{0,85 f_{c28} * 0,8 b} \quad ; \quad y = \underline{5,32 \text{ cm}}$$

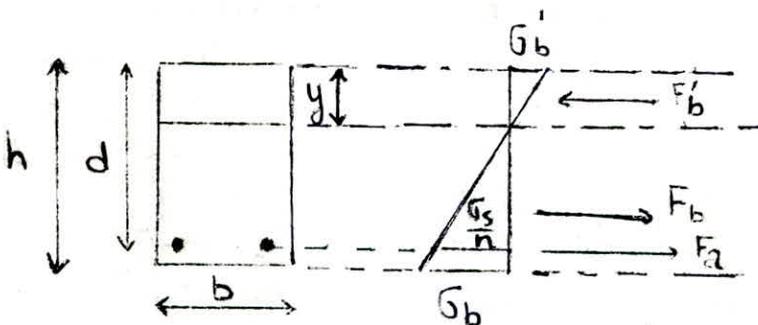
Moment ultime théorique

$$M_{uth} = 0,85 f_{c28} * 0,8 y \cdot b (d - 0,4y) \quad ; \quad M_{uth} = 1,64 \text{ t.m}$$

Charge ultime théorique

$$\frac{P_u}{2} = \frac{M_{ulth}}{a} \quad ; \quad \rightarrow \quad \underline{P_{ult thes} = 5,05 \text{ tonnes}}$$

* Calculons à présent le moment de la première fissuration : faisons un calcul de contraintes élastique en tenant compte du béton tendu :



$$F_b' = F_b + F_a$$

$$F_b' = \frac{1}{2} \sigma_b' b y$$

$$F_b = \frac{1}{2} b \sigma_b (h - y) - n \sigma_b A$$

$$F_a = A \sigma_a$$

En utilisant les rapports de similitude des triangles semblables et en exprimant toutes les contraintes en fonction de la contrainte de traction $\sigma_b = 36,18 b$

on trouve après résolution de l'équation $F'_b = F_b + F_a$

$$y = \frac{2 A \cdot n \cdot d + b h^2}{2 A \cdot n \cdot d + 2 b h}$$

$$y = 11,33 \text{ cm}$$

Moment d'Inertie

$$I = \left(\frac{by^3}{12} + by \frac{y^2}{4} \right) + \left(\frac{b(h-y)^3}{12} + \frac{(h-y)^3}{4} b - A(d-y)^2 \right) + nA(d-y)^2 \rightarrow I = 11710,34 \text{ cm}^4$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = 5$$

d'où le moment de première fissuration

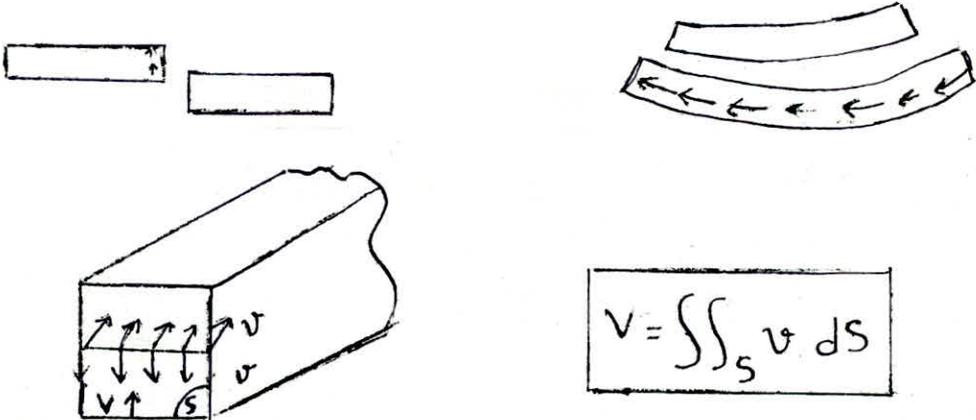
$$M_f = \frac{\sigma_b I}{(h-y)} = 0,40 \text{ t m}$$

charge correspondant à ce moment

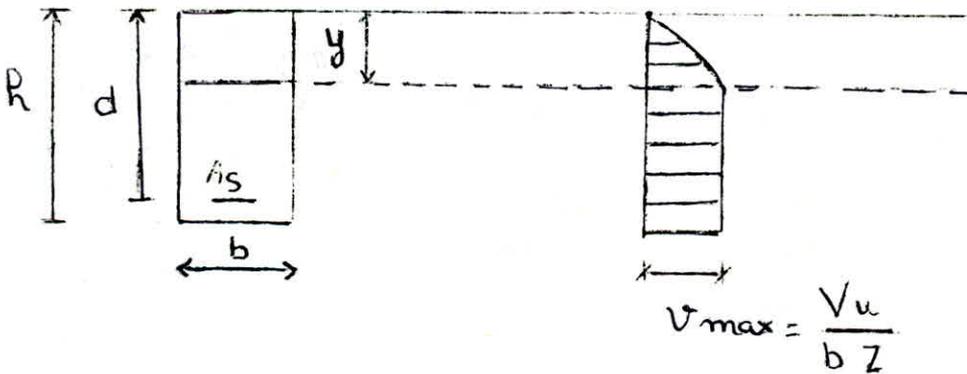
$$\frac{P_f}{2} = \frac{M_f}{a} \Rightarrow P_f = 1,22 \text{ t}$$

B = POUTRE SOUMISE AUX ACTIONS TANGENTES (CISAILLEMENT)

L'effort tranchant fait glisser les uns par rapport aux autres les plans perpendiculaires au plan moyen, et les plans parallèles au plan moyen. Des contraintes tangentés y apparaissent dans ces plans pour s'opposer à ces glissements.



En gardant l'hypothèse faite à propos de la flexion, de la non-intervention du béton tendu, la répartition de la contrainte tangente sur la hauteur de la poutre est



Au chapitre A5 le BAEL propose que :

$$v_u = \frac{V_u}{b \cdot d}$$

b = largeur de la section

d = hauteur utile

V_u = effort tranchant ultime

v_u = Contrainte nominale

Nous vérifierons dans ce qui suit la validité de formules établies pour le béton classique, sur le béton de sable dunaire.

Les règles britanniques proposent la formule suivante, pour la vérification du cisaillement

$$\text{Formule CP 110} \quad \frac{A_{st}}{s_t} \geq b \left(\frac{V_{2u} - V_{1u}}{0,87 \sigma_{aty}} \right)$$

Le CEB quant à lui propose :

$$V_{2u} = \frac{A_{st}}{b s_t} * 0,95 \sigma_{aty} + 2,5 V_{1u}$$

Où : A_{st} = Section d'armature transversale

A_{st} = Ø 6 = 0,283 cm² dans notre cas

s_t = Espacement des cadres = 15 cm dans notre cas

v₁ = Contrainte tangentielle reprise par le béton seule (sans armature transversale)

v₂ = Contrainte tangentielle reprise par la section en présence d'armature transversale.

σ_{aty} = Limite d'élasticité des aciers transversaux = 2 400 bars

b = largeur de la section

* L'essai sur la poutre C.I (sans armature transversale) à donné :

$$V_{1u} = 1,764 \text{ t}$$

d'où

$$v_{1u} = \frac{V_{1u}}{b \cdot d}$$

$$v_{1u} = 7,27 \text{ bars}$$

Les codes quant à eux donnent pour le béton classique, une contrainte limite $v_{1u} = 6 \div 8$ bars

* L'essai sur la poutre C.II (armée transversalement) a donné un effort tranchant ultime de valeur $V_{2u} = 3,361$ t

$$v_{2u} = \frac{V_{2u}}{b \cdot d} \quad v_{2u} = 13,86 \text{ bars}$$

Vérification de la formule CP 110

$$v_{2u \text{ cp 110}} = \frac{A_{st}}{b \cdot s_t} \cdot 0,87 \cdot \sigma_{at y} + v_{1u} = 10,42 \text{ bars}$$

$$v_{2u \text{ Experi}} = 13,86 \text{ bars}$$

$$v_{2u \text{ cp 110}} < v_{2u \text{ exp}}$$

On remarque que la formule CP 110 donne une contrainte tangente inférieure à celle obtenue expérimentalement, ce qui montre que cette formule s'applique bien au béton de sable, car elle est conservatrice et sécuritaire.

Vérification de la formule proposé par le C.E.B :

$$v_{2 \text{ CEB}} = \frac{A_{st}}{b \cdot s_t} * 0,9 \cdot \sigma_{at y} + 2,5 v_{1u} = 21,43 \text{ Bars}$$

$$v_{2u \text{ CEB}} > v_{2u \text{ Exp}}$$

La formule proposée par le CEB n'est donc pas sécuritaire, étant donné que la contrainte tangentielle donnée par le règlement est supérieure à celle donnée par l'expérience.

La formule du CEB n'est pas applicable au béton de sable.

Finalement, on peut dire que certaines règles établies pour le béton classique sont applicables au béton de sable, puisque la sécurité est assurée (ce qui est le cas de la formule CP 110) proposée par les règles britanniques, tandis que d'autres ne le sont pas (formule proposée par le CEB par exemple) il s'agit donc d'établir des règles propres au béton de sable et cela en faisant beaucoup d'essais pour mieux connaître le comportement de celui-ci

RESULTATS DES DIFFERENTS ESSAIS EXECUTES

Les résultats des essais sont récapitulés dans le tableau I

Des courbes donnant :

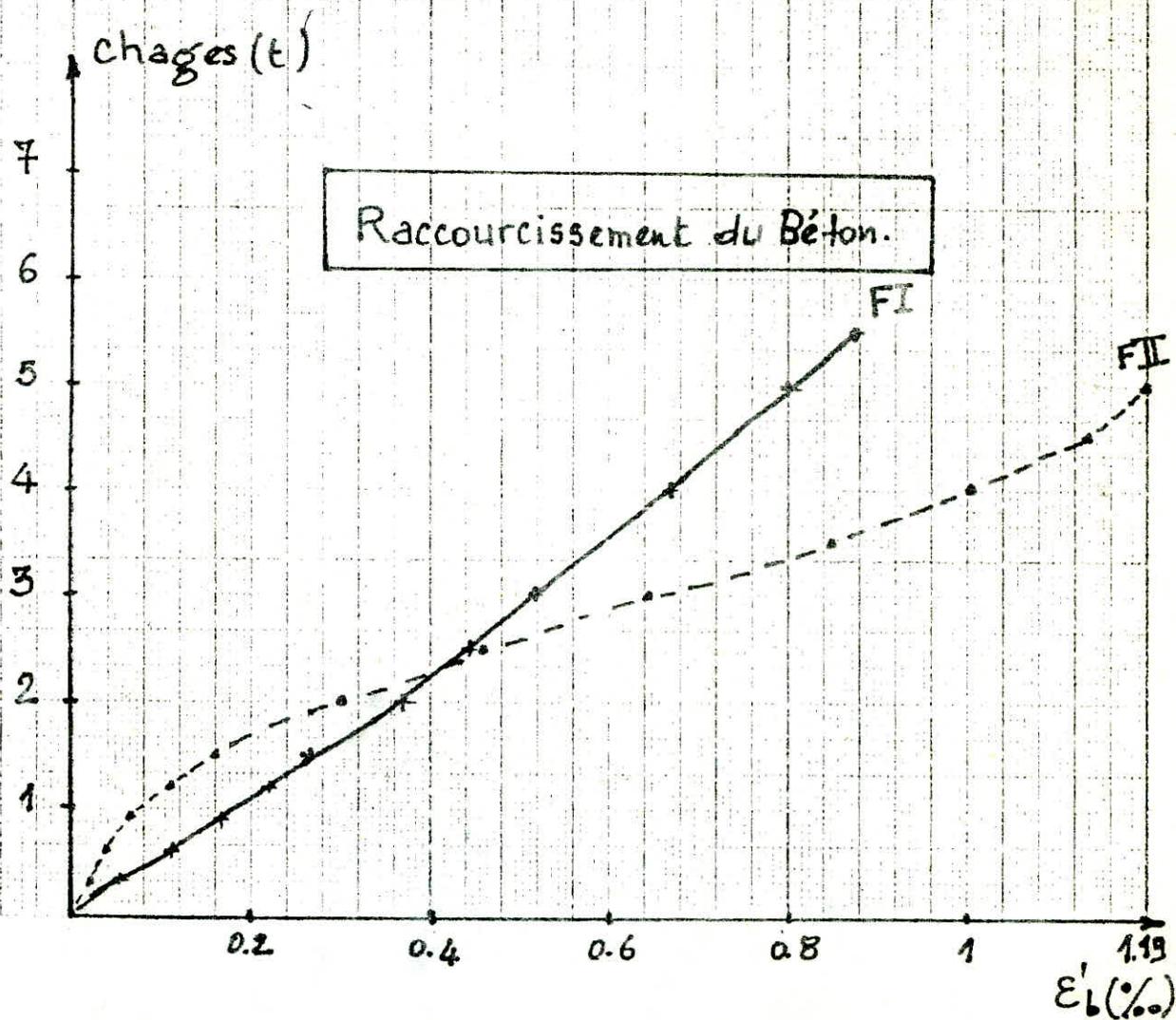
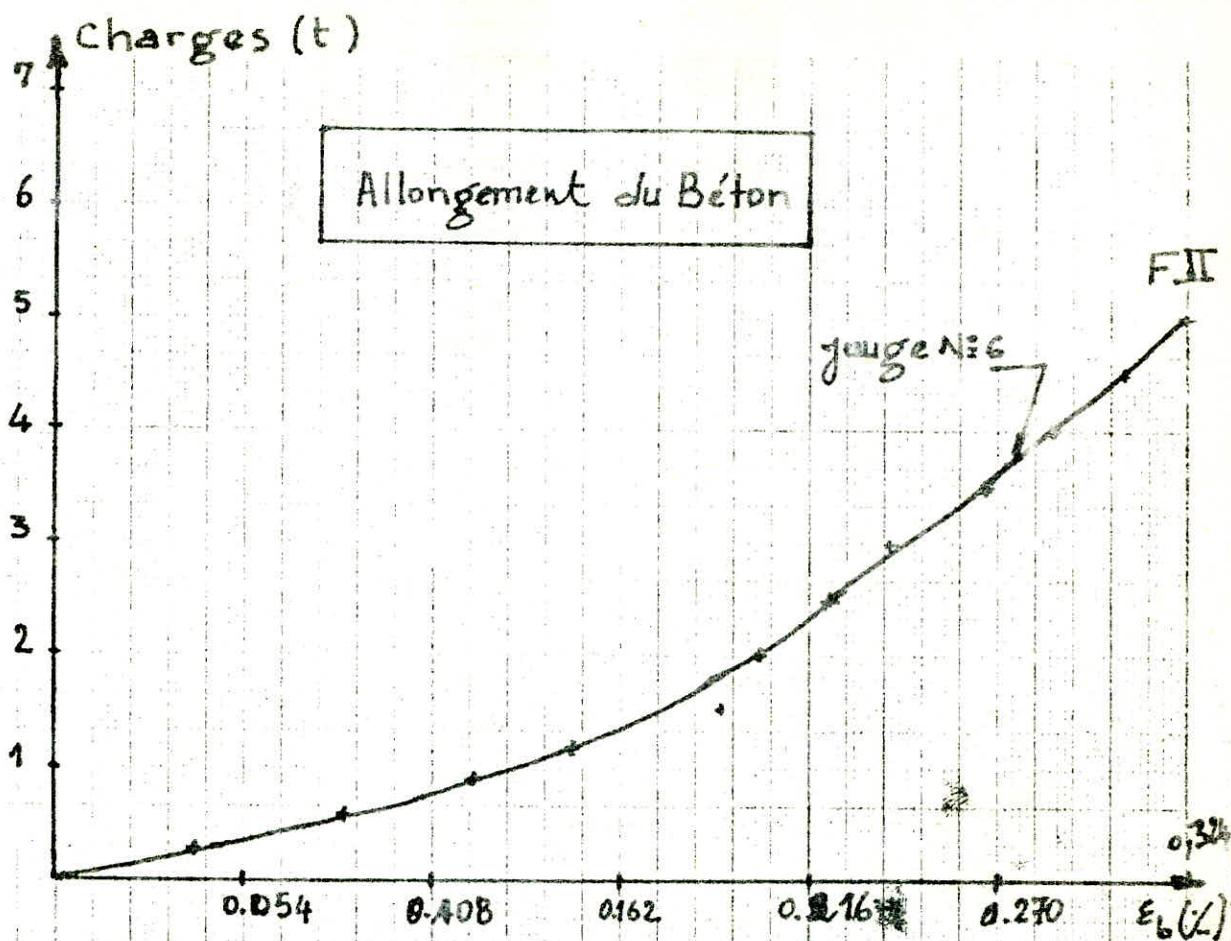
- Les déformations de l'acier
- Les déformations du béton
- Les flèches

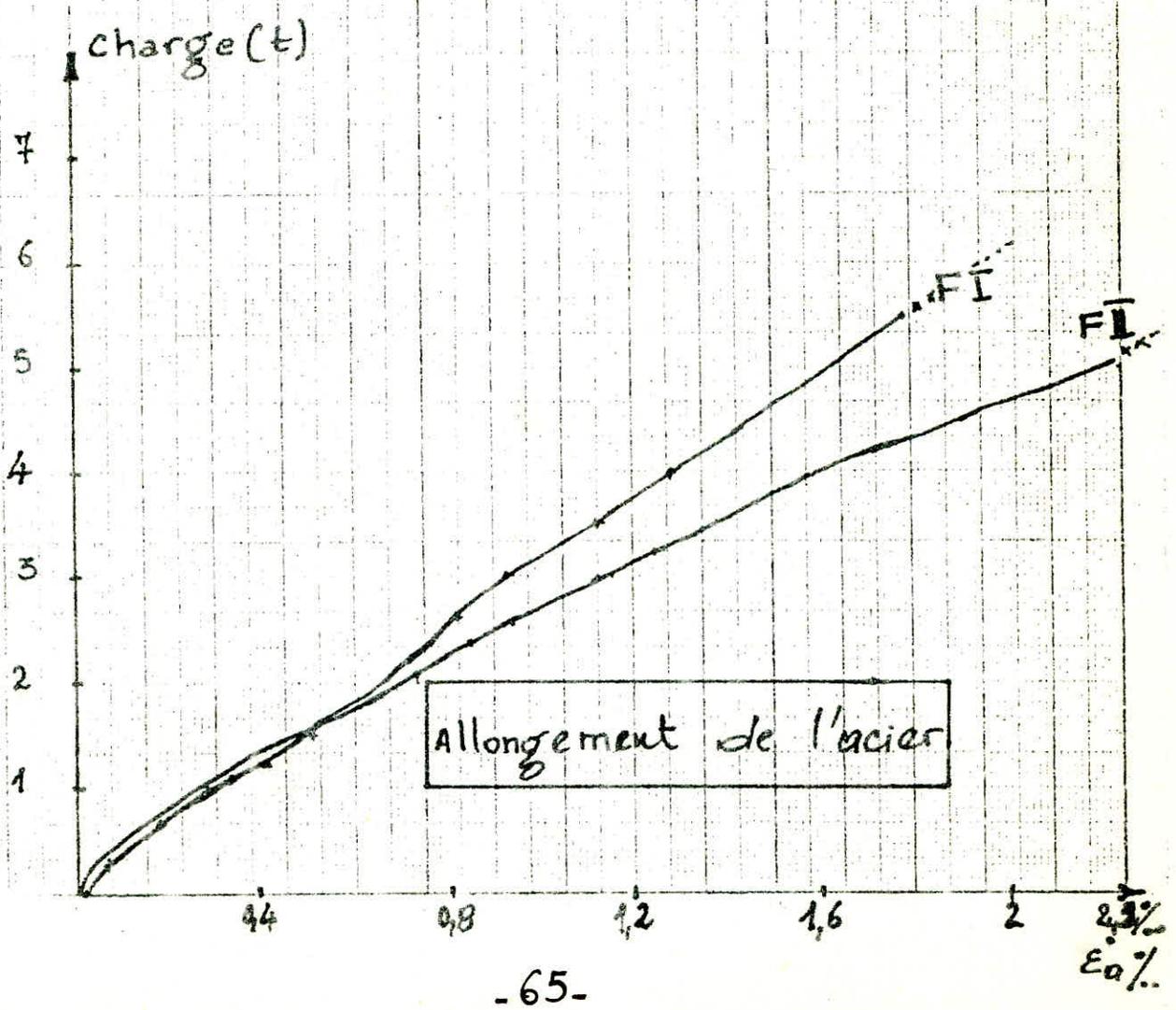
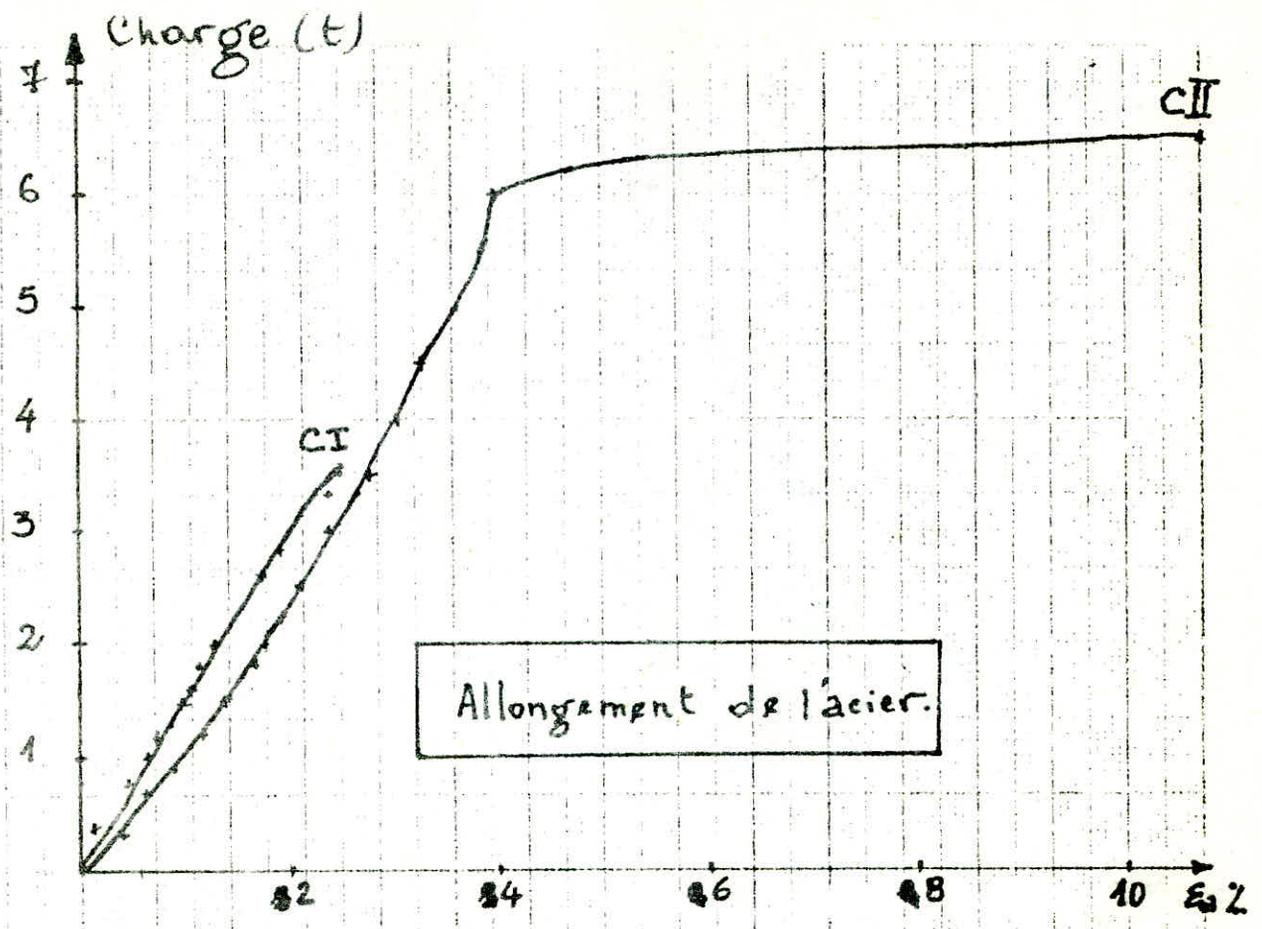
sont données en page. 64, 65 et 66

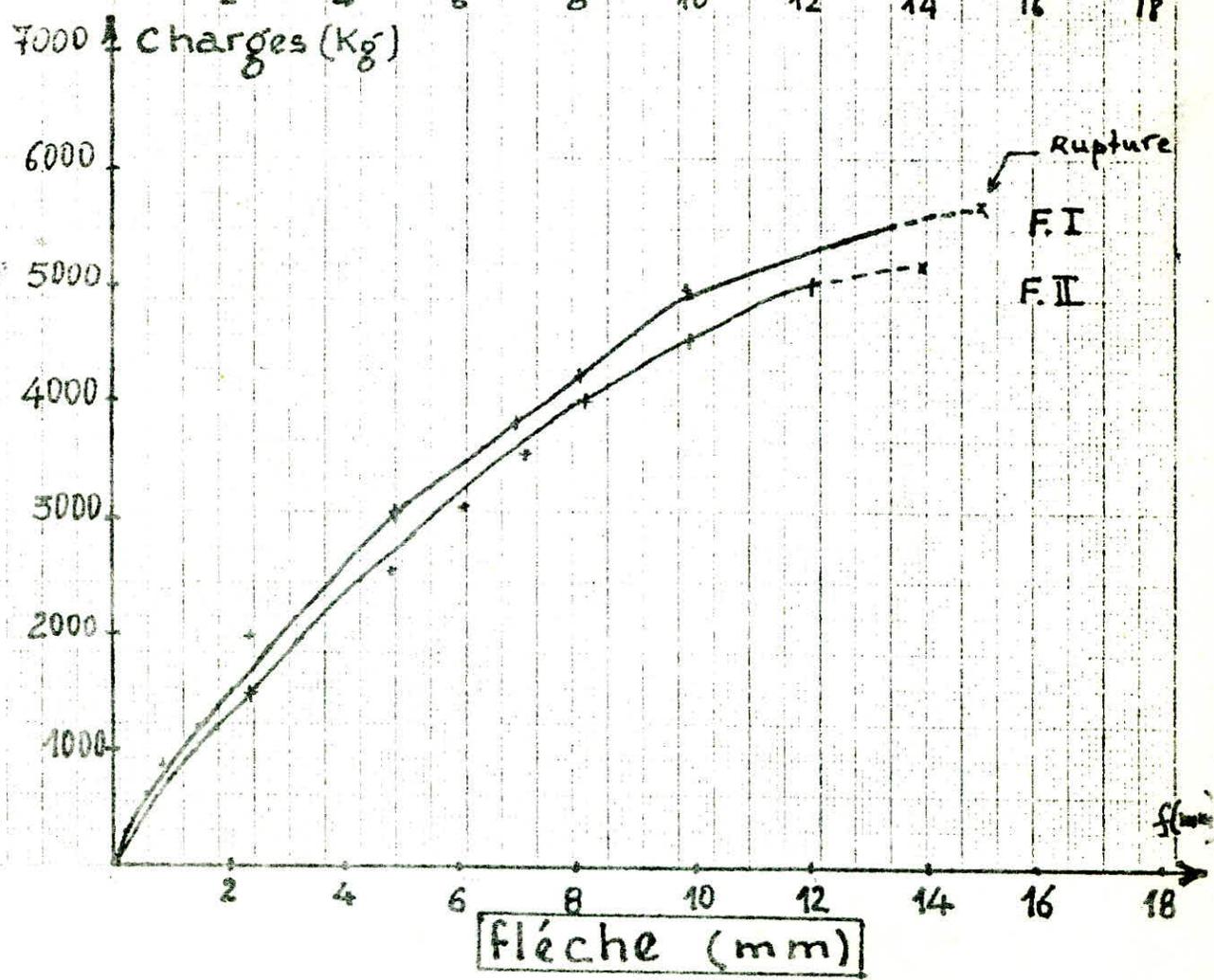
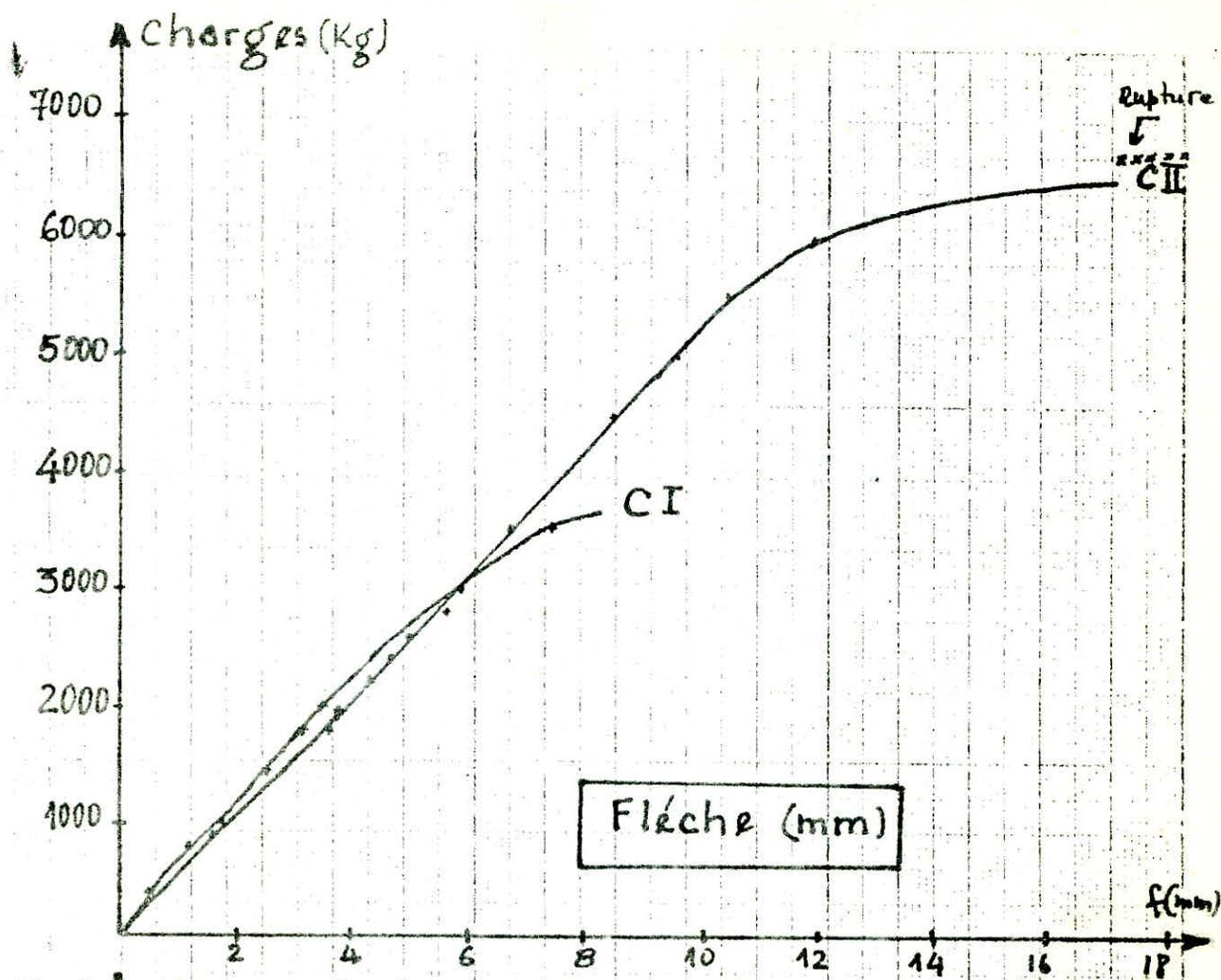
- TABLEAU N°1 -

POUTRES	F 1	F II	C I	C II
P_u (t)	5,83	5,40	3,522	6,722
M_u (t.m)	1,90	1,76	1,147	2,185
P_f (t)	2,50	3,00	2,20	1,500
M_f (t. m)	0,81	0,98	0,715	0,488
ϵ'_b (‰)	0,371	1,192	0,810	1,09
ϵ_d (‰)	1,790	2,254	2,40	10,71
f (mm)	13,45	12,01	7,41	17,072
P_{if} (t)	3,5	3	2,2	3

- P_{ult} = Charge ultime
 M_u = Moment ultime
 P_f = Charge donnant la première fissuration
 M_f = Moment correspondant à la première fissuration
 = Raccourcissement unitaire du béton comprimé
 = Allongement unitaire de l'acier tendu
 f = Flèche
 P_{if} = Charge donnant la première fissure.







ANALYSE DES RESULTATS :

POUTRE F I :

D'après la répartition des fissures, représentée sur la figure 1 page. On voit que la première fissure due à la flexion était ouverte au Centre de la travée sous la force $P_f = 2,5 \text{ tf}$, correspondant au moment de fissuration $M_f = 0,81 \text{ tfm}$. Pour cet état de charge l'allongement unitaire des aciers tendus était de 1,79 % (valeur approximative, car la jauge a rompu avant la fin de l'essai) et le raccourcissement unitaire du béton ϵ_c était de 0,871 %.

La première fissure inclinée a été observée sous la charge $P_f = 3,5 \text{ t f}$. La rupture est survenue brusquement par épauprement et écrasement du béton (insuffisance du béton) sous la force $P_{ult} = 5,83 \text{ tf}$ dans la zone d'application de la charge.

POUTRE F II.

L'essai a montré que pour la poutre F I , la résistance ultime était atteinte par écrasement du béton. sous une force $P_{ult} = 5,4 \text{ t f}$ correspondant à un moment $M_{ult} = 1,76 \text{ tf m}$ l'allongement unitaire de l'acier était de 2,254 %, (donc épuisés) et le raccourcissement du béton était de 1,192 %.

Dans ce cas les fissures n'étaient pas nombreuses et la première fissure est apparue sous une charge de 3 tf correspondant à un moment de fissuration de 0,98 tf m.

En comparant les flèches des poutres F I et F II nous remarquons que la flèche de la poutre F I est supérieure à celle de la poutre F II qui est donc moins ductile que la première. Cette différence de ductilité est due au confinement du béton, en effet le confinement du béton assure une meilleure ductilité de celui-ci.

Néanmoins nous pouvons dire que les flèches sont sensiblement proportionnelles aux charges.

POUTRE C I.

La rupture brusque et prématurée de cette poutre met en évidence la fragilité du béton de sable.

La rupture dans ce cas s'est fait par cisaillement, sous une charge ultime $P_{ult} = 3,528$ t f correspondant à un moment ultime $M_{ult} = 1,147$ t f.m, les fissures étaient très rares dans ce cas.

POUTRE C II.

Le tracé des fissures montre que les fissures verticales dues à la flexion et les fissures obliques de cisaillement se sont ouvertes simultanément sous des charges à peu près du même ordre de grandeur près du point d'application de la force et sur le **ségment** où l'effort tranchant et le moment flechissant interviennent simultanément et d'une façon importante, une très longue fissure s'est manifestée sous la charge $P_f = 3$ t f. Cette fissure a traversé la membrure inférieure, comme une fissure typique due à la flexion, pour devenir une fissure oblique caractéristique du cisaillement. On a constaté aussi que la zone fissurée monte au delà de la position de l'axe neutre théorique (élastique) ce qui justifie d'ailleurs la non-prise en compte du béton tendu dans les régions où la contrainte de traction théorique est inférieure à la contrainte de rupture du béton à la traction.

La rupture a eu lieu sous l'action combinée du moment de flexion et de l'effort tranchant, la force ultime de rupture était de l'ordre de 6,722 tf correspondant à un moment ultime de 2,135 tf m.

CONCLUSION :

Les essais ont permis de reconnaître trois stades principaux du fonctionnement de la pièce en béton de sable chargée :

- La période élastique
- La période élastico-plastique
- La période plastique.

Pour clore ce chapitre nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- Le comportement en flexion d'un élément structural en béton de sable dunaire est pratiquement similaire à celui d'un élément en béton classique (normale) ; en effet :

. Le béton comprimé se raccourcit (la loi charge déformation est sensiblement linéaire en phase élastique)

. La résistance à la traction du béton de sable est négligeable le taux de travail de l'armature au moment de la fissuration est inférieure à sa limite d'élasticité.

. les flèches sont sensiblement proportionnelles aux charges.

CONCLUSION

Une comparaison de composition béton de sable et béton classique, nous permet de situer l'intérêt économique remarquable du béton de sable dunaire.

Béton classique

Ciment C.P.A 325 : 330 kg/m³
Sable moyen : 596 kg/m³
Gravier 5/15 : 1232 kg/m³
Eau : 175 l/m³

Béton de sable

Ciment C.P.A 325 : 330 kg/m³
Sable 0/0,425 : 1530 kg/m³
eau : 260 l/m³

Les résultats obtenus des essais d'adhérence et du comportement structurel du béton de sable armé, répondent aux mêmes lois que le béton classique. Ce nouveau matériau présente un double intérêt pour la construction dans le Sud, vu l'absence de gravier et le pourcentage élevé de sable. Néanmoins, le retrait obtenu pour ce matériau est très important, nous avons pu donner quelques remèdes pour atténuer ces effets au maximum des inconvénients techniques et le réaménagement du laboratoire ont constitué un frein pour l'expérimentation des remèdes proposés.

De plus, nous avons pu tirer profit de cette étude expérimentale qui nous a permis de manipuler des matériaux et d'établir des résultats expérimentaux confirmant les formules théoriques qui nous ont été enseignés durant notre formation.

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

- . Calcul des ouvrages en béton armé suivant les règles B.A.E.L 80
Théorie et application " pierre charon " (Edition Eyrolles)
- . Calcul du béton armé aux états limites de services
Règles B.A.E.L 80 " Pierre charon " (Edition Eyrolles)
- . Cours supérieur du béton armé règle B.A.E.L 80 Paul Dinnequin
(Edition Mir)
- . Essai et contrôle de béton " Gorisse F " (Edition Eyrolles 78)
- . La pratique des ciments et des bétons "Michel Venant " (Edition moniteur)
- . Le cisaillement dans le béton armé "T.GODYCKI CWIRKO "
(Edition DUNOD 72)
- . Matériaux de Construction " A KOMAR " (Edition Mir)
- . Mortiers Argile Ciment " M.Laquerbe, F Tatard "
- . Normes Belges : N B N
- . Normes Françaises : AFNOR
- . Nouveau guide du béton " G.Dreux "
- . Nouveau traité de matériaux de Construction **Tome 2**
" M.DURIEZ "
- . Technologie des matériaux de Construction "OLIVIER .E "
- . Traité de béton armé "Lacroix Fuentes , thonier "
(Edition Eyrolles 85)
- . These Ecole polytechnique d'Alger "Béton de sable " Juin 1985
- . These école polytechnique d'Alger " Béton de sable structural " Janvier 1986.

